Bertil Eklund

Parallella, dynamiska representationer i gymnasiefysiken

Implementering av ett interaktivt datorverktyg i didaktiska situationer och uppfattning av effektivt lärande

Bertil Eklund
Född i Oravais 1950
Studentexamen, Vasa svenska lyceum 1970
Filosofie magister i matematik, fysik och kemi, Matematisk – naturvetenskapliga fakulteten vid Åbo Akademi 1977
Lärarutbildning, Pedagogiska fakulteten vid Åbo Akademi 1978
Lektor i fysik och matematik vid Närpes gymnasium 1978 –
T.f. assistent i fysik vid institutionen för fysik vid ÅA 1976, 1977
Systemansvarig för datatekniken och dess utveckling vid Närpes gymnasium från 1981 fram till och med byggandet av intranätverket Mosenet 1995
Akademiska tilläggsstudier i datateknik 1988–89
Ledare för projektet ”Datorn som stöd i undervisningen” 1991–93 och projektet ”MoseGrafer” 1999–2002, finansierade av Utbildningsstyrelsen

Pärm: Tove Ahlbäck

Åbo Akademis förlag
Biskopsgatan 13, FIN-20500 ÅBO, Finland
Tel. int. +358-2-215 3292
Fax int. +358-2-215 4490
E-post: forlaget@abo.fi
http://www.abo.fi/stiftelsen/forlag/

Distribution: **Oy Tibo-Trading Ab**
PB 33, FIN-21601 PARGAS, Finland
Tel. int. +358-2-454 9200
Fax int. +358-2-454 9220
E-post: tibo@tibo.net
http://www.tibo.net

PARALLELLA, DYNAMISKA REPRESENTATIONER I GYMNASIEFYSIKEN

Parallella, dynamiska representationer i gymnasiefysiken

Implementering av ett interaktivt datorverktyg i didaktiska situationer och uppfattning av effektivt lärande

Bertil Eklund

ÅBO 2006

ÅBO AKADEMIS FÖRLAG – ÅBO AKADEMI UNIVERSITY PRESS

CIP Cataloguing in Publication

Eklund, Bertil
Parallella, dynamiska representationer i gymnasiefysiken : implementering av ett interaktivt datorverktyg i didaktiska situationer och uppfattning av effektivt lärande / Bertil Eklund. – Åbo : Åbo Akademis förlag, 2006.
Diss.: Åbo Akademi. – Summary.
ISBN 951-765-314-X

ISBN 951-765-314-X
ISBN 951-765-315-8 (digital)
Oy Arkmedia Ab
Vasa 2006

Abstrakt

Datorn är ett användbart redskap i gymnasiets fysikundervisning och får inte ha en underordnad roll i elevernas lärande. Ett problem är emellertid att datorer och datorbaserade verktygsprogram inte alltid är tillgängliga då de bäst skulle tjäna sitt syfte i den pågående undervisningen. Ett annat problem är att en del kommersiellt producerade verktygsprogram inte är användbara på önskat sätt i den fysikundervisning som läraren strävar efter.

Avhandlingens syfte var att pröva ett nytt undervisningsscenario i det komplicerade ämnesområdet elektrodynamik. Det didaktiska ingenjörsarbetet i avhandlingen bestod i att utveckla ett datorbaserat, virtuellt simuleringsverktyg inklusive övningsmaterial, implementera det i fysikundervisningen och utvärdera dess effektivitet i lärandeprocessen. Som en lämplig referensram för design av denna typ av undervisningsprodukt fungerade den designbaserade forskningsmetoden didaktisk ingenjörskonst (Artigue, 1994), som grundar sig på teorin om didaktiska situationer (Brousseau, 1997).

Konstruktionen av verktyget baserades på ett generellt kalkylprogram och byggde på grafisk och numerisk framställning i form av parallella, dynamiska representationer av fysiken bakom funktionen hos en växelströmskrets. Verktyget, som genom sina ovannämnda egenskaper fick benämningen PDRac-verktyg, försågs med möjligheter att interaktivt kontrollera representationerna, antogs ha en potential att aktivera eleverna och göra lärandeprocessen effektiv. En mätvariabel konstruerades för ändamålet och bestod av faktorer som kunde förknippas med effektivt lärande.

Den empiriska undersökningen gjordes i två delar. En grupp på tolv gymnasister deltog under pågående kurs i elektrodynamik i ett klassexperiment med det datorbaserade verktyget implementerat i tre olika former av didaktiska situationer: övning, begreppsintroduktion och utvärdering. Det huvudsakliga målet med de didaktiska situationerna var att eleverna, i huvudsak under eget ansvar, skulle lösa problem och studera funktionen hos växelströmskretsar. I en parallellstudie deltog arton finlandssvenska gymnasielärare, som utvärderade den didaktiska potentialen hos PDRac-verktyget utan att använda det i sin fysikundervisning.

Kvantitativa och kvalitativa data erhölls med hjälp av enkät, observation och intervju. Resultatet av undersökningarna visade att både elevgruppen och de deltagande lärarna allmänt hade positiva uppfattningar av effektivt lärande i en undervisningsmiljö med verktyget. Uppfattningarna bland eleverna var positivare i övningssituationen än i den didaktiska situationen begreppsintroduktion, som var mer explorativ till sin uppläggning. Att uppfattningen också var positiv i utvärderingssituationen, som var den mest komplicerade, överensstämde emellertid inte med hypotesen. En fördjupad analys av observationer och intervjuer visade att den ena eleven i varje elevpar var aktivare än den andra, tog mer initiativ och ledde interaktionen med parkamraten och datorn. Dessa aktiva elever stod för starkt positiva uppfattningar av effektivitet i lärandeprocessen i alla tre didaktiska situationer, medan de mindre aktiva eleverna hade svagt

positiva uppfattningar i de två första didaktiska situationerna och negativ uppfattning i utvärderingssituationen. Inom elevkategorin passiva elever stöddes alltså de uppställda hypoteserna. Lärarstudien visade att lärarna använde datorer mycket sporadiskt i fysikundervisningen och att utbudet av datorprogram var förhållandevis litet i skolorna. Datoranvändningen ansågs allmänt vara tidskrävande.

Så länge som fysikundervisning med datorbaserade verktyg måste ske i separata datorutrymmen kommer det att hämma användningen av verktygen. Tillgängligheten ökar då datorns fysiska mått och prestanda optimeras så att datorn blir ett verktyg för varje elevpar och integreras i den pågående undervisningen i det utrymme där fysikundervisningen normalt sker. Genom en utökad interaktion med läraren fungerar datorbaserade parallella dynamiska representationer som effektiva verktyg i elevens lärandeprocess så att fokus sätts på kvalitativa resonemang – en ofta underbetonad del av elevernas lärandeprocess i gymnasiefysiken.

Nyckelord:
datorbaserade verktyg, simulering, virtuellt experiment, parallella, dynamiska representationer, interaktion, visualisering, didaktisk ingenjörskonst, fysikundervisning, didaktiska situationer, adidaktiska situationer, effektivt lärande, växelströmskrets

---

Abstract

The computer is a useful tool in the teaching of upper secondary school physics, and should not have a subordinate role in students' learning process. However, computers and computer-based tools are often not available when they could serve their purpose best in the ongoing teaching. Another problem is the fact that commercially available tools are not usable in the way the teacher wants.

The aim of this thesis was to try out a novel teaching scenario in a complicated subject in physics, electrodynamics. The didactic engineering of the thesis consisted of developing a computer-based simulation and training material, implementing the tool in physics teaching and investigating its effectiveness in the learning process. The design-based research method, didactic engineering (Artigue, 1994), which is based on the theory of didactical situations (Brousseau, 1997), was used as a frame of reference for the design of this type of teaching product.

In designing the simulation tool a general spreadsheet program was used. The design was based on parallel, dynamic representations of the physics behind the function of an AC series circuit in both graphical and numerical form. The tool, which was furnished with possibilities to control the representations in an interactive way, was hypothesized to activate the students and promote the effectiveness of their learning. An effect variable was constructed in order to measure the students' and teachers' conceptions of learning effectiveness.

The empirical study was twofold. Twelve physics students, who attended a course in electrodynamics in an upper secondary school, participated in a class experiment with the computer-based tool implemented in three modes of didactical situations: practice, concept introduction and assessment. The main goal of the didactical situations was to have students solve problems and study the function of AC series circuits, taking responsibility for their own learning process. In the teacher study eighteen Swedish speaking physics teachers evaluated the didactic potential of the computer-based tool and the accompanying paper-based material without using them in their physics teaching.

Quantitative and qualitative data were collected using questionnaires, observations and interviews. The result of the studies showed that both the group of students and the teachers had generally positive conceptions of learning effectiveness. The students' conceptions were more positive in the practice situation than in the concept introduction situation, a setting that was more explorative. However, it turned out that the students' conceptions were also positive in the more complex assessment situation. This had not been hypothesized. A deeper analysis of data from observations and interviews showed that one of the students in each pair was more active than the other, taking more initiative and more responsibility for the student–student and student–computer interaction. These active students had strong, positive conceptions of learning effectiveness in each of the three didactical situations. The group of less active students had a weak but positive conception in the first

two situations, but a negative conception in the assessment situation, thus corroborating the hypothesis ad hoc. The teacher study revealed that computers were seldom used in physics teaching and that computer programs were in short supply. The use of a computer was considered time-consuming.

As long as physics teaching with computer-based tools has to take place in special computer rooms, the use of such tools will remain limited. The affordance is enhanced when the physical dimensions as well as the performance of the computer are optimised. As a consequence, the computer then becomes a real learning tool for each pair of students, smoothly integrated into the ongoing teaching in the same space where teaching normally takes place. With more interactive support from the teacher, the computer-based parallel, dynamic representations will be efficient in promoting the learning process of the students with focus on qualitative reasoning – an often neglected part of the learning process of the students in upper secondary school physics.

Keywords:
computer-based tool, simulation, parallel, dynamic representations, interaction, visualisation, didactic engineering, physics teaching, didactical situations, adidactical situations, learning effectiveness, AC series circuits

---

Förord

Hur kom det sig att jag som hade undervisat i fysik på gymnasiet i många år började idka forskarstudier? Inte var det karriärmedvetenhet, potentiell löne-förhöjning eller självhävdelsebehov som var den drivande kraften – nej, det berodde nog mera på en nyfikenhet på vad det innebar att forska och vad pedagogisk forskning hade att ge en lärare på fältet. Det har varit ett långsiktigt och lärorikt arbete, som resulterat i denna doktorsavhandling. Det är lätt att hålla med Rowena Murray: ”Writing a thesis is a massive learning experience for a modest contribution to knowledge.” Min förhoppning är dock att forskare, lärare och andra intresserade på något sätt ska ha behållning av avhandlingen.

Professor Ole Björkqvist vid Pedagogiska fakulteten vid Åbo Akademi i Vasa har fungerat som min handledare. Han har tålmodigt väglett mig i forsknings-processen, gett mig mycket inspiration, många idéer och förståelsefullt korrigerat riktningen på min forskningsväg. Till dig riktar jag mitt ödmjuka och varma tack! Professor Jari Lavonen vid Helsingfors universitet har fungerat som min andra handledare. Hans positiva feedback på mina kalkylbaserade dator-verktyg vid en konferens i Hälsingborg år 1994 var kanske fröet till detta arbete. Mitt varma tack går till dig för dina vägledande kommentarer om mitt fram-växande manuskript.

Professor emeritus Veijo Meisalo har med sin professionella kunskap om forskning kring och tillämpning av ny informationsteknologi i undervisningen bidragit med en nyttig och konstruktiv kritik vid förgranskningen. Professor Claus Michelsen, som jag träffade vid den intressanta konferensen i Barcelona år 2000, har i sin förgranskning kommit med värdefulla kommentarer. Allt detta har ytterligare bidragit till att förtydliga innehåll och struktur i avhandlingen. Stort tack för er insats!

På institutionen för lärarutbildning i matematik och naturvetenskaper har lärarna och forskarkollegerna Ann-Sofi Röj-Lindberg, Berit Kurtén-Finnäs, Lisen Häggblom, Lars Burman, Göran Bernas och Tom Lillas bidragit till att jag alltid har känt mig välkommen. De har alla gett mig värdefulla synpunkter på mitt arbete. Samma gäller också forskarkolleger vid Umeå universitet. Ett tack ger jag också alla de personer, som vid Pedagogiska fakulteten har hjälpt mig att orientera mig i de byråkratiska labyrinterna i samband med avhandlingens färdigställande.

Professor Maija Ahtee och ett flertal forskarkolleger vid Den nationella forskar-skolan för undervisning i matematik, fysik och kemi har i ett tidigt skede av min forskningsprocess uppmuntrat mig att fortsätta mina forskarstudier.

Mitt intresse för datorer som verktyg i undervisningen väcktes på tidigt 1980-tal, när Närpes gymnasiums dåvarande rektor Harry Nordberg föreslog att jag skulle

ta på mig ansvaret att introducera datateknik i gymnasiet. Rektor Johan Bergkull har välvilligt arrangerat mina studieledigheter och haft stor förståelse för mitt forskningsarbete. Mina kära arbetskamrater på gymnasiet har på olika sätt uppmuntrat mig. Ett varmt tack till er alla! Likaså vill jag tacka de vikarier och kolleger, i synnerhet Mikael Snickars, som under mina studieledigheter har tagit hand om mina kurser och annat arbete vid Närpes gymnasium. Till de elever som deltagit i pilotförsöket och det egentliga experimentet samt de finlandssvenska fysiklärare som gav sig tid att delta i studien uttrycker jag mitt varma tack.

Den grundläggande språkgranskningen av det omfattande manuset har gjorts av Pia Eklund och Göran Sundqvist. Barbro Wiik vid Centret för språk och kommunikation har ytterligare gjort en viktig finputsning av den svenska texten och John Shepherd vid Vasa universitet har granskat den engelska. Stort tack!

Stipendier och korttidsanställningar som forskarstuderande har gjort det möjligt för mig att periodvis vara studieledig från mitt arbete som gymnasielärare. För detta tackar jag beslutsfattande personer vid Pedagogiska fakulteten vid Åbo Akademi, Nationella forskarskolan för lärare i matematik, fysik och kemi, Ledningsgruppen för forskarutbildning vid Pedagogiska fakulteten, Åbo Akademi, Stiftelsens för Åbo Akademi forskningsinstitut, Waldemar von Frenckells stiftelse, Svenska Österbottens Kulturfond och Svenska kulturfonden.

Mina föräldrar styrde in mig på den akademiska banan i ett tidigt skede av mitt liv. Med sorg i hjärtat måste jag acceptera att de aldrig hann se slutresultatet av min forskarmöda. Likaså sörjer jag över det faktum att min vän Fredrik Smedman, som starkt bidrog till att jag gick med i forskarutbildningen, alltför tidigt måste avsluta sin livsvandring.

Ett varmt tack riktar jag till alla de människor som på något sätt har visat ett särskilt intresse för *det som jag har gjort* och kämpat för under forskarstudierna.

Livet utanför forskningen och skolarbetet har berikats av mina vänner i dubbelkvartetten Double Up. Dessa glada människor tillsammans med den härliga aktiviteten att framföra sång och musik har regelbundet lyft mig ut ur de vetenskapliga sfärerna och fört mig in i en värld av ljuvliga ljudvågor.

Avhandlingen tillägnas de viktigaste människorna i mitt liv, mina älskade Pia, Sofia och Andrea. Ni har fått acceptera att jag har engagerat mig djupt i denna tidskrävande expedition i den vetenskapliga världen. Tack för ert tålamod!

Närpes, Stilla veckan 2006

Bertil Eklund

Innehåll

Abstrakt i
Abstract iii
Förord v
Förteckning över figurer x
Förteckning över tabeller xii
Förteckning över bilagor xiii

1 Inledning 1
1.1 Bakgrund 1
1.2 Avhandlingens syfte och forskningsfrågor 6
1.3 Val av forskningsmetod 8

2 Didaktisk ingenjörskonst 12
2.1 Didactique 12
2.2 Didaktisk ingenjörskonst som vetenskaplig metod 23

3 Preliminära analyser 28
3.1 Traditionell undervisning 28
3.1.1 Traditionell klassrumsundervisning 28
3.1.2 Läroplan och undervisningsmetoder i fysik 32
3.2 Begreppsbildning och representationer i fysik 35
3.2.1 Begrepp och begreppsbildning 35
3.2.2 Grafiska och numeriska, statiska och dynamiska representationer 38
3.2.3 Växelströmskretsen i lärokursen Elektromagnetism 48
3.2.4 Konklusion 60
3.3 Datorbaserade verktyg 64
3.3.1 Datorstödda experiment 66
3.3.2 Modellbildning 68
3.3.3 Simuleringsprogram 71
3.3.4 Virtuella experiment 74
3.4 Datorn i undervisning och lärande 75
3.5 Aspekter på lärande och faktorer involverade i lärande-processen 79
3.6 Forskningens specifika syften 106

4 Forskningsdesign och a priori-analys 114
4.1 Globala val 115
4.1.1 Datorteknologi i fysikundervisningen 116
4.1.2 Design av ett *PDRac*-verktyg 124
4.1.3 PDRac-verktyget i didaktiska situationer 142
4.1.4 Handlednings- och övningsmaterial 150

4.2 Lokala val 158
4.2.1 Didaktiska situationer med PDRac-verktyget 158
4.2.2 Den didaktiska situationen *övning* 162
4.2.3 Den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 168
4.2.4 Den didaktiska situationen *utvärdering* 181
4.3 Utformningen av de empiriska undersökningarna 187
4.3.1 Operationella definitioner av variabler 188
4.3.2 Kvasiexperimentell uppläggning 193
4.3.3 Validitet och etik i de empiriska undersökningarna 195
4.4 A priori-analys och hypoteser 204
4.4.1 PDRac-verktyget i didaktiska situationer och elevers uppfattning av effektivt lärande 205
4.4.2 PDRac-verktygets didaktiska potential och lärares uppfattning av effektivt lärande 217
4.4.3 Hypoteser 221

5 Empiri 224
5.1 Klassexperiment 225
5.1.1 Datainsamling 226
5.1.2 Resultat 234
5.2 Lärarstudie 260
5.2.1 Datainsamling 260
5.2.2 Resultat 262

6 A posteriori-analys 270
6.1 Klassexperimentet 271
6.1.1 Elevers uppfattning av effektivt lärande i reella didaktiska situationer 271
6.1.2 Fördjupande analys 280
6.2 Lärarstudien 287
6.2.1 Lärares uppfattning av effektivt lärande i en potentiell PDRac-miljö 287
6.2.2 Fördjupande analys 291
6.3 Sammanfattande analys 294

7. Validering 302
7.1 Validering av klassexperimentet och lärarstudien 302
7.1.1 Slutledningsvaliditet 305
7.1.2 Inre validitet 311
7.1.3 Begreppsvaliditet 316
7.2 Validering av PDRac-verktyget och implementeringen .. 321
7.2.1 Produktvaliditet 321
7.2.2 PDRac-miljöns didaktiska implikationer 335

7.3 Epilog 342
7.3.1 Designbaserad forskning i undervisningen 342
7.3.2 Synpunkter på fortsatt forskning i undervisningen 344

8. Summary 347

Referenser 357

Bilagor 374

Figurer

1. Struktureringen av den didaktiska miljön eller lärarens och elevens olika roller 16
2. Elevens spel med den adidaktiska miljön och läraren som organisatör av elevens spel 17
3. Forskningsprocessens steg i metoden didaktisk ingenjörskonst 27
4. Grafisk representation av strömstyrkan och spänningen som funktion av tiden och strömstyrkans tidsderivata (representerad av en tangent) vid $t = 1{,}0$ ms 44
5. Värmeenergi som en likström respektive en växelström utvecklar under tiden T i en resistor med resistansen R 51
6. RLC-krets 53
7. Fasdiagram. Sambandet mellan spänningen och strömstyrkan i en rent resistiv växelströmskrets 54
8. Momentaneffekten som funktion av tiden i en rent resistiv växelströmskrets 55
9. Fasdiagram. Sambandet mellan spänningen och strömstyrkan i en rent induktiv växelströmskrets 56
10. Momentaneffekten som funktion av tiden i en rent induktiv växelströmskrets 56
11. Momentaneffekten som funktion av tiden i en rent kapacitiv växelströmskrets 58
12. Sambandet mellan reaktanserna, impedansen och frekvensen i en seriekopplad RLC-krets 61
13. Strömstyrkans effektivvärde som funktion av frekvensen i en RLC-krets 61
14. En framställning av de fyra presenterade formerna av datorstöd med relationspilar till verkligheten och till elevens mentala modell 66
15. Förståelseprocesser 104
16. Grafisk representation av en funktion med 10 respektive 100 datapunkter 122
17. Stjärnmodellen i designprocessen 128
18. Design av gränssnittet mellan människa och dator. Strukturering av informationen på dataskärmen i PDRac-verktyget 132
19. Fasdifferens vid oscilloskopmätning av spänning över två resistorer, då jordpunkten placeras mellan resistorerna 134
20. Inmatning i kalkylbladscell. Detaljstudie av en sekvens av behövliga steg vid ändring av ett parametervärde samt de aktiviteter som fokuserar uppmärksamheten 138
21. Detalj från PDRac-verktygets datadisplay. Exempel på dynamisk ändring av induktans med musmarkören 139
22. Inmatning med hjälp av makroknappar. Detaljstudie av en sekvens av behövliga steg vid ändring av parametervärde 139

23. Författarens PDR-verktyg inplacerat i Heuers relationsschema 140
24. Elevens fria produktion inom sin relation till en adidaktisk PDRac-miljö 143
25. Faser i ett antaget dubbelriktat informationsflöde mellan användaren och PDRac-verktyget 147
26. Den adidaktiska och den didaktiska situationen i PDRac-miljön 161
27. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 1 i den didaktiska situationen *övning* 163
28. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 1a i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 169
29. Spolen ”dominerar” i RLC-kretsen. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 2 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 174
30. Kondensatorn ”dominerar” i RLC-kretsen. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 2 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 177
31. Serieresonans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 2 i den didaktiska situationen *begrepps-introduktion* 179
32. Verktyget *PDRac_eval* avsett för utvärdering. Utgångsläget i problemsituation 1 i den didaktiska situationen *utvärdering* 183
33. Flödesschema över bestämningen av knapparnas motsvarande storheter i PDRac-verktygets utvärderingsversion 186
34. Forskningsprocessens steg i den aktuella studien och objekten för valideringen 188
35. Den empiriska undersökningens design med makrodidaktiska och mikrodidaktiska variabler och den beroende variabeln uppfattning av effektivt lärande 194
36. Placeringen av elevparen och datorerna i datasalen 226
37. Undervisningssekvens i växelströmsläran inklusive experiment och mätning 230
38. Fördelningen av effektivitetstalen på de aktiva och passiva eleverna 282
39. Effektivitetstal på de olika effektivitetsindikatorerna i de tre didaktiska situationerna 283
40. Effektivitetstal på de olika effektivitetsindikatorerna enligt nivå på elevernas uppfattning av effektivitet 285
41. Lärarnas effektivitetstal på de olika indikatorerna med avseende på de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna 292
42. Effektivitetstal på de olika indikatorerna enligt nivå på lärarnas uppfattning av effektivt lärande 293
43. Effektivitetstal på indikatorgrupperna, som åskådliggör olika aspekter av lärandeprocessen i implementeringen av PDRac-miljön från elev- och lärarsynpunkt 297
44. Effektivitetstal på de olika nivåerna av effektivitetsuppfattning 298

45. Elevernas och lärarnas rangordning av sju effektivitets-indikatorer i en generell undervisnings- och lärandekontext i gymnasiefysiken 299
46. Översikt över teorilandet och observationslandet, operationalisering och validering 304
47. Sambandet mellan de mikrodidaktiska variablerna (didaktiska situationer inklusive situationsvariabler), elevernas personliga, inre variabler och elevernas uppfattning av effektivt lärande ... 315
48. Grafiktyper i PDRac-verktyget 327

Tabeller

1. *Datorteknologins möjligheter och begränsningar i olika dimensioner* 117
2. *Dominerande bilder inom naturvetenskapen tillämpade på PDRac-verktygets design* 130
3. *Naturvetenskapens visualiseringstekniker tillämpade på PDRac-verktygets design* 131
4. *PDRac-verktygets didaktiska funktion. Instrument för analys av faserna i elevens förväntade interaktion, eller spel med PDRac-miljön* 149
5. *Strukturering av indikatorerna i den beroende variabeln "uppfattning av effektivt lärande"* 193
6. *Elevernas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer för den didaktiska situationen övning* 235
7. *Elevernas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer för den didaktiska situationen begreppsintroduktion* 236
8. *Elevernas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer för den didaktiska situationen utvärdering* 236
9. *Elevernas effektivitetstal i de didaktiska situationerna och det totala effektivitetstalet* 237
10. *Fördelningen av antalet lösta uppgifter i de didaktiska situationerna övning och begreppsintroduktion* 251
11. *Elevernas poängtal och poängsumma i uppgifterna i den didaktiska situationen utvärdering och medelvitsord i fysikkurser som har avlagts före klassexperimentet* 252
12. *Tidsåtgång i uppgifterna i den didaktiska situationen utvärdering* 253
13. *Lärarens interaktion med elevparen* 253
14. *Enskilda elevers rangordning av effektivitetsindikatorerna i en kontext som avser elevernas lärande i traditionell fysikunder-visning* 259
15. *Elevernas preferenser i valet av de fem bäst förstådda fysik-begreppen vid arbete med PDRac-verktyget* 260

16. *Lärarnas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer baserade på de makrodidaktiska variablerna vid en tänkt implementering av PDRac-miljön (enkätens A-del)* 263
17. *Lärarnas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer baserade på de mikrodidaktiska variablerna vid en tänkt implementering (enkätens B-del)* 264
18. *Lärarnas effektivitetstal baserade på de makrodidaktiska (enkätens A-del) och mikrodidaktiska variablerna (enkätens B-del) vid den tänkta implementeringen och det totala effektivitetstalet* 266
19. *Sammanställning av basdata i lärarstudien* 267
20. *Enskilda lärares rangordning av effektivitetsindikatorerna i en kontext som avser elevernas lärande i traditionell fysik-undervisning* 268
21. *Lärarnas preferenser i valet av fem fysikaliska begrepp, som bäst förstås av eleverna vid användning av PDRac-verktyget* ... 269
22. *Sammanfattning av resultatet i klassexperimentet* 275
23. *Variansanalys av elevers effektivitetstal i de tre didaktiska situationerna* 279
24. *Variansanalys av effektivitetstal med avseende på indikatorerna i de tre didaktiska situationerna* 284
25. *Elevparens fördelning på nivåerna av effektivitetsuppfattning* 286
26. *Variansanalys av effektivitetstal från lärarstudien* 290
27. *Kategorisering av fysikaliska begrepp, dvs. storheter och fenomen i växelströmsläran i PDRac-miljön* 300

Bilagor

1. Observed behaviours classified by type of situation and type of knowing 374
2. Sekvens med växelströmslära och inplacerade didaktiska situationer med PDRac-verktyget i experimentsyfte 375
3. Didaktiska situationen *övning* 380
4. Didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 382
5. Didaktiska situationen *utvärdering* 385
6. Problemsituationerna 2a, 2b och 3 i den didaktiska situationen *övning* 387
7. Problemsituationerna 1b och 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 398
8. Problemsituationerna 2, 3, 4 och 5 i den didaktiska situationen *utvärdering* 408
9. Frågeformulär för de didaktiska situationerna *handledning, övning, begreppsintroduktion och utvärdering* 416

10. Sammanställning av enkätens påståenden enligt indikator. Elevstudien och lärarstudien 424
11. Frågeformulär för rangordning av indikatorer för effektivt lärande och för fysikaliska begrepp 429
12. Följebrev till lärarna 431
13. Frågeformulär till lärarna 432
14. Tabeller över effektivitetstal i klassexperimentet 440
15. Tabeller över effektivitetstal i lärarstudien 442
16. Friedmans test på medelvärdet av rangtalen vid rangordning av sju effektivitetsindikatorer i elev- och lärarstudien 445

Figurer (i bilagor)

6.1. Grafiska representationer av spännningar i problemsituation 2a och 2b i den didaktiska situationen *övning* 388
6.2. Numeriska och grafiska representationer av spänning och strömstyrka i problemsituation 2a och 2b i den didaktiska situationen *övning* 391
6.3. Numeriska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *övning* 395
7.1. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 1b i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 399
7.2. Serieresonans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 404
7.3. Serieresonans vid liten resistans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 405
7.4. Serieresonans vid stor resistans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 406
7.5. Ökad induktans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* 407
8.1. Utgångsläget efter grundläggande analys av provuppgiften i problemsituation 2 409
8.2. Numeriska och grafiska representationer i andra fassekvensen 4_2 - 6_2 i problemsituation 3 411
8.3. Serieresonanstillstånd. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 4 413
8.4. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 5 .. 415

Tabeller (i bilagor)

14.1. *Aktiva och passiva elevers effektivitetstal* 440
14.2. *Medelvärde och standardavvikelse för variabeln uppfattning av effektivt lärande på variabelns indikatorer* 440
14.3. *Totalmedelvärde och standardavvikelse på indikatorerna för variabeln uppfattning av effektivt lärande baserad på indelning i tre nivåer på elevernas effektivitetsuppfattning* 441
14.4. *Elevers totala effektivitetstal på indikatorer enligt effektivitets-uppfattningsnivå* 441
15.1. *Medelvärde och standardavvikelse för variabeln uppfattning av effektivt lärande på variabelns indikatorer* 442
15.2. *Totalmedelvärde och standardavvikelse på indikatorerna för variabeln uppfattning av effektivt lärande baserad på indelning i tre nivåer på lärarnas effektivitetsuppfattning* 442
15.3. *Lärarnas totala effektivitetstal på indikatorer enligt effektivitets-uppfattningsnivå* 443
15.4. *Fördelningen av antalet datorer och datoranvändning enligt lärarnas effektivitetsuppfattningsnivå* 444
16.1. *Elevernas rangordning av effektivitetsindikatorerna. Friedmans test på medelvärdet av rangtalen. Indikatorerna ordnade enligt rangtalens medelvärde* 445
16.2. *Lärarnas uppfattning av elevers rangordning av effektivitets-indikatorerna. Friedmans test på medelvärdet av rangtalen* 445

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Under en gymnasielektion i matematik fick eleverna i uppgift att undersöka hur grafen av parabeln $y = ax^2 + bx + c$ förändrades då koefficienterna *a, b* och *c* varierades. Till sin hjälp hade eleverna ett datorbaserat verktyg, som var ett av de första verktyg jag hade producerat i kalkylprogrammet Excel. En flicka satt tillsammans med sin kamrat och följde instruktionerna på övningspappret, då hon plötsligt pekade på dataskärmen och utropade ungefär såhär: *"... alla parabler går ju genom samma punkt på y-axeln oberoende av hur vi ändrar talen a och b!"*. I det ögonblicket insåg jag att flickan hade gjort en upptäckt som hon sannolikt inte hade kunnat göra utan verktyget. Det datorbaserade verktyget hade för henne och parkamraten blivit det instrument som hjälpte dem att se på parabeln ur en annan synvinkel än den traditionella, dvs. att beräkna punkter med ekvationens hjälp och mödosamt plotta grafen av parabeln i häftet.

Ungefär samma upprymda känsla fick jag själv då jag dessförinnan genom en artikel (Rahikka, 1991) upptäckte att kalkylprogrammet kunde användas som basprogram för att utarbeta olika slag av verktyg som producerade grafer lämpliga för fysikundervisningen. Artikelns exempel illustrerade detta. Tidigare var fysikläraren tvungen att bortse exempelvis från luftmotståndet, dvs. den hastighetsberoende kraften som verkar på en kropp som rör sig i luft, då dynamiken undervisades i fysiken. Läraren fick hålla sig till abstraktionen att accelerationen var noll eller konstant. Numera kan detta område behandlas mer realistiskt med hjälp av datorer så att mediets motstånd kan beaktas.

Efter de första trevande försöken var steget inte långt till att börja fundera på inom vilka områden i fysiken man skulle kunna dra nytta av ett verktyg som åskådliggjorde komplicerade samband. Växelströmsläran i kursen elektrodynamik var just ett sådant område (se Eklund, 1995). Med tiden utvecklades kunskapen att designa verktygen så att de kunde representera data på ett fördelaktigt och användarvänligt sätt. En ny dimension av undervisningen i fysik hade sett sin början. Ett betydelsefullt motiv i detta produktionsarbete var möjligheten att anpassa verktygen till den befintliga undervisningen för att stöda elevens lärandeprocess. McDermott (1991) klär mina tankar i ord:

> Today, the computer offers the possibility, along or in conjunction with other devices such as a videodisk or microcomputer-based laboratory tool, to teach physics in new ways. It is possible that this new resource may enable us to individualize instruction in large lecture courses. Many physics instructors are active proponents for increased use of the computer in physics education. They are producing instructional software at a rapid rate. However, experience has shown that many computer programs are not well matched to the needs or abilities of students. To be able to realize the full potential of the new

> technology, we must understand both how students learn physics and how the computer can best be used as an aid in the process. There is a need for research to help insure that computer-based instructional materials will become a useful resource for the teaching of physics (McDermott, 1991, s. 304).

Grunden var lagd för att börja forska i design och utveckling av datorbaserade verktyg med ett kalkylprogram som plattform.

Samhällskrav

I grunderna för gymnasiets läroplan 1994 uttrycktes:

> I ett dynamiskt samhälle måste skolan utveckla beredskapen att möta förändringar och lösa problem. Förändringarna i arbetslivet och allt tätare byten av arbetsuppgifter förutsätter att studierna i skolan är effektiva och att eleverna får en positiv attityd till livslång utbildning. … Kunskaper och färdigheter samt förmåga att använda och behärska dem kreativt och innovativt utgör viktiga resurser (s. 8).

Teknologi används i utbildningen som verktyg för lärande[1], samarbete, läroplansutveckling och personalutveckling. Men hur ska vi veta att vi tar ut det bästa i användningen av teknologin? Hur kan vi vara säkra på att vi använder teknologin för att stöda eleverna på ett sätt så att de lär sig bäst? Hur kan vi försäkra oss om att teknologi stöder effektivt och engagerat lärande? Dessa är några verkligt väsentliga frågor som Jones, Valdez, Nowakowski och Rasmussen (1995, s. 1) ställer och de hävdar att de verkliga effektivitetsmåtten på teknologier och teknologistödda utbildningsprogram är i vilken utsträckning de befrämjar och stöder engagerat lärande och samarbete bland eleverna. ”De flesta utvärderingar av teknologins effektivitet fokuserar på själva teknologin – dess kostnader, dess komplexitet och dess genomförbarhet i speciella omständigheter. De undersöker inte teknologins effektivitet som ett *verktyg för lärande*” (Jones et al., 1995, s. 2, egen övers.).

Undervisningen i naturvetenskaper har skilda mål, som beror på det perspektiv ur vilket man ser på undervisningen. Olika grupper i samhället, lärare och elever har olika mål. Några ser målen i termer av yrke, dvs. att industri och nationalekonomi erhåller skicklig arbetskraft. Andra ser målen i pedagogiska termer, dvs. att den individuella potentialen hos varje elev utvecklas. Några ser målen i termer av att överföra kunskap och några vill utveckla färdigheter och attityder. En del arbetar för att producera högt kvalificerade potentiella vetenskapsmän

[1] I avhandlingen kommer termen *lärande* (eng. learning) att användas som synonym till *inlärning*, också i sammansättningar. Termen *lärande* kan uppfattas så att processaspekten i lärandet betonas mer än vad termen inlärning gör. I några undantagsfall används *inlärning* i sammansättningar som är så etablerade att det verkar konstruerat att byta ut termen (t.ex. inlärningspsykologi). (Diskussion med Ylva Forsblom-Nyberg vid Svenska språkbyrån.)

och ingenjörer, andra vill se en bred välutbildad medborgarskara (Woolnough, 1994).

Heuer (1996, s. 2) framhåller att modern teknologi, insatt på alla områden i livet, inom mycket kort tid ändrar de innehållsliga kraven på människorna, i synnerhet inom yrkeslivet. Det finns en del områden där kraven stiger språngvis då det gäller självständigt tänkande. I stället för att satsa på kunskapsdetaljer frågar man efter ett systemtänkande som är mångsidigt och överförbart. Dagens samhälle och arbetsplatser – samt morgondagens – har hårdare krav än någonsin tidigare. De behöver medborgare som kan tänka kritiskt och strategiskt för att lösa problem. Dessa individer måste lära sig i en snabbt föränderlig miljö och bygga upp kunskap tagen från ett stort antal källor och skilda perspektiv (Jones et al., 1995, s. 5). Ett av de allra viktigaste teknologiområdena, som redan har etablerat sig men fortfarande är på stark frammarsch i utbildningssammanhang, är datorteknologin.

Datorn i fysikundervisningen

Datorer och lämpliga program skapar idag mer än någonsin tidigare goda möjligheter att i undervisningen ta in element som karakteriseras av större komplexitet, t.ex. simuleringar av komplicerade fysikaliska förlopp och datorbaserade mätningar inklusive analyser. De problem som emellertid måste lösas vid en förändring i undervisningsinnehållet är att på ett smidigt sätt integrera det nya. Wikström (1997, s. 8) framhåller att ”skolan måste finna pedagogiska metoder som ger eleverna möjlighet att vinna insikt i komplicerade system, utan att de för den skull måste äga kunskap om en svårfångad matematisk formalism”.

Moderna, kraftfulla datorer finns numera att tillgå i skolvärlden. Men att generellt kräva att man ska kunna påvisa deras effektivitet i relation till det gamla då de implementeras i undervisningen kan enligt Jones et al. (1995) medföra risken att all undervisning förblir vid det gamla, det traditionella, i stället för att söka nya lösningar som ligger i tiden.

> There are no definite answers to questions about the effectiveness of technology in boosting student learning, student readiness for workforce skills, teacher productivity, and cost effectiveness. True, some examples of technology have shown strong and consistent positive results. But even powerful programs might show no effects due to myriad methodological flaws. It would be most unfortunate to reject these because standardized tests showed no significant differences. Instead, measures should evaluate individual technologies against specific learning, collaboration, and communication goals (Jones et al., 1995, s. 6).

Om grafisk representation

Naturvetenskap och teknologi utvecklas genom utbyte av information. Mycket av denna information presenteras som diagram, illustrationer, kartor, skisser, teckningar etc. vilka summerar informationen och hjälper andra att förstå den (Mathewson, 1999, s. 37). Visualisering har blivit ett av de viktigaste verktygen i fysiken bl.a. vid analys av data och studium av komplexa modeller (Ogborn, 2000). ”If a picture is worth a thousand words, then a dynamic visualization might be worth a long chapter in a book!” (Embse, 1998, s. 67). Dahland (1993) hävdar att grafiska illustrationer befrämjar lärandet. Elever med olika intressen och förutsättningar engageras genom att framställningen kan varieras och olika arbetsformer användas. ”Datorn tillför en ny dimension i denna ansats genom möjlighet till dynamisk framställning och ökad grad av individualisering” (Dahland, 1993, s. 106).

Kvalitativa resonemang

Man kunde i fysikundervisningen föra in mer av kvalitativa resonemang som komplement till de kvantitativa formeluppgifterna (Tao, 2001). Kvalitativ kunskap är en väsentlig och nödvändig grund för all kvantitativ förståelse. Symbolerna i ekvationer måste kopplas till väl utarbetade mentala konstruktioner. Man måste ha kunskapen att tolka fenomen för att kunna se dessa konstruktioner i världen och känna till de kvalitativa sambanden mellan konstruktionerna för att planera och genomföra en lösning (diSessa, 1987, s. 346). Kvalitativa frågor som kräver förklaring genom resonemang kan med fördel sättas in innan kvantitativa procedurer har presenterats. De kan fånga elevernas intresse, fokusera uppmärksamheten på nyckelproblem och uppmuntra till reflektion. Det betyder också att samma typ av frågor måste dyka upp i kursutvärderingen för att eleverna ska investera i tid och ansträngning för att lära sig behärska denna metod att demonstrera kunskap (McDermott, 1991, s. 314).

Konstruktion av kunskap

En av konstruktivismens principer fastslår att kunskap byggs upp av det kunskapsinhämtande subjektet, eleven. Kunskap upptas inte passivt och kan därför inte överföras intakt till eleven. Genom ord eller visuella bilder, vilka eleven hör eller ser, konstruerar han[2] egna betydelser. Av central betydelse är därför det som han redan vet (Treagust, Duit & Fraser, 1996, s. 4). Kunskapen är således strängt kopplad till individens kognitiva repertoar och till den kontext där aktiviteten äger rum (Salomon, 1998, s. 4). Enligt Goldberg och Bendall (1996, s. 61–62) visade observationer av elever, som arbetade med datorbaserade dynamiska och visualiserande simuleringar för problemlösning, att eleverna var mycket aktivt engagerade i livliga diskussioner om uppgifter. De

[2] I avhandlingen används pronomenet ”han” i (allmänna) sammanhang där eleven åsyftas och ”hon” då läraren åsyftas.

gestikulerade mer än då de arbetade med uppgifter med hjälp av penna och papper eller laborationsutrustning. Detta gav indikationer på att eleverna verkligen försökte förstå fenomen och åskådliggöra sitt tänkande för kamraterna. Datorn upplevdes fungera som en medlare, som befrämjade diskussioner mellan eleverna. Datorteknologi kan komma att utforma, inte bara möjliggöra, designen av konstruktivistiska lärandemiljöer (Salomon, 1998, s. 4). Salomon varnar dock för att lockas in i teknologins förlovade land utan att kontrollera att den informationsflod som teknologin kan producera verkligen underlättar konstruktion av kunskap.

Om kalkylprogram

Kalkylprogram är en speciell typ av programvara med kapacitet att göra omfattande interaktiva beräkningar. Kalkylprogramvaran utvecklades ursprungligen för ekonomiska kalkyleringar, men har tillerkänts en stor betydelse på andra områden, exempelvis undervisning. Kalkylprogram är lämpliga för problem som hanterar en begränsad mängd data med en begränsad databehandlingshastighet (Cooke, 1997; Hämäläinen, 1998) och kan användas vid demonstrationer och laborationsövningar. Det är relativt enkelt för användaren att lära sig konstruera också relativt komplicerade program genom kalkylprogrammets intuitiva människa–maskininterface (Hämäläinen, 1998, s. 70).

Kalkylprogram bygger på metaforen av ett papper, ett kalkylblad med rutmönster. Varje cell refereras till genom en kombination av en kolumnbeteckning (bokstav eller kombination av bokstäver) och ett radnummer (t.ex. C14). En cell kan också tilldelas en egen beskrivande beteckning (t.ex. impedans). I en cell kan lagras:

- ett konstant alfanumeriskt värde (textsträng)
- ett konstant numeriskt värde
- en formel, som beräknar värdet av den funktion som formeln definierar. Resultatet av beräkningen blir då värdet i den cell som innehåller formeln. En formels argument är antingen konstanter eller värden i andra celler (som innehåller alfanumeriska värden, numeriska värden eller formler).

Förändringar av värdet i en cell fortplantas omedelbart till alla sådana celler vars innehåll har bestämts vara en funktion av denna cells värde. Numeriska beräkningar utförs med hjälp av inbyggda funktioner och användarkonstruerade makroprogram. Matematiska funktioner, kurvanpassningsverktyg och statistiska analyser hör till de inbyggda funktionerna. Användaren måste själv programmera in en algoritm för att kalkylprogrammet ska kunna utföra numerisk integration och motsvarande uppgifter. Grafisk presentation görs på basis av värden i kalkylbladets celler. Eftersom kalkylprogrammet är optimerat för användning inom affärsvärlden ligger tyngdpunkten på variationer av stapel-, linje- och cirkeldiagram. För att passa naturvetenskapligt bruk måste de automatiska grafritningsrutinerna modifieras.

Kalkylprogram i fysikundervisningen

Ett kalkylprogram är ett kraftfullt verktyg med vilket man kan bygga numeriska modeller av fysikaliska fenomen. Kommersiella kalkylprogram har vunnit insteg i fysikundervisningen tack vare sin enkelhet, sin användarvänlighet och sina möjligheter till omfattande databehandling och kraftfull grafritning (Beichner, 1995; Carson, 1995, 1998; Cooke, 1997; Silva, 1998; Webb, 1993). Genom att utgå från storhetsvärden och formler, som beskriver ett fysikaliskt samband, kan man snabbt åstadkomma en stor mängd data, som kan presenteras numeriskt och grafiskt. Speciellt kan nämnas kalkylprogrammets lämplighet att presentera fysikaliska samband som uttrycks med differensekvationer. Kroppars rörelse i luft, harmonisk svängning, laddning av en kondensator och elektromagnetisk induktion är exempel på detta. Genom iterativa metoder, där varje steg är beroende av det föregående, kan sedan differensekvationen lösas numeriskt och grafiskt (Carson, 1995). Dahland (1993, s. 38) tar fram de värdefulla möjligheter kalkylprogram har tillfört undervisningen i gymnasiet. Ett viktigt område är interaktivt arbetssätt och analys av problem enligt en modell där man ställer frågan ”Vad händer om man gör si eller så?”. Ett annat område är att arbeta med mer realistiska data och grafisk presentation av data.

1.2 Avhandlingens syfte och forskningsfrågor

Syftet med avhandlingen är att designa ett datorbaserat verktyg, implementera det i fysikundervisningen och undersöka effekten av verktygets funktion i lärandeprocessen. Introduktionen av innovationer i fysikundervisningen och hur man värderar dessa måste enligt Redish (1993) kopplas till frågor om detaljerade mål för eleverna. Det handlar också om i vilket tillstånd elevernas kunskaper är, vilka förväntningar man har på det som de ska lära sig och vad man kan göra för att hjälpa dem att förändra sin kunskapsnivå.

Fysikundervisningen inriktas på att få eleverna att förstå logiska kopplingar, såsom orsak och verkan, tidssekvenser, samband mellan storheter, regler och exempel. I många fall är de fysikaliska processerna komplicerade och det kan vara svårt för eleverna att förstå sambanden mellan de ingående storheterna och delprocesserna. I det föregående avsnittet gavs en antydan om möjligheterna till dynamisk visualisering med hjälp av datorsimuleringar. Kan man med hjälpmedel som tekniskt är möjliga att utarbeta också åstadkomma effekter som är önskvärda i undervisningen? Det är viktigt att eleverna får en förändrad syn på datorns roll i undervisningen och lärandet. Textbehandling, datorspel och aktiviteter kring Internettjänster såsom e-post och surfande har blivit de dominerande verksamheterna i elevernas datoranvändning, medan datortillämpningar inom exempelvis naturvetenskapliga ämnen i skolan utnyttjas litet (Sinko, 1999).

Det måste finnas en rad motiverande faktorer och logiska grunder för att implementera datorverktyg i undervisningen. Förutom kognitiva aspekter måste man också beakta psykologiska. Det är också svårt att fullständigt integrera datorverktyg i undervisningen. Datorerna är fortfarande förpassade till separata utrymmen, datasalar. I de normala undervisningsutrymmena saknas i allmänhet nödvändig datorutrustning, och den datorbaserade undervisningen måste läggas in som en särskild del av den traditionella undervisningen. Kurserna är inte heller anpassade för undervisning med datorstöd.

> For present purposes, the significant point is that the courses have been structured in terms of scientific concepts and principles, with the technology being 'added on' to illustrate the application of the science in situations likely to enhance students´ interest in, and understanding of, the science (Layton, 1993, s. 42).

Det finns enligt diSessa (1987, s. 360) två allmänna strategier då man förenar grundforskning och innovationer för att undersöka vilka möjligheter som står till buds för nyutvecklingar. Den ena strategin handlar om utvecklandet av prototyper. Man vill först utarbeta en arbetsmodell av en undervisningsinnovation och studera denna i en begränsad men realistisk undervisningsmiljö utan att ännu i det skedet överlämna den till en större population. Prototyperna tillåter en att simulera de avväganden som måste göras i framtida undervisningspraxis. Den andra allmänna strategin handlar om principiell design, som innebär att man under konstruktionsprocessen så explicit som möjligt lägger fram de förutsättningar som ligger bakom innovationen. Designen ska gälla såväl lärokursinnehåll som mjukvara och undervisningspraxis, men också fundamental förståelse av kunskap. Man kan samtidigt inrikta sig på kortsiktiga behov av goda kvalitativa idéer och materiel.

PDR-verktyg

Ett grundkoncept för en prototyp är att läraren designar och producerar ett verktyg för undervisning och lärande och introducerar detta under enskilda lektioner i undervisningen. Verktyget ska lämnas tillgängligt för att användas av eleverna, i första hand i undervisningen och i andra hand utanför undervisningen, t.ex. under håltimmar och annan fritid. Ett sådant verktyg borde vara förhållandevis enkelt att producera. Man borde utnyttja moderna datorers stora räknekapacitet och grafikmöjligheter på ett sådant sätt att data, både numeriska och grafiska, kan presenteras parallellt på datorskärmen med möjlighet till en dynamisk framställning. Man får ett *PDR-verktyg*, ett verktyg som producerar *parallella, dynamiska representationer av numeriska och grafiska data*. Tyngdpunkten i PDR-verktygens dynamiska representationer ligger på fysikaliska begrepp och fenomen, inte på tekniska tillämpningar och vardagskunskap om fenomenen.

Min erfarenhet är att elevernas begreppshantering är svag. Likadant är det med förståelsen av komplexa samband. Många fysikaliska processer som ingår i

undervisningen i gymnasiet är svåra att förstå (sådana som kraft och rörelse, vågors interferens, induktionsfenomen och växelströmskretsars funktion), har komplicerade samband (kraft och rörelse, växelströmskretsar), är svåra att demonstrera visuellt (mekaniska, akustiska och elektromagnetiska vågrörelser) eller kan inte direkt observeras (elektromagnetiska vågrörelser).

Genom att använda ett kalkylprogram som basverktyg kan man dra fördel av ett stort antal färdiga rutiner för att hantera numeriska värden och grafiska data. Man kommer undan med en avsevärt mindre arbetsmängd vid produktionen av ett undervisningsverktyg än om man börjar från början med att programmera samma produkt med hjälp av ett programmeringsspråk (Pascal, C+ etc.). Det verktyg som avhandlingen bygger på är ett av ett stort antal tidigare prototyper av PDR-verktyg gjorda i Excel[3]. Ett PDR-verktyg kan utformas så att det kan tillämpas i ett kursmoment som ska undervisas. Det betyder att verktyget snabbt kan sättas i användning utan omfattande inskolning av användaren (eleven och läraren). Detta är ett viktigt kriterium för att upprätthålla effektiviteten i undervisningsarbetet i gymnasiet. Då verktyget introduceras i fysikundervisningen uppstår frågor om den miljö som är lämplig för detta slag av verktyg och hur verktyget påverkar de aktörer som verkar i miljön.

Forskningsfrågor

Med utgångspunkt i ovanstående tankegångar växer följande tills vidare allmänt formulerade frågor fram:

Hur kan man utforma ett didaktiskt, datorbaserat verktyg som utnyttjar numeriska och grafiska representationer? Hur kan man implementera verktyget i undervisningen? Hur kan man undersöka verktygets inverkan på elevers och lärares uppfattning av dess funktion i lärandeprocessen?

1.3 Val av forskningsmetod

Utgångspunkten för studien är ett personligt behov av att förändra traditionell undervisning genom att introducera ett datorbaserat verktyg med sådana egenskaper att det kunde tänkas effektivera lärandet. Implementeringen förknippas emellertid med en rad didaktiska problem. Arbetet med sådana frågor kan organiseras utgående från forskningsmetoder, som innebär att man genomför aktiviteter av design, utveckling och utvärdering av produkter för undervisningsändamål och studerar de processer som involveras i detta (jfr Richey & Nelson, 1996). Det finns ett antal sådana metoder, av vilka tre beskrivs kort.

[3] Några exempel inom fysikämnet: *PDRmotion* och *PDRfall* för studier av rörelse, *PDRwave* för studier av vågrörelser, *PDRxray* för studier av röntgenstrålningens spektra och *PDRinduction* för studier av induktionsfenomenet.

Developmental research

Utvecklingsforskning, developmental research, kan enligt Richey och Nelson (1996) indelas i två kategorier. Den ena kategorin omfattar situationer där produktutvecklingsprocessen beskrivs och analyseras och den slutliga produkten utvärderas. Resultatet är i allmänhet kontext- och produktspecifikt. Den andra kategorin orienterar sig mot en generell analys av antingen design-, utvecklings- eller utvärderingsprocessen som helhet eller någon specifik komponent. Denna typ av utvecklingsforskning leder företrädesvis till generaliserade slutresultat.

Vid Freudenthalinstitutet och centret för undervisning i naturvetenskap och matematik vid universitetet i Utrecht, Holland, har man introducerat en utvecklingsforskningsmetod, som består av en blandning av lärokursutveckling och pedagogisk forskning (Gravemeijer, 1994, 1998; Lijnse, 1995). Utvecklingsforskningen är en slags basforskning som lägger grunden till det arbete som professionella lärokursutvecklare gör.

Undervisningsaktiviteter utvecklas för att utarbeta och testa en undervisningsteori som är slutresultatet av en rad forskningsprojekt. I den första fasen utarbetas en preliminär design för en kurs med undervisningssekvenser som ska uppfylla följande fordringar: Man bör koppla undervisningsaktiviteterna till elevernas informella situationskunskap och tillåta att de utvecklar en mer sofistikerad, abstrakt, formell kunskap samtidigt som man rättar sig efter grundprinciperna för intellektuell autonomi (Gravemeijer, 1998, s. 279). Den andra fasen handlar om att utarbeta kursen i växelverkan med undervisningsexperiment. Utarbetandet av kursprototypen sker i en iterativ process av design och testning. Idéerna tas från olika källor, lärokurser, texter om undervisning, forskningsrapporter etc. Urvalet av material och anpassningen till den nya kursen vägleds av teori.

En lokal undervisningsteori växer fram via produkten, dvs. lärokursen, forskarens lärandeprocess och hans redogörelse för denna. Nyckelingredienserna i denna teori är för det första elevernas informella kunskaper och strategier på vilka undervisningen kan byggas. För det andra handlar det om kontextuella problem som kan användas för att framkalla informella kunskaper och strategier. Den tredje ingrediensen gäller undervisningsaktiviteter som kan gynna reflektiva processer som understöder begränsning, schematisering och abstraktion. Gemensamma kännetecken baserade på flera olika lokala undervisningsteorier konstruerar slutligen en områdesspecifik undervisningsteori, som är en a posteriori-teori.

Utvecklingsforskningen karakteriseras av att teoriutvecklingen sker gradvis, iterativt och kumulativt. Teoriutvecklingen sker på olika nivåer: nivån för undervisningsaktiviteter som bärs upp av mikroteorier, nivån för kursen som inbegriper lokala undervisningsteorier och nivån för den områdesspecifika

undervisningsteorin. Denna typ av forskning är reflexiv: teoriutvecklingen stöds av reflexiva relationer mellan de nämnda nivåerna.

Design-based research

Designbaserad forskning har under 1990-talet fått fotfäste inom ramen för undervisning och innovation. Wittman (1998) talar om ”design science”, som handlar om att (i matematiken) konstruera undervisningsenheter och utsätta dem för empirisk forskning. Sådana undervisningsenheter har egenskaperna att de representerar centrala mål, innehåll och principer. De står för rika källor till matematiska aktiviteter, de är flexibla och kan lätt anpassas till de villkor som gäller i en speciell klass. De innefattar också matematiska, psykologiska och pedagogiska aspekter av undervisning och lärande på ett holistiskt sätt (Wittman, 1998, s. 96).

En parallellform av designbaserad forskningsmetod kallas ”design experiment” och har emanerat från bland andra Ann Brown och Allan Collins (se Kelly, 2003). Metoden är förenad med både konstruktion av särskilda former för lärande och systematiskt studium av dessa. Designexperimenten syftar till att utveckla en klass av teorier som riktar sig mot områdesspecifika lärande-processer inom den kontext som definierats av de medel som stöder lärandet (Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer & Schauble, 2003). Kontexten kan bestå av individuella elever, en klass, en professionell undervisningsgemenskap, en skola eller ett skoldistrikt. Avsikten är att undersöka möjligheterna till förbättringar i undervisningen genom att åstadkomma nya lärandeformer och att studera dem. Den framåtblickande aspekten av experimenten består i att implementera en design med en hypotetiserad lärandeprocess som fingranskas, medan den reflektiva aspekten består av hypotesledda tester på flera analysnivåer. Design-experimenten resulterar i en iterativ process av uppfinning och revidering. De teorier som utvecklas kan vara anspråkslösa genom att de handlar om områdes-specifika lärandeprocesser och genom att de förklaras av designaktiviteten. Emellertid fungerar teorierna i praktisk undervisningskontext och ger därför bidrag till både förståelsen av lärande- och undervisningsprocesser, när forskaren är aktiv som lärare, och till meningsfulla förändringar i undervisnings-praxis.

Designbaserad forskning gör alltmer insteg också i den finländska under-visningsforskningen. Detta slag av forskning ger goda möjligheter att studera unika fenomen i utbildningen genom att forskaren kan designa nya lärandemiljöer, undersöka hur de fungerar och utveckla undervisningsteorier (se bl.a. Aksela, 2005; Juuti, 2005).

Ingénierie didactique

Forskning i didaktiskt arbete, som innebär design av undervisningsinnehåll eller -produkter, har sitt ursprung i den franska skolans matematikdidaktik i början av 1980-talet. Det didaktiska arbetet kan förliknas vid det arbete en ingenjör utför i ett konstruktionsprojekt. För att lösa olika slag av problem i ett sådant projekt söker ingenjören stöd i vetenskaplig kunskap och accepterar vetenskaplig bekräftelse av lösningarna, men måste samtidigt arbeta med komplexa objekt, som han måste hantera på ett praktiskt sätt och med alla tillbudsstående medel (enligt en av förgrundsfigurerna Yves Chevallard, se Artigue, 2000). Överfört till fältet för didaktiskt utvecklingsarbete handlar det dels om undervisningsproduktion, som härrör från och baseras på forskning, dels om en forskningsmetod som baseras på experiment i klass. Ingenjörsarbetet får då didaktiska förtecken och forskningsmetoden, *ingénierie didactique*, blir ett verktyg för didaktisk produktion av ovanstående slag (Artigue, 1992; Artigue, 1994; Artigue, 2000). Metoden *ingénierie didactique* har emanerat från fransk *didactique* och till den hörande teorin för didaktiska situationer. Denna metod fungerar utmärkt på mikronivå, dvs. för design av mindre (eller större) innovationer anpassade för didaktiska sekvenser i klass inom ramen för en kurs och för en elevgrupp eller rentav individuella elever. Jag har därför beslutat att välja denna forskningsmetod i min studie och ger i nästa kapitel en närmare presentation, först av teorin för didaktiska situationer och sedan av själva forskningsmetoden.

2 Didaktisk ingenjörskonst

2.1 Didactique

Teorin om didaktiska situationer

Teorin om didaktiska situationer har ursprungligen utvecklats av Guy Brousseau (se bl.a. Brousseau, 1997). Teorin ”baserar sig på ett konstruktivistiskt synsätt” (Artigue, 1994, s. 29) och utgår från principen att eleven utarbetar ”sin personliga kunskap genom interaktioner (vanligen sociala interaktioner) med en viss miljö” (Artigue & Perrin-Glorian, 1991, s. 13). Teorin utarbetades ursprungligen inom ramen för matematikämnet och syftade till att utveckla de konceptuella och metodiska resurserna för att kunna kontrollera relationen mellan kunskapens konstruktion och funktion och de undervisningssituationer där konstruktionen sker (Artigue, 1994; Artigue & Perrin-Glorian, 1991).

I undervisningssammanhang är det enligt Brousseau (1997, s. 29) vanligt att man uppfattar kunskap som en motsvarighet mellan goda frågor och goda svar. Läraren ställer upp de problem som eleven måste lösa. Eleven demonstrerar sin kunskap genom att svara. Om han inte kan svara är behovet av kunskap uppenbart och undervisning är nödvändig. A priori är varje metod acceptabel som tillåter memorering av gynnsamma associationer. Utgående från Sokrates’ maieutik antas eleven enligt Brousseau kunna locka fram kunskap ur sina egna erfarenheter genom att interagera med sin miljö. Eleven lär sig genom att titta på världen, genom att framställa sådana hypoteser som hans erfarenhet tillåter att han väljer eller genom en mer komplex interaktion som består av assimilation och ackommodation i enlighet med Piaget (s. 30).

Brousseau (1997) definierar *miljö* som allt det som inverkar på eleven eller som eleven inverkar på inom en handlingssituation. Varken lärare eller någon annan elev behöver nödvändigtvis inkluderas; så gott som alla undervisningssituationer är specialfall av det allmänna mönstret (s. 9). Eleven lär sig genom att anpassa sig till en miljö som genererar motsägelser, svårigheter och bristande jämvikt, något som är jämförbart med det mänskliga samhället. Kunskapen, som är resultatet av elevens anpassning, manifesterar sig själv genom nya responser som utgör bevis på lärande. Denna psykogenetiska Piaget-process, motsatsen till skoldogmatism, påverkas inte av didaktisk intention, men Brousseau skriver:

> By attributing to ”natural” learning what is attributed to the art of teaching according to dogmatism, Piagetian theory takes the risk of relieving the teacher of all didactical responsibility; this constitutes a paradoxical return to a sort of empiricism! But a *milieu* without didactical intentions is manifestly insufficient to induce in the student all the cultural knowledge that we wish her to acquire (s. 30).

Termen *situation* betecknar den mängd omständigheter i vilka eleven finner sig själv, de relationer som förenar honom med miljön och mängden ”givna förutsättningar” som karakteriserar en handling eller en förändring som sker gradvis. En *didaktisk situation* är en situation i vilken det finns en direkt eller indirekt manifestation av en vilja att undervisa – en lärare (Brousseau, 1997, s. 214).

Kunskap med avsikt

En modern uppfattning av undervisning kräver enligt Brousseau att läraren framkallar den förväntade anpassningen hos eleven genom ett klokt val av problem som eleven ställs inför. Anta att man med lärande menar en modifiering av elevens kunskap som eleven själv producerar, sporrad av läraren. Det leder till följande resonemang: Läraren söker en lämplig situation för att få eleven att lära sig. Det första svar som eleven tänker ut som respons på lärarens fråga får inte vara det som läraren vill undervisa; då skulle ju eleven redan ha den kunskapen. Initialsvaret borde vara sådant att eleven börjar använda en strategi som grundar sig på existerande kunskap. Strategin måste dock visa sig vara tillräckligt ineffektiv för att eleven ska tvingas göra en anpassning, dvs. en modifiering av sin kunskap, för att klara av situationen.

Lärarens arbete måste enligt Brousseau gå ut på att föreslå en lärandesituation så att eleven producerar sin kunskap som ett personligt svar. Eleven borde använda kunskapen eller modifiera den så att det sker en anpassning till det oundvikliga problem som miljön frammanar men att det inte blir ett uppfyllande av lärarens förväntningar. En lärandesituation måste kunna ses som en nödvändig skyldighet, som inte är godtycklig men inte heller didaktisk. För lärarens del innehåller emellertid varje didaktisk situation en komponent av avsikt och förväntning.

För att eleven inte ska betrakta den didaktiska situationen som endast motiverad av lärarens förväntningar, måste läraren avlägsna alla didaktiska förutsättningar från den. Eleven måste känna att det är hans projekt och acceptera sitt ansvar för att nå ett visst resultat. Det räcker inte med att läraren kommunicerar problemet till eleven och försöker få honom att känna det som sitt problem och ta ansvar för att lösa det. Inte heller räcker det att eleven accepterar sitt ansvar för att lösa ett till synes universellt problem som inte är bundet till subjektiva förutsättningar. Den aktivitet som läraren måste söka för att uppnå resultat innebär att överföra allt eller en del av sitt ansvar till eleven och beskrivs av begreppet *delegering*[1] (Brousseau, 1997, s. 228). ”In modern *didactique*, teaching is the devolution to the student of an adidactical, appropriate situation; learning is the student’s adaptation to this situation” (s. 31).

[1] Brousseau (1997) hänvisar till en historisk händelse för att förklara betydelsen av *devolution,* den engelska motsvarigheten till *delegering*: "It is no longer I who wills [sic!], it is you who must will, but I am giving you this right because you cannot take it yourself." (s. 249)

Begreppet delegering

Brousseau (1997, s. 229–230) introducerar begreppet delegering genom att framställa två påståenden inklusive definitioner och en följdsats:

> *Statement 1*
> The main objective of teaching is the functioning of knowledge as a free production of the student within her relationship with an adidactical *milieu*.
>
> *Free production:* The response to a *milieu* which is managed by the meaning – that is, by whatever the student is able to insert between her internal or external conditioning and her decisions. This implies an actual – not just a potential – possibility of choosing one of many paths for ”intellectual” reasons; it also implies a personal production.
>
> *Adidactical milieu:* The image, within the didactical relationship, of the *milieu* which is ”external” to the teaching itself; that is to say, stripped of didactical intentions and presuppositions.
>
> *Statement 2*
> The student acquires knowledge by various forms of adaptation to the constraints of her environment. In the school setting, the teacher organizes and sets up a *milieu* (for example, a problem), which reveals more or less clearly her intention of teaching certain knowledge to the student. The teacher conceals enough of this knowledge and the expected answer so that the student can obtain them only by a personal adaptation to the problem. The value of acquired knowledge therefore depends on the quality of the *milieu* as an instigator of a ”real”, cultural functioning of knowledge, and thus on the extent to which adidactical suppression is obtained.
>
> The child doesn't spontaneously view the world as a system stripped of intention with regard to herself, and is interested in unearthing and using to her advantage the didactical machinery because of what it can offer her. It is therefore essential that the teacher prepare the student for this adidactical functioning by integrating it into the didactical phases; the student can learn only by producing, by making her knowledge work and evolve – if not all the time, then quite frequently – in conditions ”similar” or asymptotically similar to those which she will meet in the future.
>
> *Corollary 1*
> In order to allow this functioning, the teacher cannot tell the child in advance exactly what response is expected from her. The teacher must therefore make her take responsibility for finding a solution to problems or exercises whose answers she doesn't know.
>
> *Definition*
> Devolution is the act by which the teacher makes the student accept the responsibility for an (adidactical) learning situation or for a problem, and accepts the consequences of this transfer of this responsibility.

Brousseau (1997) anser att läraren måste fungera klokt vid sitt val av problem, som eleven ska lösa, så att elevens anpassning sker enligt vad som förväntas. I

en undervisningssituation måste läraren undvika att ingripa efter det att eleven har accepterat problemet som sitt eget. Eleven måste genom sin egen motivation försöka lösa problemet genom att tänka, tala, handla och utveckla sitt resonemang för att kunna ge ett svar och senare kunna använda kunskapen i situationer som ligger utanför undervisningskontexten. En sådan situation kallas en *adidaktisk situation*.[2] Ett givet kunskapsmoment kan behöva en eller flera adidaktiska situationer för att bibehålla en lämplig innebörd; en sådan situation kallas *fundamental situation* (s. 30). De fundamentala situationerna kan tillåta eleven att skapa en korrekt uppfattning av den kunskap, som med tiden låter sig infogas vid konstruktion av ny kunskap (s. 42). Läraren måste också göra det möjligt för eleven att ta sig ur den adidaktiska situationen, som arrangerats i didaktiskt syfte, med en kunskap som är korrekt och definitiv. Emellertid kan det inträffa att den kunskap eleven inhämtar genom förståelse kan vara falsk eller annorlunda än vad som var avsikten. Det kan vara svårt att senare ändra denna kunskap (s. 43).

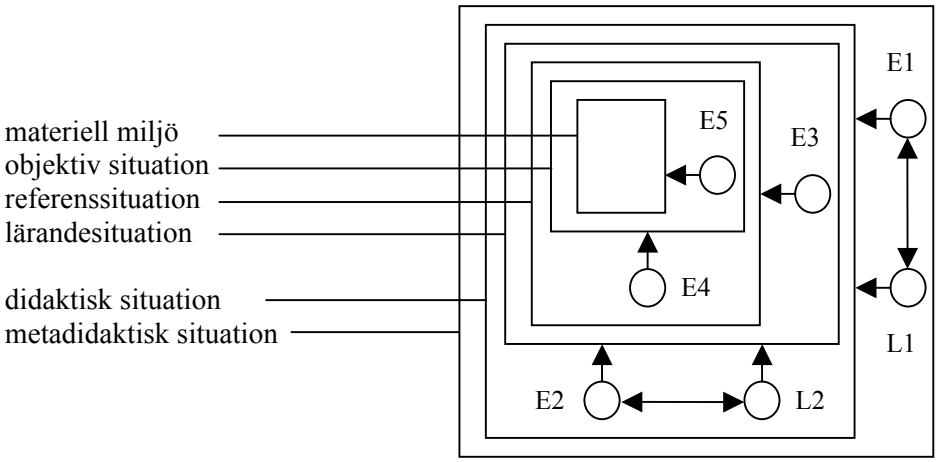
Den fundamentala situationen eller problemet, som läraren valt, är en del av den huvudsakliga situationen. I denna vill läraren delegera en adidaktisk situation till eleven. För detta syfte ”kommunicerar läraren eller avstår från att kommunicera information, frågor, undervisningsmetoder, heuristik etc. Läraren är därför involverad i ett spel med eleven och hans interaktion med problemen. Detta spel, eller den huvudsakliga situationen, är den *didaktiska situationen*” (s. 31).

I den situation som eleven upplever gör han inte genast skillnad mellan vad som är väsentligt adidaktiskt och vad som är av didaktiskt ursprung. Den slutliga adidaktiska referenssituationen, den som karakteriserar kunskapen, kan studeras på ett teoretiskt sätt, men i den didaktiska situationen är den för läraren lika väl som för eleven ett slags ideal mot vilket de försöker sträva. Läraren måste alltid hjälpa eleven att så snabbt som möjligt skala av situationen alla dess didaktiska konster för att låta eleven få personlig och objektiv kunskap (s. 31).

I figur 1, som schematiskt visar elevens och lärarens olika roller, representerar E och L följande:

L1: Läraren reflekterar över den sekvens som måste konstrueras, betraktar undervisningssituationen (*teaching situation*)[3] som ett objekt och förbereder lektionen.
E1: Detta är eleven som ser på en undervisningssituation utifrån.

[2] I den betydelse som avsikten att undervisa fortfarande ger situationen (som är specifik för kunskapen). En icke-specifik pedagogisk situation av ett kunskapsmoment skulle kallas icke-didaktisk, i stället för adidaktisk (Brousseau, 1997, s. 73).
[3] I översättningen från den franska till den engelska versionen av boken (Brousseau, 1997) verkar ”teaching situation” betraktas som synonym till ”didactical situation” (förf. anm.).



Figur 1. Struktureringen av den didaktiska miljön eller lärarens och elevens olika roller (från Brousseau, 1997, s. 248).

L2: Detta är den undervisande läraren. Läraren är i den didaktiska situationen (*didactical situation*), är aktiv och har framför sig något som är lösningen till lärandet. Hon har vid sin sida en elev som hon kan tala med, påverka och vara i samspel med.

E2: Eleven ser på sin egen lärandesituation. Läraren L2 håller en diskussion med eleven om lärandet.

E3: Eleven är i en lärandesituation. Han konfronteras med en situation som inte längre är en didaktisk situation. Eleven ifråga betraktar eleven E4 – som kunde vara han själv – i en situation av samspel med världen, en person som fattar beslut. Detta är referenssituationen. Eleven E3 är det epistemiska subjektet och E4 är det aktiva subjektet. E4 betraktar den objektiva situationen som får subjektet att arbeta. E5 är ofta hypotetisk och kan handla om dem som finns med i problemet. Eleven kan identifiera sig med detta subjekt men tränger inte in på den nivån (s. 249).

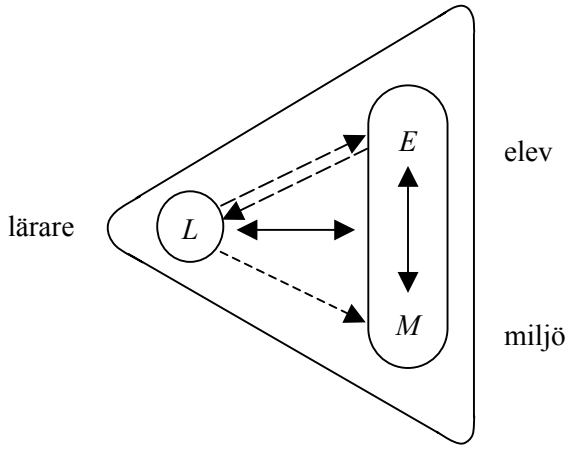
I den didaktiska situationen etableras ett *didaktiskt kontrakt* som anger de spelregler och strategier som gäller för samspelet mellan eleverna och läraren. För läraren är det ett försvar för att presentera situationen. Medan situationen växer fram modifieras kontraktet så att nya situationer tillåts inträffa. Den adidaktiska situationens regler och de strategier som används bestämmer kunskapens utformning. Kunskap produceras i takt med att strategierna växer fram och nya adidaktiska situationer kan designas. Det didaktiska kontraktet är nära kopplat till den specifika kunskap som står på spel. I modern *didactique* är undervisning att delegera en adidaktisk, lämplig situation till eleven; lärande är att eleven anpassar sig till denna situation (Brousseau, 1997, s. 31). I figuren skulle den adidaktiska situationen motsvaras av området innanför nivån E2. Situationerna

kan betraktas som formella spel. Föreställningen om att en undervisningssituation är ett slags spel gynnar förståelsen av och kontrollen över situationen.

Spel

Utformningen av en undervisningssituation består i att iscensätta ett spel som är specifikt för målkunskapen. Betydelsen av begreppet spel definieras med hjälp av en mängd relationer mellan en spelare och miljön bestående av fria, fysiska eller mentala aktiviteter. I spelet gäller specifika regler. Spelaren har till förfogande en uppsättning instrument för vilka taktik eller strategier kan komma ifråga. I spelet kan det förekomma ett antal positioner som spelaren kan välja (Brousseau, 1997, s. 48–49).

Enligt Brousseau (1997) är det nödvändigt att beakta två skilda typer av spel (se fig. 2). För det första tillåter elevens spel med den adidaktiska miljön en specificering av vad kunskapens uppgift är efter och under lärandet – dessa spel är uppenbarligen specifika för varje kunskapsbit (s. 56). Kunskap är medlet att förstå basreglerna och strategierna och senare att utarbeta vinnande strategier och uppnå det resultat som eftersträvas (s. 40). För det andra består lärarens spel i att organisera dessa elevspel (i den mån de också är specifika för målkunskapen). Dessa spel berör åtminstone tre medspelare, vanligen fyra: läraren, eleven, elevens närmaste omgivning och den kulturella miljön. Lärarens spel i varje konkret system av handling definierar och ger en innebörd åt elevens spel och åt kunskapen (s. 56). Det didaktiska kontraktet utgör ett medel att etablera grundregler och strategier och att senare anpassa dem till förändringar i elevens spel (s. 41).



Figur 2. Elevens spel med den adidaktiska miljön och läraren som organisatör av elevens spel (efter Brousseau, 1997, s. 56).

Lärarens två huvudsakliga typer av spel är delegering och institutionalisering. Vid delegering sätter läraren eleven i en adidaktisk eller pseudo-adidaktisk situation. Läraren ger fingervisningar om element av val, regler och insatser som tillåter att situationen utformas i termer av spel. Vid institutionalisering definierar hon de relationer som kan tillåtas mellan elevens ”fria” beteende eller produktion och den kulturella eller vetenskapliga kunskapen och det didaktiska projektet; hon tillhandahåller ett sätt att ”läsa” dessa aktiviteter och ger dem en status. Institutionaliseringen är nära relaterad till det didaktiska kontraktet (s. 56).

Det didaktiska kontraktet

I alla didaktiska situationer försöker läraren tala om för eleverna vad hon vill att de ska göra. För att eleven ska tillägna sig kunskap förmodas läraren skapa tillräckliga villkor och känna igen när tillägnandet inträffar. Under övergången från lärarens instruktioner till det förväntade svaret måste eleven sätta in målkunskapen genom att undersöka och lösa specifika problem och ta upp nya frågor. Läraren delegerar ett problem men kommunicerar inte kunskap. Lärande sker om delegeringen kan verkställas och eleven vinner det spel som han träder in i. Läraren förutsätter därför att tidigare lärande, och de nya villkoren förser eleven med möjligheten till nytt lärande.

Eleven förväntas göra vad han kan för att uppfylla dessa krav. Om eleven emellertid vägrar eller undviker att lösa problemet har läraren den sociala förpliktelsen att hjälpa honom. Mellan läraren och eleven skapas det en relation som påminner om ett kontrakt. Innehållet i detta didaktiska kontrakt är karakteristiskt för undervisningssituationen och specifikt för den aktuella målkunskapen och kan därför inte beskrivas generellt (Brousseau, 1997).

Om lärande inte inträffar, kan eleven klandras för att inte ha fullföljt det som förväntades av honom. Men också läraren kan beskyllas för att inte ha ”levt upp till sina professionella förpliktelser” (Blomhøj, 1994, s. 37). Detta samspel av förpliktelser motsvarar inte exakt ett kontrakt dels för att kontraktet inte kan göras fullständigt explicit, dels för att läraren i sista hand har ansvaret för resultaten. För det första finns det inga sätt att garantera att eleven konstruerar ny kunskap eller tillägnar sig den kunskap som är mål för undervisningen. Den didaktiska relationen misslyckas om kontraktet endast vilar på lärarens och elevens beteenderegler och respekteras samvetsgrant. Risken finns att läraren felaktigt antar att ”elevens eventuella relevanta handlingar eller korrekta svar har sin grund i det förelagda … problemet, medan eleven endast reagerar på grund av en mycket välutvecklad förmåga att tolka samspelet med läraren i förhållande till det didaktiska kontraktet” (Blomhøj, 1994, s. 38). För det andra måste läraren försäkra sig om att eleven har de effektiva resurserna att förvärva kunskap så att ansvaret kan överlåtas till honom. Eleven, å sin sida, kan kanske inte anse sig ta ansvar för sådan problemlösning som han inte har blivit undervisad i. Eleven vet

inte vilka val som erbjuds honom och vilka deras konsekvenser är (Brousseau, 1997, s. 31–32). Det innebär alltså att ”eleven bara kan lära sig något genom att bryta det didaktiska kontraktet genom att engagera sig i … problemet och själv överta kontrollen av sin verksamhet” (Blomhøj, 1994, s. 38).

I teorin för didaktiska situationer är ”det teoretiska konceptet i *didactique* därför inte kontraktet (det goda, det dåliga, det sanna eller det falska kontraktet), utan den hypotetiska *processen att finna ett kontrakt*. Det är denna process som representerar observationerna och måste utforma och förklara dem” (Brousseau, 1997, s. 226).

Adidaktiska situationer

”’Adidaktiska’ situationer är lärandesituationer i vilka läraren framgångsrikt har gömt sin vilja och sitt ingripande som en avgörande faktor i fråga om vad eleven måste göra; de är sådana som fungerar på kunskapsnivån utan ingripande av läraren” (Brousseau, 1997, s. 236, egen övers.).

Man kan inte skapa en modell av den didaktiska situationen så att den motsvarar en enkel kommunikation eller interaktion. Det didaktiska kontraktet kommer i slutskedet av undervisningen att brytas och de undervisade eleverna kommer med hjälp av den inlärda kunskapen att klara av att stå inför situationer utan didaktiska intentioner. Eleven kan med hjälp av sin kunskap uppfatta att han befinner sig i nya adidaktiska situationer. De adidaktiska situationerna kan också tolkas som nya spel som kräver nya svar utan referens till sådant som eleven känner, eller att eleven ställer nya frågor utan att nödvändigtvis få svar. Den didaktiska situationen måste inbegripa en representation av kommande relationer, situationer som är avskilda från skolvärlden och representerar en miljö som närmar sig realiteten. Elevens relation till denna miljö måste befrias från didaktiska avsikter (Brousseau, 1997, s. 57).

Analysen av de didaktiska relationerna kan bestå av att känna igen det adidaktiska spelet som sammanför miljön och spelaren. Dessa spel är sådana att kunskapen uppkommer som det medel som producerar vinnande strategier. Eleven kan vid en viss punkt i undervisningen engagera sig genom sitt didaktiska kontrakt i en mer eller mindre reell relation till en miljö, som helt eller delvis organiserats i undervisningssyfte. Denna relation har arrangerats för att försvara elevens relevanta produktion av beteenden, som är indikatorer på tillägnandet av kunskap. Det betyder att elevens svar inte får motiveras av förpliktelser relaterade till det didaktiska kontraktet utan av adidaktiska nödvändigheter som hör ihop med elevens relation till miljön. Den adidaktiska situationen kan också vara oförmögen att framkalla lärande. Den didaktiska effekten innefattas då i det didaktiska kontraktet. Det kan också vara så att effekterna av miljön på eleven, och vice versa, förväntas vara tillräckliga för att framkalla förväntade anpassningar och lärande. I undervisningen kan man lyfta

fram sådant som försäkrar att eleven får den önskvärda kunskapen. Det allmänna fallet är uppenbarligen ett mellanting och kombinerar ett didaktiskt kontrakt och en adidaktisk situation som också kan vara en lärandesituation genom anpassning (Brousseau, 1997, s. 57–58).

Problemsituationer

En situation är en *problemsituation* som framtvingar en anpassning, en respons av eleven. Om behovet av denna respons har varit utgångspunkten för en bestämd undervisning eller om eleven har ett projekt, ett deklarerat mål, kan man säga att man har en ”strikt problemsituation” (eller en formell sådan). Man kan till och med tala om ett ”problem”, ifall miljön är reducerad till en redogörelse. Detta förutsätter att ingen materiell begränsning, som beror av fysiska aspekter av situationen, eller något psykologiskt eller socialt villkor modifierar dess tolkning. I allmänhet kan man i en didaktisk situation identifiera åtminstone en problemsituation och ett didaktiskt kontrakt (Brousseau, 1997, s. 214).

Varje problemsituation fordrar för elevens del beteenden som är *indikationer* på kunskap. Denna fundamentala överensstämmelse, som etableras från fall till fall, rättfärdigas genom att man tolkar problemsituationer i termer av spel och beteende eller i termer av indikationer på strategier, vars anpassade karaktär måste visas i den modell eller representation som tillskrivs eleven. Syftet med tabellen i bilaga 1 är att visa att olika typer av situationer, producerade genom studier av didaktiska villkor för lärande, frambringar tydliga beteenden beroende på formen av kunskap. I en modell med fyra kategorier har benämningarna varierat i enlighet med de nyanser som urskiljts bland de studerade fallen: (1) procedur (en handlingsmodell eller ett handlingsmönster), (2) implicit kunskap ekvivalent med ett påstående, en egenskap eller ett samband, (3) explicit kunskap, (4) språk (kod, formellt system etc.). Ibland sammanslås kategorierna (2) och (3) (Brousseau, 1997, s. 215). Till en viss utsträckning kunde detta jämföras med instrumentell, intuitiv, relationell och möjligen formell förståelse (Skemp, 1976; Byers & Herscovics, 1977).

Situationer som innefattar handling, formulering och validering

I undervisningen särskiljer man tre kategorier av interaktioner som eleven förutsätts ha med den adidaktiska miljön: handling, formulering och validering. De klassificeras som situationer, som sinsemellan är inneslutna i varandra.

Enligt Brousseau (1997) kommer ”sekvensen av ’handlingssituationer’ att bilda den process i vilken eleven formar strategier, dvs. ’undervisar sig själv’ en metod att lösa sitt problem” (s. 9, egen övers.). I allmänhet upptas en strategi genom att intuitivt eller rationellt förkasta en tidigare strategi. Genom experimentering upptar eleven en ny strategi. Den accepteras eller förkastas som

följd av att eleven utvärderar dess effektivitet; utvärderingen kan vara implicit. Denna följd av interaktioner mellan eleven och miljön kallar Brousseau handlingsdialektik och han vill hellre tala om dialektik än om interaktion

> … because, on the one hand, the student is capable of anticipating the results of her choices and, on the other hand, her strategies are, in a way, propositions confirmed or invalidated by experimentation in a sort of dialogue with the situation.
>
> In the course of this ”dialectic of action”, the child organizes her strategies, and constructs a representation of the situation which serves as a ”model” and guide for her when making her decisions. This ”model” is an example of relationships between certain objects that she has perceived as relevant in the situation (s. 9).
>
> …
>
> We use the term ”implicit model” to describe the set of relationships or rules according to which the student takes her decisions without being able to be conscious of them and a fortiori to formulate them (which does not mean that a rule of action always appears without one's being able to formulate it) (s. 10).

Enligt Brousseau har majoriteten av didaktiska situationer sitt ursprung i ett bestämt handlingsschema, men termen ”handlingsdialektik” reserveras för sådana didaktiska situationer där det inte är nödvändigt för eleven att formulera den modell som används. En del implicita modeller svarar mot bitar av ”know-how” som har undervisats.

En formuleringsdialektik skulle bestå av att fortlöpande etablera ett språk som alla kunde förstå. Genom resonemang och handlingar skulle objekten och de relevanta situationssambanden tas i beaktande på ett adekvat sätt. I varje ögonblick skulle detta konstruerade språk testas om det är begripligt och lätt att konstruera, eller om det är en lämplig längd på de meddelanden som utbyts. Konstruktionen av ett sådant ordinärt eller formaliserat språk gör det möjligt att förklara handlingarna och handlingsmodellerna. Formaliseringsschemat bestäms av hur begriplig kommunikationen är kvalitativt (med avseende på repertoar och syntax) och kvantitativt (med avseende på yttranden, oljud, tvetydigheter, redundans etc.) (Brousseau, 1997, s. 12).

Eleven måste fastställa validiteten av ett påstående. Han konstruerar ett förlopp bestående av bevisning i en valideringsdialektik som leder honom att successivt använda retoriska figurer spontant och sedan förkasta dem. Två eller flera elever kan rikta sig till varandra och framkasta bevis på det som föreslås eller utmana varandra att framställa andra påståenden (Brousseau, 1997, s. 88–89). Eleverna motiveras att diskutera en situation och formulera implicita valideringar. Deras resonerande är emellertid ofta otillräckligt, oriktigt och klumpigt. De upptar falska teorier och accepterar otillräckliga eller falska bevis. Den didaktiska situationen måste leda dem att utveckla sina åsikter, revidera dem och ersätta sina falska teorier med sanna. Detta gradvisa framväxande har likaledes ett

dialektiskt drag; en hypotes måste accepteras tillräckligt – åtminstone provisoriskt – till och med för att visa att den är falsk (Brousseau, 1997, s. 17).

Sammanfattning

Teorin för didaktiska situationer framhåller betydelsen av att eleverna fungerar i nära nog isolerade situationer. Förutsättningarna är att läraren tillräckligt effektivt kan organisera elevernas interaktion med miljön så att den kan åstadkomma de anpassande och reglerande processer som situationerna syftar till. Enligt Artigue och Perrin-Glorian (1991) är lärarens roll härvid

– att organisera elevernas interaktioner med miljön så att denna anpassning sätter i gång förvärvandet av de kunskaper som man syftar till i lärande-processen
– att få eleverna att acceptera ansvar för att i en adidaktiskt fungerande form lösa det uppställda problemet och bibehålla ansvaret genom delegeringsprocessen
– att länka vissa förvärvanden, som satts i gång under lösningsprocessen, till institutionell kunskap genom en institutionaliseringsprocess som kan betraktas som en invers process till delegeringsprocessen (s. 15).

Denna delegering medför emellertid en paradox. Läraren vill helt och hållet överlämna till eleven att komma på svaret, därför att läraren önskar att det är eleven som ska komma på det korrekta svaret. De svårigheter som uppstår i samband med delegeringsprocessen analyseras traditionellt enligt Brousseau i termer av elevens motivation. Lösningarna är till sin karaktär psykologiska, psykoaffektiva eller pedagogiska. Kunskapen och situationen spelar därför en betydelsefull roll. Man måste skapa en modell av villkoren för hur en sådan kunskap uppkommer och fungerar. Målet kan vara ”att komma med en ingenjörskonst eller till och med att förklara eller förutsäga beteendet hos huvud-personerna i den didaktiska relationen” (Brousseau, 1997, s. 230). En av dessa huvudpersoner, läraren, kan inte räkna med att helt och hållet frigöra sig från ansvaret och sitt personliga engagemang. Brousseau (1997) skriver:

> The more the teacher is assured of success by means of effects that are independent of her personal investment, the more she is likely to fail! We call this phenomenon, which shows the necessity of integrating the teacher-student connection in any didactical theory, the *Diénès effect* (s. 37).

Didaktisk forskning har enligt Artigue och Perrin-Glorian (1991, s. 15) visat att det går att konstruera och ta fram effektiva lärandeprocesser. Tidsbegränsningar förorsakar dock att sådana fundamentala lärandeprocesser sällan kan motsvara hela undervisningen i ett givet fält. Föreställningen om ingenjörskonst som praktisk verksamhet (och till och med ingenjörskonst i forskning) kommer ofta att gå igenom situationer i vilka det är omöjligt att garantera ren adidaktisk funktion. I varje fall kan man försöka garantera eleverna ett maximalt ansvar för att komma på lösningen av problem.

2.2 Didaktisk ingenjörskonst som vetenskaplig metod

Forskningsmetoden *didaktisk ingenjörskonst*[4] (fra. *ingénierie didactique*, eng. *didactic(al) engineering*) har introducerats för att klargöra likheten mellan en ingenjörs arbete och ett didaktiskt arbete. För att kunna genomföra ett givet projekt, t.ex. en konstruktionsprocess, måste en ingenjör utnyttja vetenskaplig kunskap, men samtidigt ta hänsyn till en lång rad objekt som är mycket komplexa till sin natur i jämförelse med vetenskapens förfinade objekt. Ingenjören måste hantera sina objekt på ett praktiskt sätt och med alla tillbudsstående medel.

En adekvat översättning till svenskan av den franska termen *ingénierie didactique* och engelskans motsvarighet *didactic (*eller *didactical) engineering* är en delikat uppgift. För att klargöra innebörden av termen måste man utgå ifrån, såsom ovan sagts, att det handlar om en växelverkan mellan arbete och vetenskap i konstruktionsprocessen, men i en didaktisk kontext. Termen *didaktiskt ingenjörsarbete* kan associera till föreställningen om den strävsamma, idoga verksamheten, eller utövandet av själva hantverket på det ”didaktiska verkstadsgolvet”. Å andra sidan kan man också föreställa sig att denna verksamhet, detta didaktiska arbete är av intellektuellt eller vetenskapligt slag som gör att termen kunde förskjutas närmare vetenskap på axeln arbete–vetenskap. Försöker man bilda sig en uppfattning om innebörden av termen *didaktisk ingenjörsvetenskap* kan man lätt få den föreställningen att det handlar om det tunga, systematiska sökandet och ordnandet av kunskap.

Termen *didaktisk konstruktionsvetenskap* (danska: didaktisk konstruktions-videnskab) har använts (Michelsen, 2002) i betydelsen att i vetenskapligt syfte utveckla och beskriva undervisningsförlopp som en didaktisk konstruktör gör ett utkast till, knyter samman och organiserar inom en tidsram. Konstruktören samarbetar med en lärare (*underviser*) i syfte att genomföra ett lärandeprojekt för en bestämd elevgrupp inom ett specifikt ämnesområde. En *konstruktion* är ett begrepp som dels handlar om en process, dels resultatet av en sådan process (Nationalencyklopedin, 1993) eller en tankebyggnad (Bonniers svenska ordbok, 1994) som ofta associeras med teknik och ingenjörsskap, men som här ska ha didaktiska förtecken. Emellertid kan konstruktion också ha en betydelse av ”förklaring med dålig verklighetsgrund” (Bonniers svenska ordbok, 1994), en betydelse som inte är adekvat i detta sammanhang. Didaktisk konstruktions-vetenskap handlar om att konstruera reella undervisnings-sekvenser, en didaktisk verksamhet som baseras på vetenskaplig kunskap och teori men som har en komplexitet som likt ett ingenjörsarbete måste bemästra problem som vetenskapen är ovillig eller ännu inte kan tackla (Artigue, 1994, s. 30; Michelsen, 2002, s. 52). Termen *didaktisk konstruktionsvetenskap* skulle frigöra oss från termen ingenjör, som lätt associeras till tekniska konstruktioner, och

[4] Den svenska översättningen är gjord av prof. Ole Björkqvist, Åbo Akademi, Vasa.

kopplingen till didaktisk vetenskap lyftas fram. Denna översättning av *ingénierie didactique* till (finlands)svenska skulle också förenhetliga begreppet inom den nordiska språkfamiljen.

Emellertid innehåller den aktuella didaktiska verksamheten, att utveckla ett undervisningsobjekt och att ”sätta det under forskningsluppen”, en stor portion av konstfärdighet. Det handlar om att grundligt, ordentligt och med en viss förmåga och skicklighet, till och med med hjälp av knep eller trick, försöka hantera och kombinera det praktiska arbetet och utnyttjandet av vetenskapliga teorier inom ramen för didaktiskt handlande. *Didaktisk ingenjörskonst* är i så fall en term som fångar innebörden i de didaktiska förehavanden som avses. Emellertid kan ordet *konst* associera till den estetiska verksamhet som konstnärer utövar inom t.ex. måleri och skulptur och de produkter som är resultatet. I uppslagsverk (Bonniers svenska ordbok, 1994; Nationalencyklopedin, 1993) upptas dock ordet konst i första hand i betydelsen förmåga, skicklighet, kunnande, färdighet och i andra hand i en betydelse som syftar på estetisk verksamhet. I vidare mening står ordet konst för färdighet av något slag och i snävare mening betecknar det skilda slag av estetisk verksamhet (Nationalencyklopedin, 1993). Termen *didaktisk ingenjörskonst*[5] motsvarar bäst den kombination av didaktiskt ingenjörsarbete och didaktisk ingenjörsvetenskap som är karakteristisk för det aktuella slaget av verksamhet och termen kommer därför att användas i denna studie.

Bakgrunden till didaktisk ingenjörskonst kan sökas i utvecklandet av den franska matematikdidaktiken som utgick från två centrala frågor: 1) organisationen av relationerna mellan forskning och handling i undervisningen och 2) den roll som ska ges didaktiska sekvenser i klassen, eller didaktisk produktion inom ramen för didaktisk forskning. I det första fallet handlar det om ingenjörsarbete i betydelsen "att handla för forskning" (*action for research*), dvs. en uppkommen teoretisk fråga utsätts för testning, i vilken didaktisk ingenjörskonst är det instrument som tillhandahåller de experimentella stegen i testet. Den andra frågan handlar om ingenjörsarbete i betydelsen "att handla för handling" (*action for action*). Krav som ställs på utbildningen måste mötas och leder ingenjörskonsten till direkt handling (Artigue & Perrin-Glorian, 1991, s. 13; Artigue, 1992, s. 41; Artigue, 1994, s. 29–30).

Artigue (1992) sammanfattar den didaktiska ingenjörskonstens dubbelfunktion som dels anknyter till en forskningsmetod baserad på klassrumsexperiment, dels till produkter utvecklade för undervisning och baserade på forskning:

[5] Valet av denna term stöds av följande citat ur Artigue (2000, s. 2): ”Teachers were more likely to see themselves as ’artisans’, artists rather than engineers or users of engineering products.” Termen ”didactical engineering” hade nämligen från början stött på motstånd i undervisningskulturen.

> [T]he concern is to:
> – on the one hand, draw out the relations between research and actions either in terms of innovation or through the intermediary of the concept of research/action in order to affirm the possibility of rational action on the system based on pre-established didactic knowledge;
> – and, on the other hand, to underline the importance of the "didactic sequences" in class as a research practice, both for reasons linked to the youthful state of didactics research and in order to meet permanent needs to put to the test theoretical constructions (s. 43).

Som forskningsmetod betraktad karakteriseras didaktisk ingenjörskonst av ett experimentschema som baseras på didaktiska sekvenser i klass. Med detta avses design, produktion, observation och analys av undervisningssekvenser. Didaktiska situationer operationaliseras med hjälp av didaktisk ingenjörskonst (Artigue, 1994, s. 29). Man talar om ingenjörskonst på mikro- och makronivå beroende på omfånget av de didaktiska sekvenserna. Ett annat karakteristiskt drag för denna metod är att den har sin utgångspunkt i fallstudien, i vilken valideringen är intern. Andra klassiska metoder, som innefattar experiment och klassrumsobservation, har ett komparativt tillvägagångssätt med en extern validering, som baseras på en statistisk jämförelse mellan experimentgrupp och kontrollgrupp. Didaktisk ingenjörskonst kräver en a priori-kontroll av experimentsituationerna. Teorin för didaktiska situationer baseras på principen att betydelsen av en elevs beteende endast kan förstås om det är nära relaterat till den situation där beteendet observerats. Situationen och dess kognitiva potential måste karakteriseras innan man jämför denna a priori-analys med observerad verklighet (Artigue, 1992, s. 44; Artigue, 1994, s. 35).

Den didaktiska ingenjörskonstens syften kan variera från forskning som studerar processer för lärande av ett givet begrepp till forskning som går över innehåll. Forskningen inom ramen för didaktisk ingenjörskonst stöder dock undervisning inom ett specifikt område.

Teorin för didaktiska situationer och forskningsmetoden didaktisk ingenjörskonst utvecklades ursprungligen för matematik, men har också tillämpats vid design av undervisningssekvenser i fysik och kemi (se t.ex. Tiberghien, 1996, 2000; Malafosse, Lerouge & Dusseau, 2001; Buty, Tiberghien & Le Maréchal, 2004; Méheut, 2004a, 2004b; Missonnier & Closset, 2005). Forskningsbaserade undervisningsdesigner, eller didaktiska ingenjörsprodukter, som har implementerats i experimentella miljöer och successivt förfinats, har visat sig vara effektiva (Artigue, 2002, s. 209).

Forskningsmetoden didaktisk ingenjörskonst har i likhet med annan designbaserad forskning en iterativ karaktär. Denna avhandling är en fas i en iterativ process som har börjat med utvecklandet av de tidigare nämnda prototyperna av de datorbaserade PDR-verktygen. Då verktygen ska introduceras i fysikundervisningen innebär det ett ingrepp i de traditionella undervisningsrutinerna. Detta

kräver av läraren både engagemang och expertkunskap samt betydande förändringar i praktiska lösningar (Artigue, 2002, s. 218). Ett av syftena med avhandlingen är att med hjälp av forskning få ett teoretiskt stöd i processen att designa undervisningssekvenser. Enligt Artigue (2002) bidrar forskning inte med ett generellt sätt att lätt förbättra lärande- och undervisningsprocesser. Komplexiteten i sammanhang där lärande och undervisning sker gör att man måste arbeta med förenklade modeller. Den kunskap man får från forskningen blir ofullständig, men man kan dock lära sig mycket av den. En viss försiktighet i förväntningarna på generalisering är därför nödvändig.

Forskningsmetoden karakteriseras av ett antal faser, som här beskrivs i korthet i enlighet med Artigue (1992; 1994) och Artigue & Perrin-Glorian (1991). Forskningsprocessens steg illustreras i figur 3.

Preliminära analyser

Den didaktiska forskningen handlar om att reformera ett undervisningselement. Man vill ta i betraktande den del av ett didaktiskt system som förefaller vara otillfredsställande av olika orsaker. Undervisningen som ska uppdateras befinner sig vanligen i ett jämviktstillstånd där den har en viss stabilitet. Orsaken till denna stabilitet kan sökas i begränsningar som införts. En analys av sådana begränsningar kan ingå i denna fas. Denna analys kan särskilja en epistemologisk, kognitiv och didaktisk dimension. Genom att modifiera några av dessa begränsningar kan undervisningssystemet stabiliseras i ett nytt jämviktstillstånd som är mer tillfredsställande. I fasen preliminära analyser finns det ett antal olika områden som kan analyseras. Sådana är t.ex. undervisningsinnehåll och traditionell undervisning med dess effekter. Det kan gälla elevers uppfattningar och svårigheter samt de fel och hinder som bidrar till att de utvecklas. Efter dessa analyser avslutas fasen med en specificering av forskningens syfte.

Design och a priori-analys

Forskaren beslutar sig för att handla utgående från ett antal systemvariabler, som anses relevanta i förhållande till det problem som studeras. Man skiljer på *makrodidaktiska* eller *globala variabler* och *mikrodidaktiska* eller *lokala variabler*. De globala variablerna behandlar den globala organisationen av det didaktiska ingenjörsarbetet och föregår de lokala variablerna, som handlar om hur man lokalt organiserar undervisningssessioner eller faser. Variablerna kan vara av allmän art eller bero av det didaktiska innehållet. På mikrodidaktisk nivå skiljer man på problemvariabler och situationsvariabler som är länkade till organisationen och hanteringen av miljön.

Teorin om didaktiska situationer handlar om relationen mellan betydelsen av konstruerad kunskap och didaktiska situationer. I a priori-analysen av en didak-

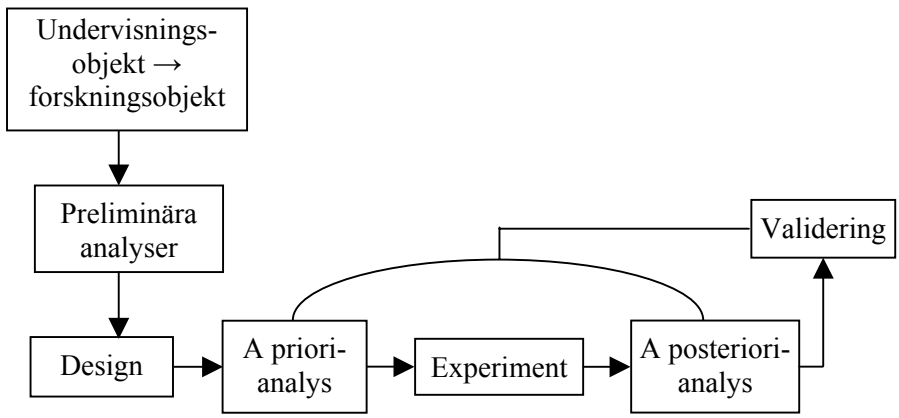
tisk situation är syftet att, a priori, analysera på vilket sätt de globala och lokala valen medger en inre kontroll av eleven och hans beteende eller känslor. A priori-analysen består av en deskriptiv och en prediktiv del och koncentreras på karakteristika i den adidaktiska situationen som man vill upprätta och som man vill delegera till eleverna. För det första beskrivs valen på lokal nivå, länkade till de globala valen och den adidaktiska situationens karakteristika. Sedan klargörs det som står på spel för eleven, typer av beteende som kan uppstå och betydelsen som kunde ges dessa beteenden. Analysen görs som funktion av möjligheterna till handling, val, beslut och kontroll i situationer som är nära nog oberoende av läraren. Slutligen försöker man i den prediktiva delen förutsäga en rad möjliga beteenden och visa att de förväntade beteendena verkligen är resultat av den kunskap situationen syftar till att utveckla.

Experiment

Analysen som inkluderar hypoteserna testas genom experiment. Experimentet organiseras kring frågeställningarna i a priori-analysen av de didaktiska situationerna. Vid experimenteringen samlas data genom observationer under lektioner eller genom elevarbeten i klass eller utanför klass. Eleverna kan besvara enkäter och forskaren kan genomföra intervjuer individuellt eller i små grupper under eller efter olika undervisningsmoment.

A posteriori-analys och validering

A posteriori-analysen baseras på alla data som inhämtats vid experimenterandet. Valideringsprocessen är en följd av designfasen och går via a priori-analysen av de didaktiska situationerna. Valideringen är i huvudsak en inre validering av hypoteserna och baseras på en konfrontation mellan a priori- och a posteriori-analysen.



Figur 3. Forskningsprocessens steg i metoden didaktisk ingenjörskonst.

3 Preliminära analyser

Detta kapitel inleder den första av den didaktiska ingenjörskonstens faser, *de preliminära analyserna*. Syftet med dessa analyser är att studera de faktorer som ligger till grund för att starta det forskningsobjekt som studien omfattar. Först görs en allmän granskning av en gymnasieundervisning som kunde kallas traditionell, sedan sätts fokus på läroplanen och undervisningsmetoderna i fysik. Vidare inkluderar de preliminära analyserna begrepp, begreppsbildning och representationer inom fysiken, varefter växelströmsläran sätts i blickfånget. Efter en konklusion, som föreslår datorbaserad undervisning för att stöda elevernas lärande, skärskådas kategorier av datorbaserade verktyg. Datorers betydelse i undervisning och lärande granskas kort innan kapitlet avslutas med att ta upp faktorer som är involverade i en effektiv lärandeprocess.

3.1 Traditionell undervisning

Eftersom studien är förankrad i den finlandssvenska gymnasieundervisningen, som följer 1994 års läroplan, skisserar jag i detta avsnitt upp de karakteristiska dragen i läroplanen och undervisningsmetoderna och hur den traditionella klassrumsundervisningen ter sig, väl medveten om att detta endast ger en ytlig bild. Det finns variationer och avvikelser i undervisningens uppläggning i de finlandssvenska gymnasierna, det kan finnas andra perspektiv och andra komponenter som för andra kunde vara viktiga att lyfta fram. Syftet är närmast att beskriva huvuddragen i det som jag kallar traditionell undervisning.

3.1.1 Traditionell klassrumsundervisning

Mathewson (1999, s. 44) ifrågasätter vår utbildnings möjligheter att utveckla koherent tänkande hos eleven (Mathewson syftar närmast på amerikansk utbildning). Fragmentering är ett iögonenfallande problem i utbildning på alla nivåer. Kurser, lektioner, aktiviteter och enheter är lappade ihop med minimal planering eller koordinering. Kritiken är delvis berättigad också i det finländska gymnasiet. De korta lektionerna, i praktiken mindre än 45 minuter, ger eleverna liten möjlighet till långsiktigt arbete, fokusering på tänkande i flera steg och reflektion. Pauserna är korta och eleven ska snabbt växla om till ett nytt ämne. Under rådande förutsättningar, med många olika ämnen under samma skoldag, fragmenteras elevernas lärandeprocess. Däremot kan man knappast säga att planeringen sköts illa.

Strukturen i gymnasiets utbildning gör denna fragmentering oundviklig. Faktorer som styr schemaläggningen är bland annat elevernas ämnesval, gruppantal, gruppstorlekar, lärare som är gemensamma med annan skola och skolskjutsar.

Traditionellt domineras och kontrolleras lärandet i skolan fortfarande av läraren. Eleverna fattar sällan beslut om sitt eget lärande. Utbildningspraxis i skolorna har en tendens att fostra till beroende passivitet. Eleverna får lätt en attityd att läraren ska säga vad och hur de ska göra. Lärare presenterar den kunskap de vill undervisa så att de fokuserar på själva svaren på frågorna – frågorna finns med endast för att introducera svaren och rättfärdiga dem. Ändamålet med en undervisningssekvens borde vara att slussa över frågorna från lärarens domän till elevens och att undervisa frågor lika väl som svar och kunskap tillsammans med innebörd (Brousseau, 1997, s. 231).

Många lärare känner frustration i försöken att motivera elever som är svåra att nå. Det beror på tidspressen som lärarna känner, det stora antalet elever som undervisas och elever som har emotionella behov. Bidragande faktorer är också det tunga ansvarskravet från administration och föräldrar samt andra stressproducerande situationer, som existerar i våra skolor. Lärarna behöver förstå vilken karaktär motivationen att lära sig har och hur den kan utvecklas och förstärkas i eleven. Vetskapen om detta hjälper lärarna att inse att allt de gör i klassen har en motiverande påverkan på eleverna – antingen positiv eller negativ. Detta innefattar det sätt på vilket informationen presenteras, de slag av aktiviteter som lärarna använder, de sätt på vilka lärarna samverkar med eleverna, den mängd val och kontroll som ges eleverna och de tillfällen eleverna har att arbeta ensamma eller i grupp (McCombs, 1997, s. 1–2).

En fallstudie (Fraser & Tobin, 1991) i syfte att klarlägga de problem lärare mötte, då de försökte skapa en miljö som skulle befrämja lärande på en hög kognitiv nivå, sammanfattade lärarens roll i fem påståenden. Fallstudien tas upp här därför att undervisningskontexten i våra gymnasier uppvisar stora likheter.

> Lärare gjorde sig en föreställning om sina roller i termer av metaforer som påverkade det sätt på vilket de undervisade.

Metaforen om läraren som underhållare innebar att läraren var humoristisk, interaktiv och öppen för stökigt elevbeteende i klassen. Som kapten på skutan var läraren affärsmässig, betonade aktiviteter för hela klassen för att kunna hantera en lärarcentrerad lärandemiljö och tog bestämt itu med olämpligt elevbeteende. Genom att vara tillgänglig och bistå eleverna i deras arbete fungerade läraren som en resursperson.

> Lärarens uppfattningar hade en betydande inverkan på det sätt lärokursen genomfördes.

Läraren betraktade lärande som meningsfullt, när det relaterades till personliga livserfarenheter. Behovet att själv interagera med eleverna och få till stånd interaktion mellan eleverna ansågs vara ett betydelsefullt inslag i undervisningen, men helklassundervisning hade också en viktig funktion för att följa upp elevernas förståelse. Emellertid betraktades läroboken som en begränsande

faktor och reducerade tiden för interaktion med eleverna. En annan uppfattning var att eleverna lärde sig bäst när de gjorde saker själva i sin egen takt, också då de samarbetade och hjälpte varandra. Genom att eleverna sporrades att göra sitt arbete effektivt kunde de i smågrupper försäkra sig om att de förstått innehållet. Lärardemonstrationer och laboratorieaktiviteter gav eleverna direkta erfarenheter i naturvetenskap och utvecklade förståelsen.

> Begränsningar i lärarens kunskap resulterade i ett lärande där fakta betonades och där eleverna slutförde uppgifter i arbetsboken snarare än fokuserade på förståelse.

Lärarens sätt att undervisa avspeglade hans ämneskunskaper. I ett ämne där läraren kände sig trygg jobbade han på ett säkert sätt och var inte beroende av läromedlet som kunskapskälla. I det motsatta fallet fokuserades lärarens undervisning på kunskaper på en lägre nivå och läraren gjorde sig skyldig till en rad faktafel. Läromedlet var en viktig kunskapsbas och läraren var tvungen att undvika att förklara en del centrala begrepp. Eleverna fick mer tid för individuella aktiviteter.

> Den elevupplevda lärandemiljön i klasserna hade ett samband med lärarnas kunskaper och uppfattningar.

I klasser, där läraren fungerade som en resursperson med goda kunskaper i sitt ämne, gjordes undervisningen personlig. En viss oordning och svag organisation förekom dock. Lärandemiljön karakteriserades av smågruppsaktiviteter och interaktion mellan läraren och eleverna. Eleverna fick individuell hjälp. Sarkastiska och kritiska uttalanden var sällsynta. För att underlätta samarbete mellan eleverna gjordes ommöbleringar i klassen. Detta åstadkom en viss oordning och försvårade lärarens möjligheter till allmän information eller presentation för hela klassen. Tre karakteristiska elevgrupper uppstod: krävande och intresserade elever (i allmänhet flickor) som tog lärarens tid i anspråk; oroliga och störande elever (i allmänhet pojkar) som läraren måste kontrollera; resten av eleverna som i stort sett skötte sig själva men som ofta ägnade sig åt sociala aktiviteter utanför den aktuella uppgiften.

En mer auktoritär lärare hade en opersonligare undervisning men upprätthöll ordning och reda i klassen. Vid undervisningen riktade sig läraren till hela klassen och smågruppsaktiviteter förekom i mindre omfattning. Det var lättare att hålla kontroll över störande beteende genom en möblering med eleverna vända mot läraren. Eleverna var dock förbryllade över lärarens olika sätt att behandla dem. Vid helklassundervisning var läraren mer auktoritär och opersonlig, men vid individuell undervisning vänlig och underhållande. Dessutom var en manlig lärares attityd mer manligt chauvinistisk gentemot flickor och macholiknande gentemot pojkar.

> Lärarens förväntningar på och attityder till enskilda elever avspeglades i hur individuella elever uppfattade lärandemiljön.

Eleverna upplevde lärandemiljön på ett sätt som motsvarade lärarens olika sätt att behandla dem inom samma klass. Om läraren exempelvis hade en negativ attityd till en elev uppfattade denna att lärandemiljön var mer negativ och tvärtom.

Ovanstående studie utgick ursprungligen från att de huvudsakliga problemen härrörde från en alltför stor andel aktiviteter i helklass. Studien visade dock att en bättre balans mellan smågruppsundervisning och individualiserad undervisning inte garanterade någon framgång. Både ämnesspecifik pedagogisk kunskap och allmän pedagogisk kunskap var väsentliga ingredienser för att framgångsrikt underlätta elevernas lärande. Läraren måste behärska både elevbeteende och rollerna att initiera och uppehålla de kognitiva processer som var associerade till lärande.

En annan fallstudie av Fraser och Tobin (1991) gav exempel på att det i en klass fanns en viss målgrupp av elever, som hade en särställning.

> Vid undervisning i helklassmiljö dominerade en liten målgrupp av elever den verbala interaktionen.

Tre till sju elever utgjorde den grupp som var involverad i interaktionen. Dessa, vanligtvis högpresterande elever, gav ett slags garanti för läraren att få undervisningen att avancera, eftersom de kunde bidra med så korrekt elevrespons som behövdes för att underlätta lärande och utförlig behandling av innehållet. En annan kategori elever, som delvis också tillhörde de högpresterande, var sådana som genom handuppräckning tydligt visade sin vilja att besvara lärarens frågor, att fråga själva och att kommentera andra elevers svar. Denna orättvisa fördelning av elevaktivitet förstärktes av att majoriteten av de interagerande eleverna var pojkar. Fenomenet förekom oberoende av lärarens kön.

> Lärare tenderade att rikta kognitiva frågor på hög nivå till måleleverna.

Enklare kognitiva frågor fördelades slumpmässigt bland eleverna, medan de mer krävande frågorna i allmänhet riktades till de målelever som förväntades avge korrekta svar eller komplettera tidigare svar. Läraren gav ofta positivare feedback till måleleverna och gav dem större möjligheter till att utveckla sina svar i jämförelse med övriga elever. Olikheterna i målelevernas och de övriga elevernas engagemang i undervisningssituationen kunde efter många års skolgång resultera i skillnader i resonemangsförmåga, prestation, motivation och självkänsla.

> Måleleverna hade gynnsammare uppfattning om lärandemiljön än de icke-deltagande eleverna.

Måleleverna var mer engagerade då de undervisades i helklass och arbetade ihärdigare och självständigare i smågrupper och individuellt. Den andra kategorin elever var passivare, eleverna engagerade sig endast emellanåt och var okoncentrerade på sin uppgift. Klarheten i reglerna uppfattades också på olika sätt av de två elevkategorierna. Reglerna tillämpades också olika på de två elevkategorierna. Exempelvis kunde måleleverna utan reprimand ropa ut svar på lärarfrågor, något som inte var fallet med de övriga eleverna. En del av eleverna fick röra sig fritt och samtala med kamrater, medan andra tillrättavisades för samma beteende. Skillnaderna i tillämpning av regler avspeglade lärarens förväntningar på olika elever i klassen och detta uppfattades av eleverna som skillnader i lärandemiljö.

Studien tar fram betydelsen av att läraren är medveten om målelevsfenomenet och följderna av att eleverna ser orättvisa i hur läraren behandlar dem. Enligt Fraser och Tobin kunde tiden för helklassundervisning minskas och satsning göras på arbeten i mindre grupper med möjligheter till diskussion. Individuella aktiviteter som befrämjar ett högre kognitivt engagemang kunde ersätta motsvarande aktiviteter riktade till en begränsad målgrupp i helklass.

3.1.2 Läroplan och undervisningsmetoder i fysik

De allmänna målen i Grunderna för gymnasiets läroplan 1994 föreskriver bland annat att man i fysikundervisningen ska närma sig naturlagarna genom mätningar och observationer eller experiment. Grafisk framställning i samband därmed är betydelsefull. Läroplanen lyfter fram den algebraiska tolkningen för att eleven mer exakt ska kunna uttrycka storheter. Genom beräkningar lär sig eleverna beskriva grundlagarna och göra förutsägelser. Delmålen fokuserar också på de nämnda processerna för att nå fysikalisk kunskap, men det poängteras ytterligare att de fysikaliska begreppen och principerna bidrar till att eleverna lär sig organisera sin uppfattning om naturens strukturer och fenomen.

Syftet med de fördjupade studierna i fysik är bland annat att eleverna

- tillägnar sig viktiga och användbara fysikaliska grundbegrepp och termer samt av dessa kan gestalta helheter och allmänna principer såsom konservationslagarna och principen om växelverkan
- lär sig förstå på vilket sätt fysikens begrepp, lagar och teorier bygger på en växelverkan mellan empirisk och teoretisk forskning
- förstår den fysikaliska kunskapens räckvidd och hur fysikalisk kunskap tillämpas inom tekniken

I Läroplan för Närpes gymnasium 1994 nämns ytterligare att undervisningen ska sträva mot ett mål som innebär a) kännedom om fysiken som helhet på den kvalitativa kunskapens nivå och b) kunskap i fysiken som helhet med tonvikt på matematisk färdighet i fysikens grundproblem. Enligt läroplanen ska den

allmänna fysiken i gymnasiet fokusera på det första målet, medan den fördjupade fysikens mål ska omfatta båda.

Det finns en traditionell modell av lärandeprocessen, som fortfarande formar en stor del av undervisningen i fysik. Renner (1982) beskriver denna för naturvetenskaper gällande modellen som en sekvens i tre faser: formell presentation av föreskriven information genom lärarframställning och läsning, verifiering av informationen genom slutet praktiskt arbete och skriftlig övning av det material som presenterats i de två första faserna. Bacon (1993, s. 99) tar också upp en modell (som visserligen hänför sig till universitetsutbildning men som kunde vara tillämpbar också i gymnasieutbildning); modellen presenterar fyra viktiga aktiviteter av lärande som associeras till utvecklingen av begrepp. Först presenteras materialet för eleverna i traditionella föreläsningar, också med användande av olika slag av medier. Begreppet diskuteras och tillämpas i handledda sessioner och i klass där problem löses. I praktiska laboratoriesessioner utvecklas nödvändiga färdigheter. Begreppet befästs slutligen genom självorganiserade studier.

En undervisningsmodell, som är relativt traditionell inom gymnasiets fysikundervisning, kan indelas i fem faser. Den påminner om de modeller som beskrivits av Bacon (1993) och Renner (1982). I det följande presenteras de faser som ingår i modellen.

Introduktionsfasen består i att ett nytt begrepp eller fenomen i fysiken introduceras, vanligen som en lärarledd aktivitet. Genom lärarens förklaringar kommer den huvudsakliga riktningen på informationsflödet att vara från läraren till eleven. I bästa fall kan det uppstå en dubbelriktad kommunikation mellan läraren och eleverna, men ofta kommer denna dialog att begränsa sig till läraren och ett litet antal elever. De övriga eleverna lyssnar passivt och gör anteckningar. I en del fall kan läraren sätta in en demonstration eller en laboration i introduktionssituationen. Läraren har den dominerande rollen. För många elever är lärande detsamma som överföring av vedertagen kunskap, som lagras i minnet. Denna passiva syn på lärandeprocessen, att naturvetenskap i första hand lärs in som en ackumulering av fakta, påverkar elevens syn på vad som anses vara legitimt arbete i skolan. Diskussioner om alternativa synpunkter och konsensus som man förhandlar sig fram till anses inte som klassrumsarbete utan betraktas närmast som bortkastad tid (Treagust, Duit & Fraser, 1996, s. 3). Många elever har egentligen inte så mycket emot denna undervisningsform, det är bekvämare att vara en passiv mottagare än en aktiv producent av kunskap. Det finns fog för denna inställning. Newton (1996, s. 215) hänvisar till Entwistles (1988) beskrivningar av ängsliga elever som lär sig bättre i lärarcentrerad undervisning än i kontexter, där lärandet kommer an på dem själva. Enligt Gill (1999) kan en alltför lärarcentrerad undervisning emellertid få till följd att många elever inte tänker på lärandeprocessen eller ser lärandet som en aktiv uppgift: Det är alltså på en metakognitiv nivå som det föreligger oförenligheter. Eleverna måste bli

medvetna om att lärande är en aktiv handling – lärande ”inträffar inte genom osmos på en lektionsteater” (Gill, 1999, s. 85, egen övers.).

Följande fas är *räkneövningsfasen*. En relativt stor andel av fysikundervisningen går ut på att beräkna ett storhetsvärde utgående från givna storhetsvärden och fysikaliska formler. I de enklaste fallen går lösandet av en räkneuppgift till så, att eleverna antecknar givna storhetsvärden inklusive enheter, söker en lämplig ekvation med hjälp av läroboken eller en formelsamling, manipulerar ekvationen mekaniskt för att lösa ut den efterfrågade storheten och gör de avslutande numeriska beräkningarna. Övningsuppgifterna kan ibland förutsätta att eleverna ska åstadkomma enhetsförvandlingar för att den slutliga storheten ska få korrekt enhet. Ett mekaniskt tillvägagångssätt innebär inte sällan att eleven väljer en sådan ekvation, som exakt innehåller de givna storheterna inklusive den obekanta. Ekvationen löses sedan med avseende på den obekanta storheten (Perkins & Simmons, 1988, s. 303). I allmänhet kan eleverna lösa kvantitativa formeluppgifter på ett adekvat sätt (Heuer, 1996, s. 2), därför att om de har tillgång till en ekvation så gör de en rutinmässig insättning för att bestämma ett efterfrågat resultat (McDermott, 1991, s. 312). Lösningarna kan emellertid också lätt bli osannolika eller meningslösa (Perkins & Simmons, 1988, s. 303). Enligt Haapasalo (1996) utvecklar många elever olika konster att snabbt och lätt klara av uppgifter. Tillit till utomstående auktoriteter går före egen intuition och utvärderingsförmåga. Oförmåga till lärande samt negativa attityder och föreställningar förorsakas av att läraren förklarar saker och erbjuder färdiga modeller.

Lybeck (1981) redogör i sin ämnespedagogiska forskning för elevers uppfattningar av ämnesinnehållet vid lärandet och undervisningen. Genom ett problemorienterat arbetssätt, som bedrevs i en försöksklass, försökte man ”dämpa den ’chockerande upplevelse’ som omvittnats att många elever mött på N-linjen genom den abstrakta föreställningsvärlden kännetecknad av formler” (s. 225). Han anser att det ”finns elever som föreställer sig att fysik är sökandet av formler som finns i sig. Fysik är helt enkelt en samling av formler, som existerar oberoende av människorna.” Det är viktigt att den skapande människan förs in i bilden. Undervisningen och lärandet ”kan betraktas som händelser, där olika uppfattningar om ämnesinnehållet skapar motsägelser som kommer till uttryck i kognitiva konflikter hos eleverna genom deras egna iakttagelser eller uppfattningar förmedlade av andra elever och läraren” (s. 231).

I *demonstrationsfasen* är det läraren som är den aktiva parten och förevisar ett fysikaliskt fenomen med hjälp av fysikutrustning, medan eleverna är passiva åskådare. Fysikutrustningen i gymnasiet är i allmänhet begränsad i den meningen att det endast finns en uppsättning för ett givet ändamål och frestar därför läraren att själv använda den i demonstrationssyfte. Heuer (1996) anser att demonstration av kvalitativa samband inte har samma status som kvantitativa. Flera undersökningar har visat på brister i den traditionella undervisningen, där

eleverna inte har kunnat överblicka samband och strukturer till och med i enkla fysikaliska förlopp. Svårigheterna med att tillägna sig mentala representationer kan elimineras genom att aktivt och intensivt vara med om att framställa, förklara och tolka reella processer.

Praktiskt arbete som utförs av eleverna och som har planerats och förberetts av läraren beskrivs med termen *laboration*. Laborationerna följer inte sällan en kokboksprincip, där varje steg är noggrant beskrivet (se Tobin, Espinet, Byrd & Adams, 1988, s. 443). I det fall laborationen har en mer öppen karaktär blir laborationsarbetet osystematiskt och har svaga effekter på lärandet. Den ovan omnämnda bristen på fysikutrustning, som också beror på det höga pris utrustningen betingar, tvingar läraren att arrangera laborationerna som stationslaborationer. Denna laborationsform innebär att en elevgrupp arbetar vid varje station och successivt byter station tills alla stationer har passerats. Nackdelen med stationslaborationer är att laborationsarbetet kommer in relativt sent i kursen, ofta rentav i slutet av kursen. En ansenlig stoffmängd måste gås igenom för att eleverna ska få den förkunskap som behövs för att kunna laborera. En alltför tidigt insatt stationslaboration får igen den konsekvensen att eleverna ännu inte känner de begrepp och samband som ska undersökas i laborationen. Slutsatsen är att stationslaborationer ofta saknar den verkliga kontakten med det aktuella begreppsområde som för tillfället undervisas.

I den sista fasen handlar det om att lösa *hemuppgifter*. En viktig del av elevens lärande sker utanför skolan i form av arbete med hemuppgifter. I det vanligaste fallet består det av inläsning och repetition av teoriavsnitt och av övningar i form av räkneuppgifter. Eleven kan i vissa fall, som modell för lösningen, utnyttja ett antal färdigt lösta typexempel utgående från läroboken eller från lösta räkneuppgifter i klass.

3.2 Begreppsbildning och representationer i fysik

Avsnittet granskar begreppsbildningen i fysik och representationsformer som är viktiga i fysikundervisningen. Avhandlingens tema koncentreras kring växelströmsläran inom ramen för fysikkursen Elektromagnetism i gymnasiet. Slutet av avsnittet fokuseras därför på de finlandssvenska läroböckernas behandling av växelströmsläran, den seriekopplade växelströmskretsens centrala begrepp och representationer och utmynnar i en framställning av en utvecklingsriktning som inkluderar datorbaserade verktyg.

3.2.1 Begrepp och begreppsbildning

Omfattande forskning (se Halloun, 1998, s. 240) har visat att elever som avlagt fysikkurser (motsvarande gymnasienivå) fortfarande har problem med att a) inse hur begrepp och principer i fysik står i relation till den reella världen, b) göra

åtskillnad mellan olika begrepp, c) påvisa sambandet mellan enskilda begrepp, d) utveckla lämpliga tillvägagångssätt för att tillämpa ett begrepp eller en princip i reella situationer och e) uttrycka sig korrekt när de försöker engagera sig i vetenskapliga samtal. Mycket av detta kan läggas undervisningen till last. Fysikkurser behandlas ofta som ”överförbara nyttigheter” som eleverna sedan enkelt kan ta till sig. Begrepp och principer presenteras ofta alldeles för kortfattat, utan att nödvändigtvis visa hur de står i relation till varandra i en koherent struktur och hur de kan användas systematiskt för att beskriva, förklara, förutse, kontrollera och bygga upp system och fenomen i den reella världen.

Begreppen hör till den fysikaliska teorins grundelement. Med ordet *begrepp* avses å ena sidan klassificering, dvs. att man kan känna igen medlemmar av en klass och identifiera ett givet objekt korrekt. Å andra sidan syftar *begrepp* på all den kunskap som en person har om begreppets benämning, eller så kan det syfta på mängden av kunskap en person har om den givna termen. Begreppet förändras så fort en människa får ny kunskap om det i form av fakta, bild, händelse eller färdighet (White & Gunstone, 1989, s. 577–578; White, 1994, s. 117). Enligt Kurki-Suonio och Kurki-Suonio (1994, s. 141, 170–171) kan begreppen beteckna föreställningar, som man med kvalitativa kriterier har preciserat till termer. Dessa klassificerar entiteter (fi. *olioita*), fenomen och deras egenskaper. Begreppen kan också vara kvantitativa storheter, samband mellan storheter, dvs. lagar, eller de kan vara strukturer som bildas av sammanhörande grundlagar, dvs. egentliga teorier.

En gestalt avser ett mönster eller en konfiguration. Det är en sammanhängande gruppering, ett perspektiv ur vilket ett helt ”fält” kan ses. Huvudprinciperna i gestaltbegreppet är att människan upplever helheter eller mönster snarare än bitar eller delar och att helheten förefaller vara annorlunda eller större än summan av dess individuella delar (Ashcraft, 1998, s. 385). Gestaltbegreppet kan tillämpas på elevernas fysikaliska begreppsbildning. Enligt Kurki-Suonio och Kurki-Suonio (1994, s. 143) kan varje ”fysikaliskt begrepp betraktas som en gestalt, en process i vilken empiri och teori förenas till *en* betydelse som fortlöpande utvecklas”. Det är fråga om en riktad process, som börjar med iakttagelser och avancerar mot en teori och smälter samman empiri och teori till en helhet. Gestaltningen är varje elevs egen process, som utvecklas genom elevens egna iakttagelser och processer i växelverkan och hans eget ”byggnadsmaterial och arbetsredskap”. Elevens lärande är en gestaltningsprocess som avancerar från fenomen och iakttagelser mot teorier och förklaringar (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio, 1994, s. 267).

I denna gestaltningsprocess börjar all fysikalisk begreppsbildning från grundgestaltningen, i vilken man bygger gestalthelheter genom att identifiera och klassificera fenomenområdets grundgestalter och analysera deras inbördes samband. Till grundgestalterna hör de ovan nämnda objekten eller entiteterna, fenomenen (naturens skeenden) och deras egenskaper. Entiteter kan vara

kroppar, partiklar, vågor, olika system eller anordningar inklusive deras delar. Identifieringen av en entitet grundar sig på dess egenskaper. Entiteterna kan exempelvis röra sig, fungera, påverka, förändras. Också modeller för entiteter är entiteter (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio, 1994, s. 160, 171). En entitet som är aktuell i denna studie är den elektriska växelströmskretsen som kan bestå av andra entiteter: spänningskälla, resistor, spole, kondensator och ledningar. Ett uppritat kopplingsschema med de nämnda komponenterna i symbolform utgör modell för den verkliga kretsen.

Ett fenomen innebär att en entitets egenskaper, iakttagbara drag eller kvaliteter undergår förändring. Det är ett skeende som kan innebära allt det som en entitet gör eller hur den beter sig, exempelvis hur den rör sig, fungerar och förändras. För att identifiera entiteterna fastslår man de systemegenskaper som bevaras och de som förändras och förändringens natur, samt sådana systemegenskaper och omständigheter eller miljöegenskaper som förorsakar denna förändring eller inverkar på dess natur. På denna kvalitativa nivå avses med empiri att man iakttar, kontrollerar och gör kvalitativa försök. Att identifiera ett fenomen förutsätter att man, genom att modifiera systemet och miljön, analyserar iakttagelserna och definierar fenomenets kvalitativa särdrag. Detta möjliggör ett försök till identifiering, på vars grund man kan konstatera om något fenomen hör till en definierad klass av fenomen. Teorierna och modellerna på denna nivå är att man begriper dessa gestalter och skapar en terminologi för dem. Sedan analyserar man dem och det språk som används om dem samt de föreställningar, som ansluter sig till dem. Föreställningarna skapar förväntningar, kvalitativa förutsägelser om fenomenens natur och de korrigeras om iakttagelserna inte svarar mot dessa förväntningar.

En förkvantifiering på den kvalitativa nivån lägger grunden för en bro över till den kvantitativa gestaltningens nivå. Gestalterna har egenskaper som förändras, påverkas och uppvisar samband. För att få möjlighet att jämföra gestalterna måste man inkludera föreställningar om graden eller styrkan av dessa förändringar, påverkningar och samband. Till fenomenen kan då kopplas föreställningar om egenskaper med riktning, styrka och hastighet. Dessa egenskaper och fenomen har sina kvantitativa motsvarigheter i storheter respektive lagar. Empirin på denna nivå innebär mätning för att bestämma storhetsvärden och kontrollerade försök för att bestämma samband mellan storheterna. Teori innebär att man bildar en matematisk framställning av lagar och kopplar dessa till föreställningar på den kvalitativa nivån. Denna framställning, som utgör en matematisk modell av fenomenet, kan göras numeriskt, grafiskt och algebraiskt (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio, 1994, s. 163–164).

En logisk strukturering leder från den kvantitativa representationen av lagar till teorier, som är nivån för kvantitativ förståelse och förklaring av fenomen. Gestalterna på denna nivå består av logiskt strukturerade helheter av lagar (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio, 1994, s. 166). I varje skede av elevens studier

borde användningen av ett begrepp stå i samklang med den betydelse som begreppet dittills har haft (s. 176). Den didaktiska konstruktivismen understryker att lärandet ska bygga på elevens egna kunskaper, erfarenheter och föreställningar. Gestaltningen, som bygger på detta, är varje individs egen process. En lärare kan vägleda en elev att upptäcka gestalter, men ingen kan gestalta för en annan (s. 267).

Ett allmängiltigt grundschema för att analysera ämnesområden i fysik och för att planera undervisning bygger på ovanstående strukturering och representerar den fysikaliska begreppsbildningens successiva skeden (s. 287). Grundelementen i lärandet av varje ämnesområde som behandlas i fysiken innehåller sju steg: fenomen, storheter, lagar, teorier, tillämpningar, preciseringar och generaliseringar och slutligen ”jättens axlar”. Det sistnämnda elementet fäster uppmärksamheten på den kunskapsstruktur som ligger till grund för att kunna observera och identifiera ett fenomen. De fyra första elementen representerar abstraktionsnivåer av hierarkiskt olika rang. De förankrar undervisningens möjliga operationella ambitionsnivåer, som det är meningsfullt att sträva mot.

3.2.2 Grafiska och numeriska, statiska och dynamiska representationer

Representationer och representationssystem

En representation är ett slags gestaltning (*configuration*), som i sin helhet eller delvis motsvarar, symboliserar, interagerar med eller på annat sätt representerar någonting annat. Representationer förekommer inte isolerat utan tillhör vanligen starkt strukturerade system, representationssystem (Goldin & Kaput, 1996; Goldin, 1987) även kallade symbolscheman (Kaput, 1987). Representation svarar enligt Goldin mot ”*a relationship of symbolization between two representational systems*” (1998, s. 143). I litteraturen förekommer varierande definitioner på begreppet representation. Enligt Janvier (1987b, s. 68) kan en representation anses bestå av en kombination av tre komponenter: skrivna symboler, reella objekt och mentala bilder. Emellertid behöver en representation inte innehålla ett reellt objekt. Representation har enligt Michel Denis och Danièle Dubois (refererad i Janvier, 1987a, s. 148–149) tre vedertagna betydelser:

> At first, representation means some material organization of symbols such as diagram, graph, schema, which refers to other entities or ”modelizes” various mental processes. We recognize the usual domain of signifiers that refer to inacessible [sic] ”signifieds.”
>
> The second meaning is much wider. The word according to various schools of thought has several closely related acceptations that all refer to a certain *organization* of knowledge in the human mental ”system” or in the long-term memory. In fact, one singles out in this meaning the more or less raw material on which cognitive activities are based. In certain cases, representation can be

> identified with concept. In other, they are the ingredient from which they are formed.
>
> The third meaning refers to mental images. In fact, it is a ”special case” of the second one. The distinction deserves being made because of the importance of the research of this domain and also because of its clear theoretical framework.

Janvier (1987a, s. 149) använder ordet schematisering eller illustration för att referera till den första betydelsen och uppfattning för att referera till den andra. Uppfattningar utvecklas för det mesta utanför organiserade teorier.

En viktig distinktion görs mellan inre (*internal*) och yttre (*external*) representationer. En inre representation avser mentala bilder (*images*) som svarar mot de inre formuleringar som elever eller problemlösare konstruerar av verkligheten. De mentala bilderna är inte direkt observerbara, men exempelvis lärare sluter sig till vilka elevernas mentala gestaltningar är, med en viss grad av osäkerhet, utifrån det de säger eller gör, dvs. utgående från deras yttre beteende. Yttre representationer avser alla yttre symboliska strukturer dvs. fysiskt konkretiserade observerbara gestaltningar såsom symboler, ord, grafer, bilder, ekvationer, scheman eller exempelvis sådant som tillhör datorvärlden. I princip är strukturerna observerbara för alla som har lämplig kunskap om dem, men tolkningen av vad de representerar beror av de inre representationer som varje enskild individ har (Dufour-Janvier, Bednarz & Belanger, 1987, s. 109; Goldin & Kaput, 1996, s. 399–400). Inre och yttre representationer interagerar med varandra i två riktningar. En människa kan ge inre strukturer en yttre fysisk gestalt t.ex. genom att skriva, tala eller manipulera element från något yttre konkret system. I den andra riktningen sker en internalisering då personen med hjälp av interaktioner med de yttre fysiska strukturerna av ett teckensystem t.ex. läser, tolkar ord och satser eller tolkar ekvationer och grafer. Interaktionerna kan ske samtidigt i båda riktningarna (Goldin & Kaput, 1996, s. 401).

Yttre representationssystem består för det första av primitiva tecken eller symboler. De kan vara diskreta entiteter ur en väldefinierad mängd, såsom bokstäver i alfabetet, siffror, uttalade ord eller komponenter i en logisk krets. De kan också vara entiteter som inte är lika väldefinierade, exempelvis fysikaliska objekt och deras attribut eller matematiska och fysikaliska entiteter såsom tal, vektorer, hastigheter eller krafter. De är elementära entiteter inom ett representationssystem och tillskrivs inte någon mening eller tolkning. För det andra kan representationssystem innefatta regler för att kombinera symbolerna till tillåtna gestaltningar. Bokstäverna kan bilda ord och enskilda siffror kan bilda flersiffriga tal. Representationssystem kan också bestå av regler för förflyttning från en tillåten gestaltning till en annan eller från mängder av gestaltningar till nya mängder. Regler för manipulation av symboler för att överföra en matematisk ekvation i en annan form är exempel på en sådan transformation. Slutligen kan representationssystem inbegripa strukturer på högre nivå, såsom regler för att skapa gestaltningar av gestaltningar, nätverk eller grafer av tillåtna

övergångar från en gestaltning till en annan eller relationer inom en samling av gestaltningar. Exempelvis är en mätapparat, där man kan erhålla en kontinuerlig mängd av möjliga avläsningar, ett representationssystem vars tecken eller symboler utgörs av instrumentets fysikaliska beståndsdelar (Goldin, 1998, s. 143ff; Goldin, 1987, s. 126ff; Goldin & Kaput, 1996, s. 409ff).

Representationssystem och medier

Det behövs i allmänhet flera yttre representationssystem för att belysa alla aspekter av en komplex företeelse. De olika slag av medier som konkretiserar representationssystemen har fundamentala karakteristiska drag som skiljer dem från varandra. Goldin och Kaput (1996, s. 411ff) gör en indelning i dynamiska och statiska medier, interaktiva och inerta medier samt inspelande och icke-inspelande medier. Egenskaperna i varje kategori är varandras motsatser. En traditionell televisionsapparat är dynamisk men inte interaktiv. Den kan förmedla förändringar så att åskådaren kan uppleva dem perceptuellt. I statiska medier måste dynamiska förändringar projiceras på statiska yttre representationer genom inre, mentala handlingar, som också kan få hjälp av olika tekniker att beskriva förändringarna, t.ex. med pilar eller med bilder i sekvenser. Med ett interaktivt medium avses här ett sådant som alstrar ett fysiskt bidrag från teckensystemet och mediet där det exemplifieras. I ett inert system är det enda resultat som visas det som inmatas i systemet, t.ex. det som ritas på ett papper. Användaren kan endast reagera på det som han just har producerat. I det interaktiva mediet uppstår någonting nytt som resultat av användarens handling, något som användaren sedan ska reagera på.

Ett interaktivt och dessutom dynamiskt representationssystem är datorn. I och med tillkomsten av datormiljöer har möjligheterna att visa strukturer av yttre representationssystem kraftigt ökat. Traditionella representationssystem förändras då man byter medium. En indelning av yttre representationer i handlingsrepresentationer (*action representations*) och visningsrepresentationer (*display representations*) (Goldin & Kaput, 1996, s. 413) ger möjlighet att exemplifiera denna förändring. En handlingsrepresentation innehåller regler eller mekanismer för att manipulera elementen i representationen, medan en visningsrepresentation inte gör det. I ett inert medium visar en graf i ett koordinatsystem primärt kvantitativa samband. En sådan graf, dvs. en visningsrepresentation, kan man inte påverka i alltför hög grad. Samma gäller för tabeller, man producerar dem men man omgestaltar dem inte i normala fall. Det algebraiska representationssystemet understöder dock att man med hjälp av regler ingriper på gestaltningar för att skapa nya gestaltningar och därmed möjliggör att kvantitativa samband förändras på ett systematiskt sätt. Genom att omskapa det fysikaliska mediet där representationssystemet åskådliggörs kan man på ett fundamentalt sätt förändra representationernas karakteristiska drag. En visningsrepresentation kan bytas ut mot en handlingsrepresentation. En tabell som åskådliggörs i ett interaktivt datormedium kan bli ytterst handlings-

orienterad, t.ex. så att åtgärderna på tabellen kan utvidgas till att skapa ett kalkylblad i ett kalkylprogram. En graf i ett koordinatsystem kan förvandlas till en handlingsrepresentation, som stöder direkta ingripanden på grafen och koordinatsystemet. Exempel på sådana åtgärder är omskalning av koordinatsystemet eller sträckningar och vändningar av grafen (Goldin & Kaput, 1996, s. 414). Interaktiva datorprogram frambringar med andra ord representationsformer som inte är möjliga i inerta medier. Inmatning av tal, uttryck, förändringar av parametrar eller anpassning av koefficienter i algebraiska uttryck kan resultera i en kalkyleringsprocess, så att representationselementet är kopplat till ett responssystem i form av exempelvis ett kalkylblad (Goldin & Kaput, 1996, s. 422).

Interaktiva datormedier har också öppnat nya möjligheter, speciellt i fråga om att länka yttre representationer. En sådan länkning kan man göra mellan en ekvation, som representerar en funktion, och motsvarande graf. Genom att vidta åtgärder på en av de yttre, länkade representationerna kan man antingen observera konsekvenserna av åtgärden på den andra representationen eller göra en explicit förutsägelse om den andra representationen och jämföra effekten på den i förhållande till åtgärden (Goldin & Kaput, 1996, s. 416; jfr Kozma, 1991). Länkade yttre representationer som görs på nya sätt ger oss nya erfarenheter och tillhandahåller nya möjligheter till inre konstruktioner (Goldin & Kaput, 1996, s. 416; jfr Kozma, 1991, s. 181). Det är inte så väl känt hur strukturer av yttre representationer påverkar lärande och påföljande beteende, men

> ... hypothesized internal constructs are, to some extent, *already implicit in the descriptions of external variables*. The model one adopts to describe learners' or problem solvers' internal processes, cognitive and affective, inevitably and profoundly influences the external characteristics of task environments and learning contexts to which one attends. It is important to make such influences explicit wherever possible (Goldin, 1998, s. 146).

Representationer i undervisningen

Det finns enligt Dufour-Janvier, Bednarz och Belanger (1987, s. 110) starka motiv för att använda yttre representationer i undervisningen. Representationerna är en väsentlig del av ämnet, de är multipla konkretiseringar av ett begrepp och används lokalt för att minska vissa svårigheter. Representationerna syftar till att göra ämnet attraktivare och intressantare.

Utnyttjande av olika representationsformer och deras bidrag till undervisningen förutsätter att eleverna borde inse att konventionella representationer är (matematiska) verktyg. Eleverna borde i problemlösningssituationer förkasta en representation till förmån för en annan och samtidigt veta varför de gör detta val, exempelvis för att den ena representationen är mindre effektiv än den andra i en given kontext. En viktig förutsättning är också att eleverna kan gå över från en representation till en annan.

Ovanstående förväntningar förutsätter att eleverna har begripit idén med representationer, att de känner till möjligheterna, begränsningarna och effektiviteten hos var och en av dem. Forskning har visat att elever på begäran kan producera och använda matematiska representationer, men att de betraktar representationerna som matematiska objekt och inte som hjälpmedel för att lösa problem. Elever har också svårt att se att olika representationer ger uttryck för samma situation. Vidare har det visat sig att de ofta uttrycker den uppfattningen att ett problem som löses på ett annorlunda sätt leder till ett annorlunda svar (Dufour-Janvier, Bednarz & Belanger, 1987, s. 110ff).

Frågan om mediers kognitiva potential är väsentlig då de tas i bruk i undervisningen. Ett mediums möjligheter att åstadkomma en effekt på lärandeprocesser och -resultat beror på hur möjligheterna överensstämmer med den specifika lärandesituationen som också inkluderar uppgifterna och eleverna. En viktig faktor är också hur mediets möjligheter används i undervisningsdesignen. Eleven kan dra den största nyttan av ett medium med dess specifika möjligheter, om dessa möjligheter utnyttjas i undervisningsmetoden. Det kan då handla om att erbjuda lämpliga representationer och utföra eller utforma vissa kognitiva operationer, som starkt framträder i uppgiften och situationen och som eleverna inte på annat sätt kan åstadkomma (Kozma, 1991, s. 182).

En specifik egenskap som datorn har är att den kan operera på symboler enligt specificerade regler, t.ex. ändra utseendet på en graf eller flytta ett grafiskt föremål på skärmen på ett sätt som överensstämmer med fysikens lagar. Datorerna kan genom denna egenskap spela en betydelsefull roll i att hjälpa elever att i detalj utforma sina mentala modeller och korrigera sina missuppfattningar (Kozma, 1991, s. 195).

> The process of learning with computers is influenced by the ability of the medium to dynamically represent formal constructs and instantiate procedural relationships under the learner's control. These are used by some learners to construct, structure, and modify mental models; other students can rely on prior knowledge and processes, and the use of computers is unnecessary (Kozma, 1991, s. 205).

Den kritik som anförs mot medier beträffande deras förmåga att bidra till lärande – nämligen att metoden är avgörande, inte mediet – bemöts av Kozma (1991):

> Medium and method have a more integral relationship; both are part of the design. Within a particular design, the medium enables and constrains the method; the method draws on and instantiates the capabilities of the medium. Some attributions of effect can be made to medium or method, but there is much shared variance between them, and a good design will integrate them. [Various studies showed that] learning was influenced by the methods used, but it was in part because they took advantage of the medium's cognitively relevant capabilities to complement the learner's prior knowledge and cognitive skills.

> Many of these methods would have been difficult or impossible to implement in other media (s. 205).

Grafer som statisk representationsform

Grafen[1] är en representationsform som är lämplig för att representera reella observationer och fungera som analytiskt verktyg för att upptäcka underliggande förlopp. Detta ger i sin tur observatören och den lärande upplysningar om de fenomen (det mål) som är under utforskning (Leinhardt, Zaslavsky & Stein, 1990, s. 20). De aktiviteter som relateras till grafer är tolkning och konstruktion. Tolkningen av grafer är den primära aktiviteten i denna studie. Enligt Leinhardt et al. avses med tolkning en sådan handling där eleven begriper eller förstår innebörden av en graf eller en del av denna, en ekvation eller en situation. Tolkning kan vara global och generell eller lokal och specifik (s. 8). Viktiga frågor, som berör förlopp, utvecklingstendens, hastighet eller sådant som att bestämma när specifika händelser eller villkor förekommer, kan studeras utgående från en graf. Tolkningsuppgifter tenderar att innefatta grafer som representerar situationer (Preece, 1983). Då man exempelvis tolkar en grafisk representation av strömstyrkan som funktion av tiden (figur 4) i en växelströmskrets inbegriper detta många frågor som bland annat kan omfatta

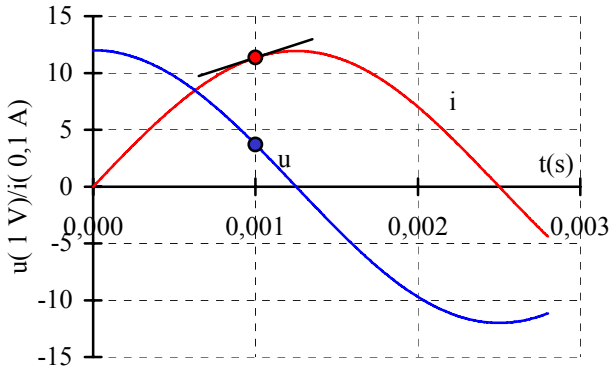
- områdesspecifika begrepp om elektricitet
- grafbegrepp (ex. gradient och kontinuitet)
- antalet grafer
- antalet och arten av beroende variabler
- axlarnas storheter och skalor
- beteckningar i grafen
- aktuell syntax (grafernas representationer t.ex. i fråga om mönster och färg).

En lång rad kvalitativa och kvantitativa frågor kan inkluderas i tolkningen (se figur 4): Vad händer med spänningen då strömstyrkan ökar? Vad händer med strömstyrkan då spänningen är negativ? Hur stor är strömstyrkan och hur stor är ökningen av strömstyrkan per tidsenhet vid t = 1,0 ms? Vid vilken tidpunkt når strömstyrkan respektive spänningen sitt största värde, när är värdena noll? Varför är spänningen störst då strömstyrkan är noll?

Den psykologiska processen att man förflyttar sig från en representationsform till en annan är enligt Janvier (1987c) en översättningsprocess. Att tolka en graf innebär enligt Preece (1983, s. 44) inte bara att man kan utläsa punkter, utan man måste också härleda en bakgrund eller en händelse som är inbyggd i grafen. Det inbegriper en översättningsprocess där informationen som presenteras i koncentrerad form ska tolkas i relation till elevens kunskaper om grafhantering, om ämnet och om världen i allmänhet.

[1] I fortsättningen avses i huvudsak grafer i kartesiska koordinatsystem.

Eleven måste förstå begrepp som är rent grafiska till sin natur, såsom punkter, extrempunkter eller intervall där variablerna förändras, eller begrepp som har med situationen att göra och som representeras av grafen. Färdighet att läsa grafer är därför en viktig förutsättning. Begrepp kan finnas explicit i form av etiketter i grafen (t.ex. titel, axelstorheter, skalor) eller de kan implicit uppstå ur sambandet mellan två variabler (t.ex. strömstyrkans gradient i form av en tangent i figur 4). Begreppen i grafen måste sedan relateras till ämnesområdet och fenomenet.



Figur 4. Grafisk representation av strömstyrkan och spänningen som funktion av tiden och strömstyrkans tidsderivata (representerad av en tangent) vid t = 1,0 ms.

Preece (1983) fann att elevernas svårigheter i graftolkning kunde sammanfattas i tre kategorier. För det första var eleverna känsliga för grafens utseende med t.ex. utpräglade drag eller visuella detaljer som avledde elevernas uppmärksamhet. Också språkliga antydningar i uppgiften påverkade hur eleverna tolkade grafen. Den andra typen av fel uppstod genom svaga färdigheter i att avläsa grafer. Den tredje kategorin handlade om begreppssvårigheter. Felaktig eller otillräcklig förståelse av grafiska, områdesrelaterade eller symboliska begrepp gav upphov till tolkningsfel. Speciella problem uppstod också i de fall där det fanns flera grafer i samma koordinatsystem.

Ett ämnesområde som dominerar forskningen inom fysikundervisningen är kinematiken och dynamiken (t.ex. McDermott, Rosenquist & van Zee, 1987; Rosenquist & McDermott, 1987; Hestenes, 1992). Orsaker till att exempelvis kinematiken är välrepresenterad är enligt Beichner (1994) dels att den innehåller grundläggande byggstenar som andra begrepp baseras på, dels att den tidiga tillgången till datorbaserade laborationer (t.ex. Beichner, 1990; Flick, 1990; McDermott, 1990; Thornton & Sokoloff, 1990) gav möjlighet att studera en kropps läge, hastighet och acceleration i realtid och därmed ändrade på sättet att studera dessa begrepp. Under 1990-talet har forskningen om grafrepresentation inom dessa områden fortsatt mycket intensivt (t.ex. Roth, 1995; Grayson &

McDermott, 1996; Kelly & Crawford, 1996; Roth, Woszczyna & Smith, 1996; Lavonen, 1996; Doerr, 1997; Redish, Saul & Steinberg, 1997; Hämäläinen, 1998; Guisasola, Barragués, Valdés, Valdés & Pedroso, 1999; de Jong, Martin, Zamarro, Esquembre, Swaak & van Joolingen, 1999; Monaghan & Clement, 1999; Reif & Scott, 1999). Resultaten från 1980-talets forskning har ofta överförts till eller kombinerats med andra ämnesområden, både inom och utanför fysikämnet (t.ex. Dobson, 1999; Roth & Bowen, 1999; Roth & McGinn, 1997; Schnotz, Picard & Hron, 1993; Steinberg, Oberem & McDermott, 1996).

Beichner (1994) anser att elever stöter på problem då det gäller att tolka grafer i kinematiken. I en motsvarande undersökning gjorde McDermott et al. (1987) en uppdelning av problemen i två kategorier: svårigheter att koppla grafer till fysikaliska begrepp och svårigheter att koppla grafer till verkligheten. Deras studier visade att elevernas svårigheter i den första kategorin handlade om 1) förväxling av begreppen riktningskoefficient och värdet i en punkt på grafen, 2) hur de tolkar förändringar av värdena i två punkter och förändringar av riktningskoefficienten i punkterna, 3) fel på bestämningen av riktningskoefficient för linjer som inte gick genom origo, 4) att matcha narrativ information med relevanta drag i en graf, 5) förväxling av variabler, 6) hur de relaterar olika grafer (som representerar samma händelse) till varandra, 7) betydelsen av arean under en graf och slutligen 8) förväxling av area, riktningskoefficient och värde i grafpunkt. I kategorin att relatera grafer till verkligheten framkom det att svårigheterna ligger i 1) att kunna representera kontinuerlig rörelse i form av en kontinuerlig kurva, 2) att elever lätt uppfattar grafen som en bild av situationen, 3) att kunna representera negativ hastighet i en v(t)-graf, 4) att kunna representera konstant acceleration i en a(t)-graf och 5) att skilja mellan olika typer av grafer som representerar samma rörelse.

Grafer som dynamisk representationsform

Datorn är ett av de viktiga interaktiva medier som kan länka olika representationssystem och skapa dynamik i representationerna. Datorbaserade laborationsexperiment (ofta förkortade MBL, microcomputer-based laboratory) ger eleverna möjligheter att ”se” och ”känna” kopplingen mellan en fysikalisk händelse och dess grafiska representation (Beichner, 1990). Forskningen har kommit fram till varierande resultat inom området. Flera fundamentala studier (Brasell, 1987; Mokros & Tinker, 1987; Thornton, 1987; Thornton & Sokoloff, 1990) på 1980-talet visade att realtidsproduktion av grafer parallellt med händelseförloppet i kinematiska experiment förbättrade elevers färdigheter i grafhantering. Grafen blev för eleverna mer tillgänglig, hanterbar och konkret. Enligt Mokros och Tinker (1987) och Thornton och Sokoloff (1990) är det en kombination av flera faktorer som bidrar till kraftfullheten och effektiviteten i lärande med MBL. För det första förstärker MBL många modaliteter av lärande. Eleverna får en kinestetisk erfarenhet av att hantera laborationsmaterial i fysik och har samtidigt en visuell upplevelse av att det fysikaliska fenomenet

förändras. Eleverna fokuserar på den fysikaliska världen. Denna form av lärande tillhandahåller också en länk i realtid mellan en konkret erfarenhet och en symbolisk representation av denna erfarenhet. Den tredje faktorn handlar om meningsfullheten i denna genuina vetenskapliga upplevelse genom att eleverna samlar och analyserar verkliga data i experiment som de kan ha kontroll över. En viktig faktor är att eleverna uppmuntras till samarbete. Eleverna ges möjlighet att diskutera insamlade data, deras giltighet, betydelse och implikationer. Denna lärandemiljö vägleder eleverna att förstå de specifika och välkända fenomenen, så att de sedan kan gå över till det som är mer generellt och abstrakt. Slutligen anses det ha en stor betydelse för eleverna att de slipper det rutinmässiga, mödosamma arbetet med att själva producera graferna. I stället kan de ägna tid åt att undersöka effekterna av variationer av experimentet och svara på frågan ”Vad händer om ...?”.

Dock hävdade Brasell (1987) att en försening av grafproduktionen i förhållande till händelsen inte påvisade någon förbättring i lärande. Det är också anmärkningsvärt att Beichners (1990) experiment med visuell reproduktion av rörelse på en dataskärm synkroniserad med grafproduktion inte visade sig ha någon betydande fördel med avseende på lärande framom traditionell undervisning. Kvaliteten på den utrustning som användes vid experimentet var dock inte jämförbar med dagens datorutrustning: ”The quality of the VideoGraph images also left much be desired. Perhaps students would relate better to sharper, color pictures and smoother animations” (s. 813). En förbättring av kvaliteten på datorproducerade representationer sker kontinuerligt (t.ex. Beaufils, Le Touzé & Blondel, 1994; Greenberg, Raphael, Keller & Tobias, 1998) och har därmed förbättrat möjligheterna att göra datorn till ett verktyg för att simulera eller på annat sätt åskådliggöra exempelvis fysikaliska, kemiska eller biologiska förlopp. Datorn som förmedlare av interaktiva och dynamiska representationer behandlas djupare i flera kommande avsnitt.

Grafhantering som praktik i undervisningen

De graftolkningssvårigheter som forskning har lyft fram (och som ovan har framställts ytligt) har enligt Roth och McGinn (1997, s. 93–95) ofta ”sökts i termer av kognitiv förmåga och utveckling”. Emellertid har en del av denna forskning också kritiserats av Berg och Smith (1994), som hävdar att de forskningsinstrument som använts för att undersöka grafhantering och MBL:s inverkan på elevers grafhanteringsförmåga har brister i validitet. Roth och McGinn vill hellre se grafhantering ur ett praktikperspektiv genom att fokusera på elevers kompetens via deltagande i meningsfulla övningar och upplevelser. De hävdar att forskarna i detalj borde studera individer, utmärkande drag i miljön och praktiska lösningar. Då kommer också framgångarna i undervisningen med hjälp av datorbaserade laborationer att förklaras i ett nytt perspektiv.

Grafer har enligt Roth och McGinn (1997, s. 96) en karaktär av semiotiska objekt, som utgör och representerar andra aspekter av verkligheten. Grafer kan förmedla kollektiva vetenskapliga aktiviteter såsom samtal och fakta-konstruktion. Som semiotiska objekt kan grafer lämpligare studeras i termer av de översättningar, omformningar och omflyttningar som behövs för att konstruera sambandet mellan händelsen och dess representation. Studier (bl.a. Roth & Bowen, 1994) har visat att elever kan bli skickliga i att förflytta sig från naturliga objekt och händelser till allt mer komplexa representationer genom att använda en rad representationskonstruktioner, till och med sådana som ligger långt från deras erfarenheter. På samma sätt kan de också gå i den motsatta riktningen, dvs. från grafer till reella eller tänkbara naturliga objekt och händelser, en process som avser tolkning. Grafer används för att framhäva vissa drag i t.ex. en forskares konstruktioner av naturen eller något fenomen. För att uppnå önskvärda effekter utnyttjar forskaren olika slags tekniker. I en graf kan man låta vissa kännetecken framträda, medan man kan eliminera andra. Ändring av skalor, förändringar i förhållande till något referensvärde eller spatial representation av tiden är andra tekniker som nyttjas. Studier (bl.a. Roth & Bowen, 1994) av elevers kollektiva aktiviteter för att göra grafer begripliga har visat att grafer inte bara är objekt för samtal utan förser också eleverna med ökade kommunikativa resurser. Eleverna pekar på datapunkter, linjer och axlar eller använder gester för att peka på trender, för att nämna några. Eleverna blir skickliga i att använda graftillämpningar genom sina interaktioner med grafuppgifter att använda grafer för att bygga upp och representera fenomen som är av intresse för dem.

Roth och McGinn (1997, s. 100) hävdar att eleverna i detta praktikperspektiv utvecklar en grafhanteringskompetens genom att de aktivt deltar i att utveckla och praktiskt utöva grafhantering. Grafhantering blir då en kollektiv aktivitet som gör den till en delad social vana. Då grafer blir en del av elevernas dagliga kommunikativa träning kommer de småningom att bli påtagliga objekt och för-blir inte något erfarenhetsfrämmande, abstrakt och meningslöst som förevisas. Den kollektiva ansträngningen underlättar elevernas kommunikation genom att den fungerar som bakgrund för deras samtal och gester. Graferna blir ett resultat av deras gemensamma arbete och ett kännetecken för den förståelse som de delar. Graferna kan vara redskap för att konstruera fakta och för att på ett reflexivt sätt förmedla interaktionerna under vilka fakta konstrueras.

Roth och Bowen (1999) undersökte grafrelaterade aktiviteter under lektioner i naturvetenskap för studerande. I studien presenterar de en referensram för att förstå tolkningar som baseras på sambandet mellan uttrycksmedlet för tecken eller symboler (grafen), referenten (fenomenet) och tolkaren/tolkningen (ut-arbetandet av tolkningen). Praxis inom vetenskaplig tolkning är att tolkaren (t.ex. en vetenskapsman) kretsar fram och tillbaka mellan faktiska situationer (referenter), som han är välbekant med, och grafen (symbolen) för att kontinuerligt kunna bekräfta och bearbeta isomorfismen mellan värld och

matematisk form (jfr McDermott et al., 1987, s. 512). Om graferna inte är gångbara i vetenskapsmannens egen forskningsgemenskap, om graferna ger för få ledtrådar så att han blir referensmässigt isolerad eller om han saknar erfarenhet av situationerna blir resultatet att han får kämpa med tolkningen. Roths och Bowens undersökning visade att undervisningen gav en alltför knapphändig bild av den praxis vardagsvetenskapen utnyttjar vid användning och tolkning av grafer. De ömsesidigt grundläggande sambanden mellan fenomen och deras grafiska representationer klargjordes inte tillräckligt. För att eleverna ska kunna engagera sig i vetenskaplig praktik i att tolka och använda grafer i varierande förhållanden måste de engagera sig i modellbildningsaktiviteter som börjar med begreppsfrågor. De behöver ägna sig åt det ömsesidiga utarbetandet av grafiska representationer av kunskap och praktiska försök med undersökningsobjekten.

I skolvärlden är presentation av information i grafisk form en av hörnstenarna i försöken att länka samman data från praktiskt arbete med abstrakta idéer och vetenskapliga begrepp (Barton, 1998, s. 366). Betydelsen av denna representationsform i fysikstudier framgår av följande citat:

> Among the many skills that can be developed in the study of physics, the ability to draw and interpret graphs is perhaps one of the most important. To be able to apply the powerful tool of graphical analysis to science, students must know how to interpret graphs in terms of the subject matter represented. They should be able to choose the feature of a graph that contains the required information and to recognize a relationship that may exist among different graphs. They should be able to represent real systems graphically and to visualize a system from its graphical representations (McDermott et al., 1987, s. 513).

Studierna ovan visar att det är fruktbart att man i undervisningen anlägger ett praktiskt perspektiv på grafhantering, så att eleverna får större erfarenhet av grafen som en betydelsefull representation av fysikaliska fenomen. Konsekvensen av detta är enligt Roth och McGinn (1997) att framgång och misslyckanden i olikartade kursplaner, som innehåller grafhantering, förstås i termer av närvaro eller frånvaro av praktikens sociala dimensioner. Dessutom leder det till annorlunda lärandemiljöer, och det blir nödvändigt med nya utvärderingsmetoder.

3.2.3 Växelströmskretsen i lärokursen Elektromagnetism

Huvudinnehållet i kursen Elektromagnetism är enligt gymnasiets läroplan 1994 att eleverna experimentellt ska undersöka olika elektromagnetiska fenomen såsom elektromagnetisk induktion, föränderliga fält samt produktion och överföring av elenergi. Begreppskunskapen på området fördjupas.

Gymnasiets läroplan nämner i målen för kursen att eleven bland annat ska

- känna till grundlagarna rörande variabla elektromagnetiska fält

- förstå uppkomsten av växelström och strömmens användningsmöjligheter utgående från nämnda lagar
- känna till grundbegreppen i anslutning till växelströmskretsarna
- kunna beräkna induktionsspänningar och -strömmar förorsakade av variabla magnetfält och strömmar
- kunna bestämma elström, spänning, dessas [sic!] effektivvärden, fasskillnad, impedans och effekt i växelströmskretsar
- känna till de viktigaste tillämpningarna av elektromagnetisk induktion och växelström.

En viktig del av elevens fysikstudier tillskrivs fortfarande läroboken. Den tillhandahåller eleven inte bara fysikaliska begrepp och fenomen, tillämpningar och övningsuppgifter utan textinformationen och den visuella uppläggningen är också betydelsefulla för att få eleven att med intresse arbeta med fysikstudier. Eftersom eleven åläggs att lära sig på egen hand under en del klassrumstid och självständig tid, får läroboken en central och avgörande plats. Det är viktigt att noggrant undersöka inte endast texternas språk utan också den visuella kvaliteten (Mathewson, 1999, s. 43). Professorn och läroboksförfattaren Jon Ogborn (2001) framhåller med emfas betydelsen av lärobokens visuella uppläggning. En av hans principer är att ämnesområdet borde designas som en mängd berättelser om världen och om hur saker fungerar. Duit och Confrey (1996, s. 87) framför en viss kritik av läroböckerna i naturvetenskap: De baseras i huvudsak på icke-konstruktivistiska idéer, de tar inte i beaktande elevens perspektiv och de försummar frågor som gäller inlärningspsykologi.

Den läroboksserie som nu används i de finlandssvenska gymnasierna har nyligen reviderats. De två läroboksserier (Paulin et al., 1984; Holmberg, Tikkinen & Westerlund, 1986), som var aktuella då denna studie pågick var redigerade på 1980-talet. Den gamla och den nya läroboksserien skiljer sig påtagligt från varandra i uppläggningen. Avsikten i denna studie är emellertid inte att göra någon jämförelse av serierna. Däremot gör jag ett försök att, utgående från den lärobok (Paulin et al., 1984) som var aktuell då denna studie påbörjades, skissera de karakteristiska dragen i den del av fysikkursen som innehåller växelströmsläran. Till den del det i den andra läroboken (Holmberg et al., 1986) finns större avvikelser i uppläggningen av innehållet nämns dessa parallellt i översikten. Denna analys, fastän den är relativt ytlig, motiveras av att läroboken i den praktiska undervisningssituationen, trots allt, påverkar genomförandet av undervisningen till en betydande del.

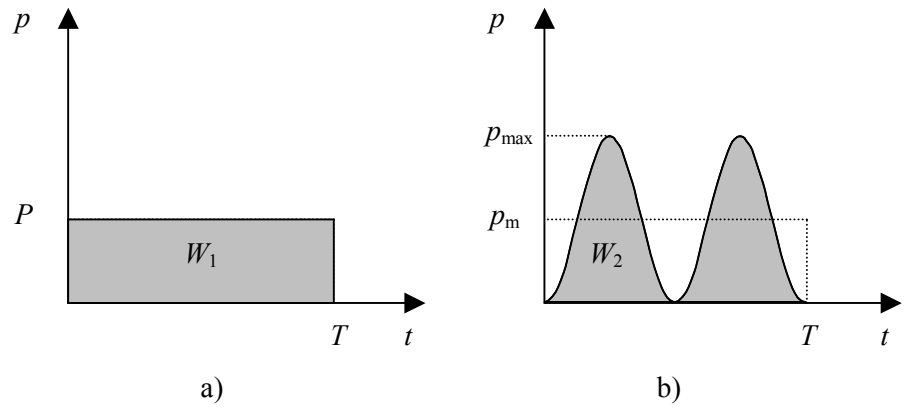
Växelströmsläran enligt Paulin et al. (1984) inleds med en matematisk härledning av den inducerade, sinusformade växelspänningen i en enkel slinga, som roterar i ett homogent magnetfält. Utgående från Faradays induktionslag deriveras uttrycket för flödet, vars matematiska uttryck har bestämts genom ett geometriskt resonemang. Växelspänningen $u = \hat{u}\sin\omega t$ representeras grafiskt som funktion av dels slingans vridningsvinkel ωt, dels tiden t. Grundbegreppen

toppvärde $\hat{u}$, frekvens f, vinkelfrekvens ω och period T samt deras enheter definieras. För att åskådliggöra momentanspänningens beroende av fasvinkeln introduceras visardiagrammet. En enkel krets med en rent resistiv belastning (resistans R) inleder behandlingen av växelströmskretsar och växelströmstyrkan $i = \hat{\imath}\sin\omega t$ dyker upp med hjälp av Kirchhoffs lag för en sluten krets. Med ett oscilloskop kan man visa att strömstyrka och spänning är i fas, vilket bland annat innebär att toppvärdena, $\hat{u}$ respektive $\hat{\imath} = \hat{u}/R$, nås vid samma tidpunkt.

I läroboken enligt Holmberg et al. (1986) konstateras generellt förekomsten av variabla elektriska strömmar utan koppling till något fysikaliskt objekt i form av en slinga eller motsvarande. Därefter begränsas framställningen till begreppet sinusformad växelström $i = \hat{\imath}\sin(\omega t + \varphi)$. Nollfasvinkeln φ introduceras direkt i inledningsavsnittet. Uttrycket för växelspänningen erhålls via Ohms lag, $u = Ri$ efter att effektivvärden har definierats. Visardiagrammet tas upp med fasvinklar på både strömstyrka och spänning (φ_1 respektive φ_2).

Strömstyrkans effektivvärde härleds med hjälp av en allmän definition, som inbegriper den värmeverkan en likström och en ekvivalent växelström åstadkommer. Härledningen görs med hjälp av integralkalkyl (Paulin et al., 1984) eller geometriskt genom att utgå från en graf som representerar effekten som funktion av tiden både för en växelströms- och en likströmskrets (Holmberg et al., 1986). Den geometriska härledningen utgår från att det under tiden T utvecklas en värmeenergi $W_1 = PT = R\,I^2\,T$ i en likströmskrets. Grafiskt motsvaras denna energimängd av arean av rektangeln i ett $p(t)$-koordinatsystem (figur 5a). I en ekvivalent växelströmskrets utvecklas en lika stor energimängd under perioden T. Momentaneffekten $p = R\,i^2 = R\,\hat{\imath}^2\sin^2\omega t$ har sitt toppvärde $p_{\max} = R\,\hat{\imath}^2$, då $\sin^2\omega t = 1$. Genom att åberopa symmetri hos den kvadratiska sinusfunktionen kan man visa att arean under $p(t)$-grafen för en växelström under en period T är ekvivalent med arean av en rektangel med höjden $p_m = \frac{1}{2}R\hat{\imath}^2$ och längden T (figur 5b). Man får då $W_2 = \frac{1}{2}R\,\hat{\imath}^2\,T$. Likheten $W_1 = W_2$ ger slutligen strömstyrkans effektivvärde $I = \dfrac{\hat{\imath}}{\sqrt{2}}$. Härledningen av uttrycket för spänningens effektivvärde överlåts åt eleverna.

Läroboken fortsätter med att presentera samband mellan spänning och strömstyrka för en rent induktiv respektive rent kapacitiv belastning. I den förra är en spole (induktans L) och i den senare en kondensator (kapacitans C) seriekopplad med spänningskällan. Dessa kretsar kan med fördel introduceras i form av demonstrationer (eller laborationer) med hjälp av a) en likspänningskrets, b) en växelspänningskrets med variabel frekvens och variabla induktanser respektive kapacitanser och c) ett oscilloskop, som visar fasförskjutningen mellan spänning och strömstyrka. Demonstrationerna åskådliggör komponenternas motståndsverkan mot en växelström och orsaken kan fastställas kvalitativt.



Figur 5. Värmeenergi som en likström respektive en växelström utvecklar under tiden T i en resistor med resistansen R.

Den induktiva reaktansen $X_L = \omega L$ härleds matematiskt via uttrycket för spänningen över spolen vid självinduktion. På motsvarande sätt härleds den kapacitiva reaktansen $X_C = \dfrac{1}{\omega C}$ med hjälp av uttrycket för kondensatorns laddningsström och momentanspänning. Genom en analogi med Ohms lag fastställs uttrycken för respektive reaktans. (Se bilaga 2, som representerar rena R-, L- respektive C-kretsar.)

Den teoretiska genomgången fortsätter genom att koppla två eller tre växelströmskomponenter (resistor, spole, kondensator) i serie så att man i det sistnämnda fallet får en allmän växelströmskrets. Begreppet impedans $Z = \sqrt{R^2 + \left(\omega L - \dfrac{1}{\omega C}\right)^2}$ och villkoret för att bestämma fasförskjutningen φ, $\tan\varphi = \dfrac{\omega L - \dfrac{1}{\omega C}}{R}$, införs med hjälp av algebraisk härledning utgående från visardiagrammet. I de båda läroboksserierna utgår man från att strömstyrkans nollfasvinkel är noll, dvs. $i = \hat{i}\sin\omega t$. Därigenom kommer nollfasvinkeln φ att införas i uttrycket för spänningen och motsvara fasdifferensen eller fasförskjutningen mellan spänningen u och strömstyrkan i. Tecknet på fasdifferensen φ bestäms av reaktansernas inbördes storlek. En positiv fasdifferens utvisar att spolen är en mer tongivande komponent i kretsen än kondensatorn och vice versa beträffande en negativ fasdifferens.

Genom ett matematiskt resonemang kan man härleda villkoret för serieresonans. Då $\omega L - \frac{1}{\omega C} = 0$ och $\omega = 2\pi f$ fås resonansfrekvensen $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$. En integrering av momentaneffekten $p = ui$ över en period ger ett uttryck för medeleffektomsättningen $P = UI\cos\varphi$ i en växelströmskrets. Effektfaktorn $\cos\varphi$ definieras. En serie grafer presenterar effektutvecklingen i en krets i några specialfall (se bilaga 2).

Växelströmsavsnittet avslutas med en genomgång av ett antal tillämpningar: transformatorn, trefasväxelström, likriktning av växelström och elektrisk energiöverföring. Här finns möjligheter till både farliga och åskådliga demonstrationer eller laborationer.

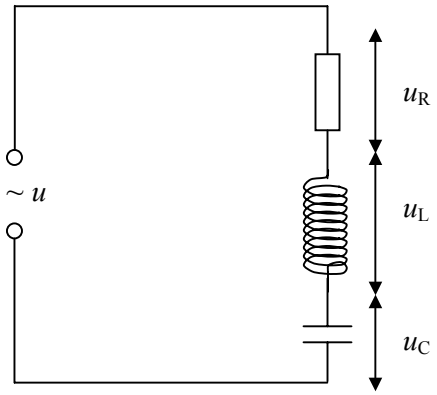
Lärobokens typexempel och övningsuppgifter koncentreras kring beräkning av numeriska värden för grundstorheterna i växelströmsläran, i många fall också med hjälp av visardiagrammet. Mot slutet av avsnittet om växelströmmar finns några mer komplicerade problemlösningsuppgifter. Visardiagrammet är ett komplicerat begrepp, som föranleder en tidskrävande och noggrann genomgång för att fylla sin uppgift som ett användbart hjälpmedel för att lösa matematiska problem. Avsnittet om växelströmsläran kommer först i slutet av kursen Elektromagnetism. I praktiken har detta inneburit att det råder tisbrist då avsnittet undervisas. Vid valet mellan att lämna bort visardiagrammet och att göra de intressanta demonstrationerna av växelströmslärans tillämpningar har en del lärare beslutat att offra den förra till förmån för demonstrationerna. Många övningsuppgifter på gymnasienivå kan emellertid lösas utan att utnyttja visardiagrammet.

Gestaltning av den seriekopplade växelströmskretsen

I det följande granskas en enkel seriekopplad växelströmskrets (figur 6) i ljuset av den begreppsbildning som skisserats i tidigare avsnitt. Delområdena som behandlas är aktuella i denna studie. Analysen sker i huvudsak genom ett kvalitativt resonemang, vilket inte är brukligt i gymnasiets fysiklärоböcker. I resonemanget används dock matematiska skrivsätt (t.ex. symbolen ~ för proportionalitet) för att göra texten kortare.

En gestaltning av fenomenen i en växelströmskrets inbegriper en kvalitativ analys av de enskilda komponenternas funktion och kretsens funktion i sin helhet. En kort och ytlig gestaltning av växelströmskretsen ur ett energiperspektiv görs här endast i syfte att exemplifiera. Växelströmskällan genererar en elektrisk ström som ständigt varierar i styrka och byter riktning i kretsen. Den elektriska strömstyrkan genom resistorn orsakar att denna blir varm (utan att man nödvändigtvis kroppsligen kan känna det), dvs. värmeenergi utvecklas. Då den elektriska strömmen går genom en spole byggs ett magnetfält upp. Magnetfältet har energi och kan i sin tur generera en elektrisk ström i kretsen. I en

växelströmskrets sker detta växelvis i två riktningar. Kondensatorn i sin tur kan uppladdas av den elektriska strömmen, kondensatorn lagrar energi. Vid urladdningen genereras en elektrisk ström i kretsen. Hela förloppet upprepas med strömkällan som initierare. Gestaltningen av komponenternas funktioner ger kvalitativa skillnader mellan dessa. En resistor är en passiv komponent som upptar energi från kretsen och omvandlar energin i värme. Däremot kan spolen och kondensatorn betraktas som aktiva komponenter i det att de själva kan överföra energi tillbaka till kretsen eftersom de kan generera elektrisk ström. Komponenternas sammanlagda verkan leder till ett komplicerat skeende i kretsen, där energi flyttas från komponent till komponent varvid en del av energin försvinner från kretsen. Fenomen i en växelströmskrets kan inte studeras visuellt utan hjälpmedel. Analoga eller digitala mätinstrument och oscilloskop är de mätinstrument som ger information om de händelseförlopp som inträffar i kretsens komponenter.



Figur 6. RLC-krets.

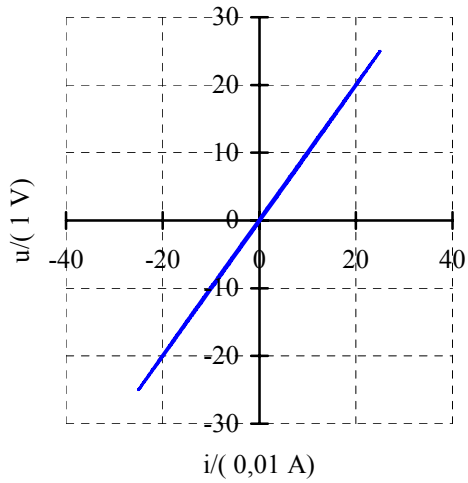
Resistorn i en växelströmskrets

Fenomen. En resistor seriekopplad med en växelspänningskälla utgör ett motstånd som begränsar strömstyrkan i kretsen.

Storheter. En med tiden varierande sinusformad växelspänning med frekvensen f driver en likaledes sinusformad växelström genom resistorn. Dessa tidsstorheters värden vid en given tidpunkt kallas momentanvärden, u_R respektive i, och deras maximala värden kallas toppvärden, $\hat{u}_R$ respektive $\hat{\imath}$. Tidsgraferna av spänning och strömstyrka kan i praktiken upptas med ett oscilloskop, medan spänningens och strömstyrkans effektivvärden mäts med analoga eller digitala mätinstrument. Resistorns egenskaper karakteriseras av dess resistans R (som teoretiskt kan kallas resistiv reaktans).

Lagar. (Se härledningar av de fysikaliska sambanden i bilaga 2, rent resistiv växelströmskrets.) Man kan konstatera att för momentanvärden ($\neq 0$) gäller $u \sim i$ => $R = \frac{u}{i}$. Samma proportionalitet gäller för effektivvärden. Ett fasdiagram (figur 7) visar att sambandet mellan spänningen och strömstyrkan är linjärt (Ohms lag). Fasförskjutningen är därför noll. I en rent resistiv krets är medeleffekten positiv, vilket beror på den värmeeffekt som utvecklas i resistorn. Effektöverföringen är ensidigt riktad från strömkälla till resistor (momanteffekten $p \geq 0$, figur 8).

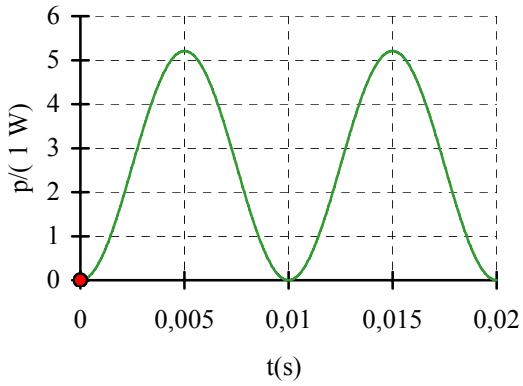
Teorier. Ohms lag gäller både för momentanvärden och för effektivvärden av strömstyrka och spänning i en rent resistiv växelströmskrets (förutsatt att temperaturen är konstant).



Figur 7. Fasdiagram. Sambandet mellan spänningen och strömstyrkan i en rent resistiv växelströmskrets.

Spolen i en växelströmskrets

Fenomen. I en spole, som är seriekopplad med en växelspänningskälla, går en varierande elektrisk strömstyrka som byter riktning. Spolen kommer då att generera ett magnetfält, som också byter riktning. Spolen förses ofta med en järnkärna. Spolen (med eller utan järnkärna) har magnetiska egenskaper och egenskaper som förknippas med dess geometriska konstruktion, storlek och lindning. De nämnda egenskaperna kan sammanföras till en gemensam egenskap, induktans. Induktansen kan förändras genom att variera en eller flera av de nämnda egenskaperna.



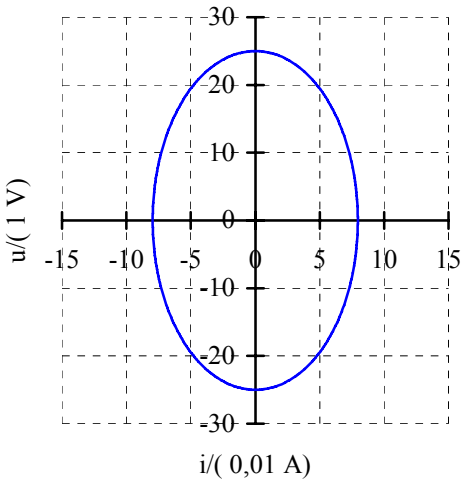
Figur 8. Momentaneffekten som funktion av tiden i en rent resistiv växelströmskrets.

Storheter. Värdena på storheterna spänning och strömstyrka vid en given, godtycklig tidpunkt kallas momentanvärden och betecknas u_L respektive i, och deras maximala värden eller toppvärden betecknas $\hat{u}_L$ respektive $\hat{\imath}$. Tidsgraferna av spänning och strömstyrka kan upptas med ett oscilloskop, medan spänningens och strömstyrkans effektivvärden mäts med analoga eller digitala mätinstrument. Spolens egenskaper karakteriseras av dess induktans L, som tillsammans med frekvensen inverkar på spolens induktiva reaktans X_L. En spole påverkar tidsförskjutningen mellan spänning och strömstyrka, de ligger inte i fas. Fasförskjutningen mäts i vinkelstorheter.

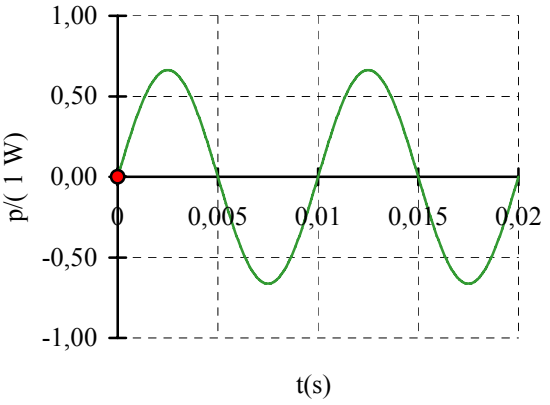
Lagar. (Se härledningar av de fysikaliska sambanden i bilaga 2, rent induktiv växelströmskrets.) Momentanspänningen u_L är proportionell mot hastigheten på strömstyrkans ändring (eller strömstyrkans tidsderivata) $\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ över spolen och man får $u_L \sim \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ => $L = \frac{u_L}{\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}}$. För induktiva reaktansen gäller $X_L \sim L$ och $X_L \sim f$ => $X_L = 2\pi fL$. Låg induktiv reaktans, t.ex. då spolen har liten induktans och växelspänningsfrekvensen är låg, innebär att växelströmmen flyter lättare i kretsen, och tvärtom. För toppvärden gäller $\hat{u} \sim \hat{\imath}$ och för effektivvärden $U \sim I$ => $X_L = \frac{\hat{u}}{\hat{\imath}} = \frac{U}{I}$. Sambandet gäller inte för momentanvärden. Ett fasdiagram över sambandet mellan spänningen och strömstyrkan åskådliggör fasförskjutningen +90º mellan spänning och strömstyrka (figur 9). Effektöverföringarna från strömkälla ($p > 0$) till spole och från spole till strömkälla ($p < 0$) sker varje kvartsperiod och studeras med hjälp av en härledd ekvation eller effektens tidsgraf (figur 10). I en rent induktiv krets är medeleffektutvecklingen noll.

Växelströmskällans energi går till att bygga upp ett magnetfält i spolen, men detta magnetfälts energi återförs tillbaka till strömkällan. Spolen blir en aktiv komponent i kretsen med avseende på energiöverföring.

Teorier. Enligt Lenz' lag kommer spolen att motverka varje ändring i strömstyrkan genom en motriktad inducerad spänning, som i sin tur producerar en induktionsström. Faradays induktionslag förklarar att den inducerade spänningen, som uppstår i en spole, är proportionell mot ändringen av det magnetiska flödet i spolen med avseende på tiden. Vid självinduktion är förändringen av det magnetiska flödet relaterat till förändringen av strömstyrkan genom spolen.



Figur 9. Fasdiagram. Sambandet mellan spänningen och strömstyrkan i en rent induktiv växelströmskrets.



Figur 10. Momentaneffekten som funktion av tiden i en rent induktiv växelströmskrets.

Kondensatorn i en växelströmskrets

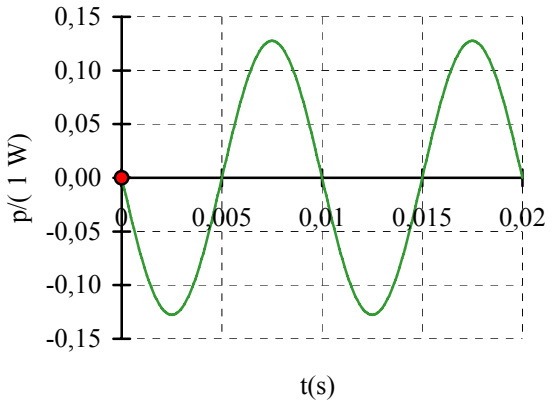
Fenomen. En kondensator, som kopplas i serie med en växelspänningskälla, kommer av växelströmmen att uppladdas och urladdas, så att kondensatorplattornas laddningar periodvis byter tecken. Laddningarna kommer inte att flyta *genom* kondensatorn (som är isolerad mellan plattorna), men genom kondensatorns upp- och urladdningar kommer en växelström ”till synes” att gå i kretsen.

Storheter. Värdena vid en given tidpunkt av storheterna spänning och strömstyrka kallas momentanvärden och betecknas u_C respektive i, och deras maximala värden eller toppvärden betecknas $\hat{u}_C$ respektive $\hat{\imath}$. Tidsgraferna av spänning och strömstyrka kan upptas med ett oscilloskop, medan spänningens och strömstyrkans effektivvärden mäts med analoga eller digitala mätinstrument. Kondensatorns egenskaper karakteriseras av dess kapacitans C, som tillsammans med frekvensen bestämmer kondensatorns kapacitiva reaktans X_C. En kondensator påverkar tidsförskjutningen mellan spänning och strömstyrka och de ligger därför inte i fas. Fasförskjutningen mäts i vinkelstorheter.

Lagar. (Se härledningar av de fysikaliska sambanden i bilaga 2, rent kapacitiv växelströmskrets.) Momentanspänningen u_C över kondensatorn är proportionell mot kondensatorns laddning q och man får $u_C \sim q \Rightarrow u_C = \frac{1}{C} \cdot q$ eller $C = \frac{q}{u_C}$. För kapacitiva reaktansen gäller $X_C \sim \frac{1}{C}$, $X_C \sim \frac{1}{f} \Rightarrow X_C = \frac{1}{2\pi f C}$. Låg kapacitiv reaktans, t.ex. då kondensatorn har stor kapacitans och växelspänningsfrekvensen är hög, innebär att växelströmmen flyter lättare i kretsen, och tvärtom. Man kan observera att då kondensatorn tas bort ur kretsen kan man säga att kretsens kapacitans är oändligt stor, eftersom $X_C = \frac{1}{2\pi f C} \to 0$, då $C \to \infty$. För toppvärden gäller $\hat{u} \sim \hat{\imath}$ och för effektivvärden $U \sim I \Rightarrow X_C = \frac{\hat{u}}{\hat{\imath}} = \frac{U}{I}$. Sambandet gäller inte för momentanvärden.

Ett fasdiagram över sambandet mellan spänningen och strömstyrkan visar att fasförskjutningen mellan spänning och strömstyrka är –90º. (Fasdiagrammet ser ut exakt på samma sätt som för en rent induktiv krets.) Effektöverföringarna från strömkälla ($p > 0$) till kondensator och från kondensator till strömkälla ($p < 0$), som sker varje kvartsperiod, studeras med hjälp av en härledd ekvation eller effektens tidsgraf (figur 11). I en rent kapacitiv krets är medeleffektutvecklingen noll. Växelströmskällans energi går till att bygga upp ett elektriskt fält i kondensatorn vid uppladdningen, men detta elfälts energi återförs tillbaka till strömkällan, då kondensatorn urladdas. Kondensatorn blir en ”aktiv” komponent i kretsen med avseende på energiöverföring.

Teorier. Coulombs lag ligger till grund för förklaringen av den elektriska fältstyrkan mellan kondensatorplattorna. Definitionen av den elektriska potentialen och spänningen med hjälp av det elektriska fältet samt kondensatorns kapacitans ger sambandet mellan storheterna laddning, spänning och kapacitans.



Figur 11. Momentaneffekten som funktion av tiden i en rent kapacitiv växelströmskrets.

RL-kretsen

(Alla tidigare behandlade fenomen, storheter, lagar och teorier upprepas inte i nedanstående avsnitt, utan endast några tilläggsfakta ges.)

Fenomen. En spole har i själva verket en liten resistans och man kan i realiteten aldrig tala om en rent induktiv krets. Denna resistans kan behandlas som om den vore seriekopplad med spolen i växelströmskretsen. Har man ytterligare en eller flera resistorer kopplade i serie med spolen och växelströmskällan kan man betrakta kretsen som en RL-krets som består av en resistor, en spole och en växelströmskälla.

Storheter. Storheten impedans är den sammanlagda motståndsverkan från resistansen och induktiva reaktansen.

Lagar. Momentanspänningar över komponenterna och de effektiva spänningar som kan mätas över respektive komponent måste behandlas på olika sätt. Momentanspänningar kan adderas (Kirchhoffs lag) för att ge totalspänningen $u = u_R + u_L$. Denna lag gäller inte effektivspänningar och toppspänningar som inte kan adderas på grund av fasförskjutning. De nämnda spänningarna fås genom sambanden $U_R = RI$, $U_L = X_L I$, $U = ZI$ respektive $\hat{u}_R = R\,\hat{\imath}$, $\hat{u}_L = X_L\,\hat{\imath}$, $\hat{u} = Z\,\hat{\imath}$. En ökning av R ger högre spänning över resistorn och lägre över spolen (och

tvärtom) och en ökning av L ger högre spänning över spolen och lägre över resistorn (och tvärtom).

Kretsens impedans fås av uttrycket $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$. Man kan konstatera att en ökning av resistansen, respektive induktansen ger en ökning av impedansen (och tvärtom). Fasförskjutningen i en RL-krets är positiv. En ökning av resistansen ger en minskning av fasförskjutningen (och tvärtom). En ökning av induktansen (dvs. X_L ökar) ger en ökning av fasförskjutningen (och tvärtom). Fasförskjutningen ”strävar” mot det värde (0º för resistorn och 90º för spolen) som är karakteristiskt för respektive komponent vid en ökning av den storhet som karakteriserar komponentens egenskaper att begränsa strömstyrkan (R respektive X_L). I en RL-krets kommer således fasförskjutningen mellan totalspänningen och strömstyrkan att ligga i intervallet]0º, 90º[. Däremot är fasförskjutningen mellan spänning (över respektive komponent) och strömstyrka 0º för resistorn och 90º för spolen.

RC-kretsen

Fenomen. En resistor kopplad i serie med en kondensator och en växelströmskälla bildar en RC-krets. En kondensator har i sig ingen resistans (ingår i ledningsmaterialet).

Storheter. Impedansen är den sammanlagda motståndsverkan från resistansen och kapacitiva reaktansen.

Lagar. Momentanspänningar och de effektiva spänningar som kan mätas över respektive komponent måste behandlas på olika sätt. Momentanspänningar kan adderas (Kirchhoffs lag) för att ge totalspänningen $u = u_R + u_C$. Denna lag gäller inte effektivspänningar. Dessa och exempelvis toppspänningar kan inte adderas på grund av fasförskjutning. De nämnda spänningarna fås genom sambanden $U_R = RI$, $U_C = X_C I$, $U = ZI$ respektive $\hat{u}_R = R\,\hat{\imath}$, $\hat{u}_C = X_C\,\hat{\imath}$, $\hat{u} = Z\,\hat{\imath}$.

En ökning av R ger högre spänning över resistorn och lägre över kondensatorn (och tvärtom) medan en *ökning* av C ger *lägre* spänning över kondensatorn och högre över resistorn (och tvärtom).

Kretsens impedans fås av uttrycket $Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$. Man kan konstatera att en ökning av resistansen ger en ökning av impedansen, medan en ökning av kapacitansen ger en minskning av impedansen (och tvärtom). Fasförskjutningen i en RC-krets är negativ. En ökning av resistansen ger en fasförskjutning som går mot noll (och tvärtom). En *minskning* av kapacitansen (dvs. X_C *ökar*) ger en fasförskjutning som går mot –90º (och tvärtom). Fasförskjutningen strävar mot det värde (0º för resistorn och –90º för kondensatorn) som är karakteristiskt för respektive komponent då resistansen ökas och kapacitansen minskas. I en RC-

krets kommer således fasförskjutningen mellan totalspänningen och strömstyrkan att ligga i intervallet]–90º, 0º[. Däremot är fasförskjutningen mellan spänning (över respektive komponent) och strömstyrka 0º för resistorn och –90º för kondensatorn.

RLC-kretsen

Fenomen. En seriekoppling av en resistor, en spole och en kondensator till en växelströmskälla bildar en RLC-krets. Dess funktion kompliceras genom de ingående komponenternas olika egenskaper.

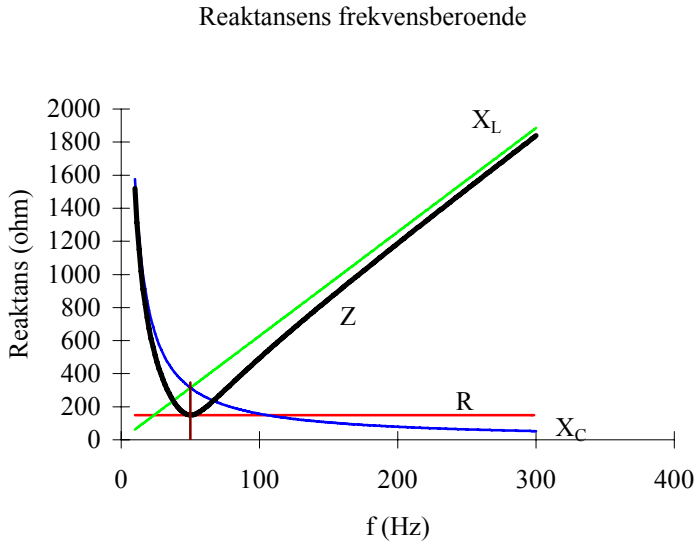
Lagar. Resonemanget ovan angående spänningar kan generaliseras för RLC-kretsen. Kretsens impedans fås av uttrycket $Z = \sqrt{R^2 + \left(X_\mathrm{L} - X_\mathrm{C}\right)^2}$. En ökning av R ger en ökning av Z (och tvärtom). Däremot kommer riktningen på förändringen av Z att vara beroende av induktiva och kapacitiva reaktansernas inbördes storlek. Exempelvis åstadkommer en ökning av X_L en ökning av Z om $X_\mathrm{L} > \mathrm{X_C}$ och en minskning om $X_\mathrm{L} < X_\mathrm{C}$. Fasförskjutningen kan beräknas ur uttrycket $\tan\varphi = \dfrac{X_\mathrm{L} - X_\mathrm{C}}{R}$. Genom att variera storheterna resistans, induktans och kapacitans kan man komma fram till följande fakta om fasförskjutning:
– en ökning av R resulterar i en fasförskjutning som går mot noll
– en ökning av L (X_L ökar) resulterar i en ökande fasförskjutning
– en minskning av C (X_C ökar) resulterar i en minskande fasförskjutning
(Observera att fasförskjutningens tecken är beaktat i resonemanget. Exempelvis är en fasförskjutning från –10° till –5° en ökning av fasförskjutningen i matematisk bemärkelse.)
– om $X_\mathrm{L} > X_\mathrm{C}$ är fasförskjutningen positiv
– om $X_\mathrm{L} < X_\mathrm{C}$ är fasförskjutningen negativ
– av ovanstående framgår att fasförskjutningen är noll om $X_\mathrm{L} = X_\mathrm{C}$. Några iakttagelser som gäller detta villkor för serieresonans är följande (figur 12 och 13):
* impedansen Z har ett minimum, dvs. $Z = R$
* strömstyrkan har ett maximum
* serieresonansfrekvensen är oberoende av resistansen

3.2.4 Konklusion

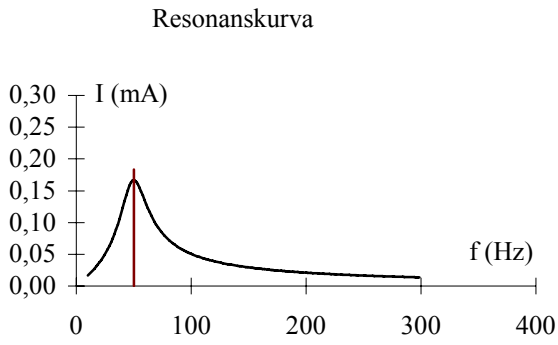
Begreppshantering

Man kan för det första konstatera att begreppen i läroböckerna presenteras i tur och ordning i den traditionella undervisningen. För det andra ligger tonvikten på den matematiska behandlingen av de fysikaliska begreppen och fenomenen i växelströmsläran. En genuin förståelse av den fysikaliska situationen krävs inte (Greca & Moreira, 1997, s. 723); det är fysikelevernas matematiska färdigheter som utvärderas i de problem som föreslås. ”We have perhaps sometimes

'sacrificed the understanding on the altar of calculations'" (Ölme, 2000, s. 196; jfr också Tobin, Espinet, Byrd & Adams, 1988, s. 442). I den traditionella undervisningen är det sällan som läraren ställer den typ av frågor som förstärker begreppsförståelsen. Ofta sker det under förhållanden där rätt svar inte kräver verkligt tänkande (McDermott, 1991, s. 312). Skolan har kritiserats för ytlighet i fråga om kunskapsuppfattning enligt Voutilainen, Mehtäläinen och Niiniluoto (1989, s. 19–20). Denna ytlighet kännetecknas av passivitet, oföränderlighet, begreppslig obestämdhet och brist på kritik. Man begränsar sig till minneskunskap av enskilda fakta, formler och regler.



Figur 12. Sambandet mellan reaktanserna, impedansen och frekvensen i en seriekopplad RLC-krets. Kretsens resonansfrekvens är 50 Hz och markeras med en lodrät linje.



Figur 13. Strömstyrkans effektivvärde som funktion av frekvensen i en RLC-krets. Kretsens resonansfrekvens är 50 Hz och markeras med en lodrät linje.

Utvecklandet av elevernas eget tänkande befrämjas inte utan ren kunskapsförmedling står i förgrunden. I undervisningen fäster man uppmärksamhet vid lösryckta, oförändrade fakta som lärs in mekaniskt och på begrepp som saknar relevans i verkligheten. Man fordrar inte att eleverna motiverar eller att de värderar kunskapens tillförlitlighet. Det uppstår därför brister i elevernas begreppsuppfattning. En bristfällig analys av begrepp och deras egenskaper skapar en dunkel begreppsförståelse. De abstrakta begreppen återförs inte till en konkret och åskådlig grund och eleverna förstår inte alltid att sådana begrepp är bildade av andra begrepp. Detta leder till en obestämd verbalism, som innebär att eleverna ledigt använder termer, vars betydelse de emellertid i verkligheten knappt förstår. Det uppstår en klyfta mellan lärarens och elevernas föreställning om begreppet (se också Hicks & Laue, 1989; Reif, 1987). Elevernas vardagserfarenheter och speciella uttryckssätt i umgänget med varandra skapar också föreställningar som inte överensstämmer med de vetenskapliga (Heuer, 1996, s. 4). Särskilt inom mekaniken, dynamiken och elektricitetsläran har sådana vardagsföreställningar undersökts. I de fall att det uppstår en konflikt mellan de föreställningar som verkar vara förnuftiga och de som är vedertagna tenderar elever att okritiskt acceptera ”auktoritetens röst”, som i skolvärlden representeras av läraren. Denna tendens står inte i samklang med att eleverna ska vara delaktiga i undervisningsaktiviteter och gör det omöjligt för dem att utveckla en fysikförståelse som är relationell och omgestaltande (*transformational*) (Tobin, McRobbie & Anderson, 1997, s. 505).

Innehållet i undervisningen består inte sällan av en statisk och objektiv information, som eleverna ska plugga in och vid behov plocka fram för att förklara fenomen då tillfälle ges. Den statiska kunskapen har fått ett ”instrumentellt värde” (Haapasalo, 1996, s. 100) och eleverna har sällan möjlighet att förstå eller uppleva att kunskap har uppstått till följd av en problemlösningsprocess. Kunskapen borde ses mer som en dynamisk process på det sätt som expertens kunskap uppstår. Enligt Elby (1999, s. 56) anser elever att djup förståelse inte är tillräcklig och i varje fall inte nödvändig. Det beror dels på att elever har en naiv uppfattning om vad det betyder att förstå fysik, dels att det är två skilda aktiviteter, att förstå och att få goda vitsord. Eleverna sätter tid på att koncentrera sig på formler och problem i övningsexempel på bekostnad av fysikaliska begrepp och exempel ur verkligheten.

De grafer som förekommer i läroboken ger (av naturliga skäl) en statisk representation av fysikaliska situationer. Läroboken ger dessutom få indikationer på kvalitativt resonemang. Elevernas kvalitativa förståelse av de fysikaliska begreppen och fenomenen torde kunna befrämjas och befästas dels genom resonemang, dels genom att dynamiskt kunna studera händelseförlopp. Färdiga svar kunde bytas ut mot sökandet av svar genom kvalitativt resonemang kring förlopp som kunde representeras på flera olika sätt, både statiskt och dynamiskt. Gestaltningen av den seriekopplade växelströmskretsen ovan har genomförts

genom en dynamisk inre representation av statiska representationer såsom ekvationer och grafer.

Förändringsbehov

Ett ökat kvalitativt resonemang bland eleverna kräver att man minskar på lärarframställd undervisning och ökar elevsamtalen. Proportionen av helklassundervisning minskas till förmån för smågruppsundervisning och individuell handledning. Lärar- och elevrollerna förändras. En följd av detta kan vara att lärarens fokusering på en målgrupp av ”starka” elever avtar. En omformning av skol- och klassrumspraxis och strukturer, vilket stämmer överens med vad man vet om elever och lärande, kan enligt McCombs (1997, s. 8) också leda till resultat som utsträcker sig till förstärkt elevvärdering av undervisning och lärande och minskad känsla av likgiltighet, leda och frustration för eleverna. McCombs citerar rapporter från forskarna Poplin och Weeres, som har kommit fram till att eleverna vill ha en skola där man bland annat tar fram aktiviteter som är relevanta och roliga och framkallar upplevelser av lärande och som erbjuder val och kräver aktivitet (s. 9).

I en fallstudie redogör Hanrahan (1998) för faktorer i lärandemiljön och den effekt dessa faktorer kan ha på elevers motivation och lärande. Aktiviteter som följer konstruktivistiska idéer kan lyckas endast om de tillämpas på rätt sätt. Konstruktivismen betonar betydelsen av tidigare lärande, ökad elevkontroll och reflektion och social konstruktion av innebörd. Undervisningen måste sträva efter att kontinuerligt relatera tidigare undervisade begrepp och fenomen till de nya situationerna. I de tidigare presenterade läromedlen i växelströmsläran sker exempelvis återkoppling till induktionsfenomenet, självinduktion och Lenz’ lag mycket sporadiskt. Denna koppling kan lyftas fram av läraren i en mer lärarledd undervisningsmiljö, medan den lätt kan förbises i en mer elevkontrollerad lärandemiljö.

En sociologisk aspekt på lärandemiljön är att poängtera betydelsen av att höra till en gemenskap som inte bara värdesätter själva målet utan också framåtskridandet mot målet. Gemenskapen tillhandahåller modeller och strategier som stöder framstegen mot en självständig, självreglerande handling (Hanrahan, 1998, s. 750). Arbete i smågrupper kräver noggrann planering. För att hos eleverna åstadkomma en begreppsmässig förändring genom att relatera ny kunskap till tidigare kunskap krävs att uppgifterna ska ha en lämplig nivå och att stödet från läraren gradvis dras bort då eleverna blir mer självständiga. Läraren måste använda strukturer och procedurer som hjälper gruppen att lägga band på det naturliga mönstret av elevrelationer, som bland annat yttrar sig i form av diskussioner som ligger utanför uppgiften eller som innebär att ge ett färdigt svar på uppgiften (Hanrahan, 1998).

De fenomen som är relaterade till växelströmmar kan inte studeras direkt. Det behövs mätinstrument som registrerar händelseförloppet i växelströmskretsar. Sådana centrala instrument är ampere- och voltmetrar, som ger numerisk information, och oscilloskop, som ger grafisk information. Det finns två problem som sammanhänger med undervisningen i fysik i allmänhet. Utrustningen räcker ofta inte till (se rapport av Purhonen och Parviainen, 1996) för att kunna genomföra undervisning i smågrupper, exempelvis laboration av ett och samma fenomen. Läraren är således hänvisad till demonstration. Det andra problemet har att göra med elevernas tillgång till laboratorieutrymmen och -material. Konsekvensen av detta är att eleverna inte hinner studera fenomenet under en tillräckligt lång tid eller kan fördjupa sig i eller reflektera över vad som egentligen har hänt. Eleverna kan därför inte i egen takt fördjupa sig i de fysikaliska fenomen, som de har för avsikt att förstå.

Reif (1987) anser att elever som vill använda kunskap flexibelt måste bli aktivt engagerade i processen att konstruera sin egen kunskap. Det är inte enbart genom att läsa i böcker och lyssna på lektioner som man lär sig tolka och använda vetenskapliga begrepp. Elevens ofta passiva roll i lärandesituationer måste förändras till en aktivare roll där datorn, parallellt med en väldesignad undervisning, kan komma till sin rätt.

> Individualized tutorial instruction is required for the effective teaching of details … since (a) subtleties tend to get lost in a large lecture theatre; (b) students need to act upon the information given to them at their own pace; and (c) students need individual feedback to their thinking (Hicks & Laue, 1989, p. 807).

3.3 Datorbaserade verktyg

Det finns idag en stor mängd datorbaserade verktyg av varierande slag lämpliga för skolundervisningen (se t.ex. Bransford, Brown & Cocking, 1999). Verktygen kan grupperas på en mångfald olika sätt beroende på verktygens konstruktion, användningsändamål och andra kriterier. I denna studie har jag valt att kort presentera fyra kategorier av datorimplementering i fysikundervisningen enligt Heuer (1996, s. 4):

- Den första kategorin avser att man genomför datorstödda fysikaliska experiment, i vilka mätdatainsamlingen sker med sensorer. Aktörer kan eventuellt ingripa i eller styra experimentet. En enkel mätdatabearbetning med en tillhörande grafisk representation av försöksuppgifterna genomförs.

- Modellbildning av fysikaliska förlopp innebär att användaren kan programmera datorn att iterativt och i små steg beräkna och representera förändringar i ett system. Användaren ställer upp differensekvationer och arbetar från dessa ekvationer som om de vore uppställda vid en analytisk

lösning. Alternativt kan en grafikeditor utnyttjas för att designa modellen som på dataskärmen visualiserar såväl relationsstrukturen som storhetsvariablerna genom en ikonisk representation. Differensekvationer genereras automatiskt (Näsäkkälä, 1999).

- Den tredje formen av datorimplementering avser simulering av fysikaliska processer, i vilka förloppen beräknas och representeras med en intern modell, vars formella struktur användaren emellertid inte har tillgång till. Då sådana program inte är öppna för användaren kan man också behandla mycket komplexa situationer. Möjligheter till ingrepp begränsar sig i allmänhet till val av begynnelsevillkor och igångsättning av planerade aktioner, som redan är fast inplanerade i programmet.

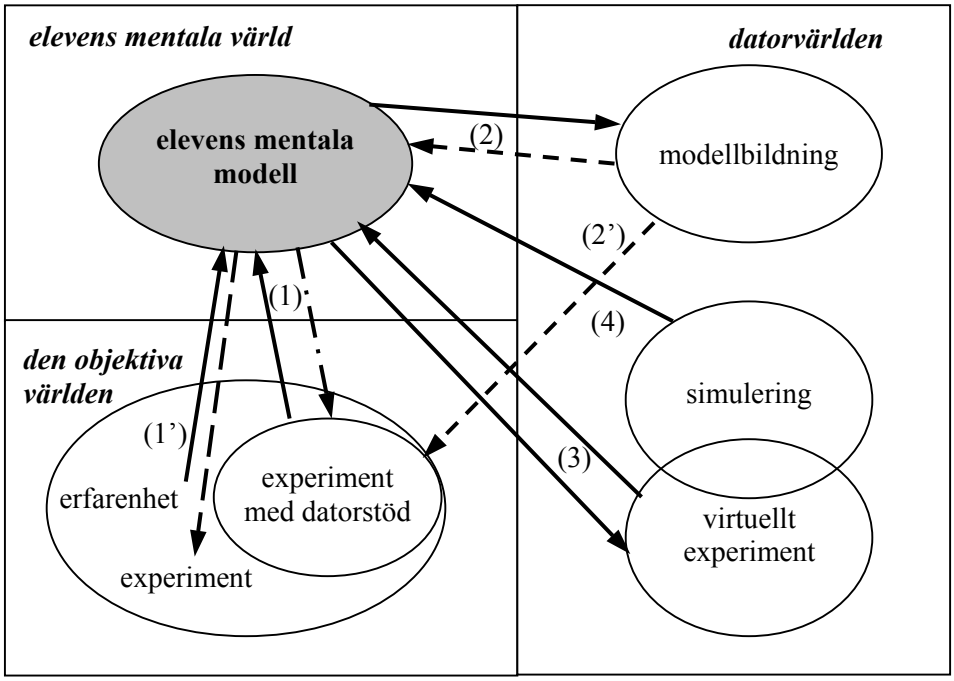
- I ett virtuellt experiment skapas en tvådimensionell värld av standardobjekt på bildskärmen. Arten av utformning, som är fritt valbar, bestämmer de fysikaliska lagar som kommer till användning. Med hjälp av sådana verktygsboxar kan processer sedan framställas i olika representationer.

Heuer (1996, s. 11) menar att ”fysikundervisningens mål är att eleven utvecklar en mental modell, med vilken han rimligen kan begripa, beskriva och tolka fysikaliska processer. Bas för uppbyggandet av denna mentala modell är generella föreställningar och erfarenheter, men också målmedvetet utförda experiment”. I figur 14 illustreras relationerna mellan elevens mentala värld och verkligheten respektive datorvärlden. Exempelvis framställer dubbelpilen (1') relationen mellan verkligheten, elevens mentala modell och det fysikaliska experimentet. I figuren är också de ovan presenterade datorverktygen inplacerade, likaså deras relationer till elevens mentala modell.

I de följande avsnitten behandlas de nämnda kategorierna av datorbaserade verktyg, deras didaktiska potential och de föreställningar och den information som påverkar eleverna genom datorimplementeringarnas design. Några exempel på tillämpningsprogram nämns; en lista kan dock aldrig göras heltäckande och rättvis och skulle föra för långt i detta sammanhang. Syftet med denna studie är inte att göra en extensiv jämförelse mellan olika kommersiella, namngivna verktyg utan endast att åstadkomma en klassificering av några olika grundtyper av datorbaserade verktyg.

Den didaktiska potentialen för de fyra implementeringsområdena beaktar följande kognitiva representationer (Heuer, 1996, s. 4–5). För det första handlar det om att begripa och bearbeta information på ett kvalitativt sätt. Genom att eleverna själva agerar, medan datorn förmedlar fysikaliska förlopp på ett åskådligt sätt, får eleverna erfarenheter som i första hand leder till kvalitativa föreställningar om förloppen. Föreställningarna leder sedan till grundläggande strukturerande begrepp om och utsagor kring faktaområdet. För det andra handlar det om att eleven kan förvärva en kvantitativ förståelse och få tillgång

till funktionella samband mellan fysikaliska storheter inom ett temaområde. Eleven lär sig att känna igen och använda fysikaliska lagar och definitioner. Den tredje aspekten handlar om att det kvalitativa och kvantitativa tillvägagångssättet kombineras (se även diSessa, 1987). Eleven förenar därigenom fysikaliska samband och lagar till en struktur där lagarna är giltiga.



Figur 14. En framställning av de fyra presenterade formerna av datorstöd med relationspilar till verkligheten och till elevens mentala modell (efter Heuer, 1996, s. 10).

3.3.1 Datorstödda experiment

Enligt Heuer (1996, s. 11) kan datorstödda experiment aktualisera grundläggande strukturella utsagor. Dubbelpilen (1), figur 14, mellan datorstödda experiment och mental modell är avsedd att tydliggöra att uppbyggnaden och utökningen av den mentala modellen äger rum genom växelverkan med experimenten. Heuer (1996, s. 5) menar att experiment med datorstöd motsvarar den metodiska grundintentionen i fysikundervisningen, nämligen att sluta sig till nya utsagor som grundar sig på föreställningar förvärvade genom experiment och att pröva och testa utsagorna.

Försöksförloppet, exempelvis likformigt accelererad rörelse på en luftkuddebana, registreras med en sensor och bearbetas i datorn. Eleven väljer grafframställning så att motsvarande funktionella beroende av fysikaliska storheter

kan göras tillgängligt. Eleven får därigenom möjlighet att sätta de identifierade försöksresultaten i relation till redan bildade föreställningar och erfarenheter och att kontrollera dessa med förändrade och utökade försök. I undervisningen verkar det som om sådana möjligheter till utökning och förändring används alltför lite, enligt Heuer (1996, s. 5). Redan att förutsäga t.ex. grafen $a(t)$ ur den givna grafen $v(t)$ är ett enkelt exempel på sådana återkopplingsprocesser, som ger möjlighet att få bekräftelse, att kontrollera eller att överväga utan att man behöver ta till upprepade experiment. Elever som är ovana med att avläsa grafer har svårigheter att hämta information som inte presenteras explicit. För att visa hastighetens belopp erbjuder t.ex. ett visarinstrument eller en vektor en direkt visuell framställning av rörelseriktningen i stället för att informationen hämtas ur grafen. Detta förutsätter att datorprogrammet kan animera själva försöksförloppet.

Genom försök av ovanstående slag står kvalitativa utsagor i förgrunden, såsom i exemplet ovan den likformiga tillväxten av hastighetsutslaget respektive längden av hastighetsvektorn. Ändringen av hastigheten och dess samband med luftkuddebanans lutning kan urskiljas. På det sättet kan väsentliga strukturella element i ett temaområde göras tydliga för eleven. Kvalitativa föreställningar om strukturelement kan sedan vara till avgörande hjälp eller rentav vara en förutsättning för att kunna begripa och rätt tyda funktionella beroenden i allmänhet (här kan det gälla t.ex. sambandet mellan hastighet och acceleration vid studs mot ändan av banan). Det är därför viktigt att förändra frågorna enligt försökssituationen (Heuer, 1996, s. 6).

Typisk programvara till datorstödda experiment är utformad så att normala försökssituationer lätt kan förstås och att de direkt inbegripna storheterna kan framställas. I äldre programvara kan de uppmätta storheterna inte framställas under programmets gång utan först efteråt genom tabellkalkylering. Ett sådant händelseförlopp har tydliga nackdelar, även då användaren medvetet kan tänka sig in i de klassiska delmomenten vid kvantitativa experiment: mätning, analys och grafisk framställning. Då flera försöksvarianter genomförs kan det vara störande att inte kunna hoppa över de nödvändiga mellanstegen. Det är en olägenhet att eleverna parallellt med försöket inte kan följa med hur storheterna utvecklar sig, i synnerhet när de ingriper i systemet under förloppet, eftersom storheterna kan framställas först efter själva försöksförloppet. De presenterade framställningarna uppträder efteråt omedelbart som bild och återges inte längre som tidsförlopp (Heuer, 1996, s. 6).

En hämmande effekt på lärande i samband med en sådan fördröjd grafisk representation undersöktes av Brasell (1987, s. 393–394) vid MBL[2]-experiment. Hon drog den slutsatsen att uppgiften att minnas vad som hände under experimentet och länka det till den fördröjda grafrepresentationen översteg

[2] MBL = Microcomputer-Based Laboratory

elevernas minneskapacitet och krävde mer ansträngning av eleverna. Dessutom visste eleverna inte hur de skulle hålla kvar informationen om händelsen tills grafen visades. Under tiden mellan den fysikaliska händelsen och den grafiska representationen gjorde eleverna ingenting annat än väntade. De saknade en lämplig teknik att referera till tidigare händelser och erfarenheter, likaså att göra kopplingar mellan den fysikaliska händelsen och datavisningen. Dessa elever var mindre motiverade, mindre aktivt engagerade, mindre villiga att experimentera och mer inbegripna i procedurfrågor än i begreppsfrågor. Eleverna kände sig mindre självständiga och hade mindre kontroll över aktiviteterna än de elever som deltog i experiment med grafisk representation i realtid. I realtidsgruppen var eleverna mer motiverade och graferna föreföll vara mer tillgängliga, hanterbara och konkreta.

Datorstödda experiment anses emellertid vara pedagogiskt lovande för lärande av begrepp och färdigheter i grafhantering genom att elevernas förmåga att översätta från verbal till grafisk beskrivning av fysikaliska händelser avsevärt förbättras.

> Using MBL, in contrast to traditional laboratory techniques, reduces the memory load required for understanding the relationship between the experiment and the graph. It also provides a dynamic representation of a complex relationship. Thus, students understand the graphic representation of data by linking the graph to the physical phenomena (Friedler, Nachmias & Linn, 1990, p. 176).

I moderna programsystem i Windows kan användaren mycket friare välja de fysikaliska storheter som han vill beräkna ur mätstorheterna parallellt med experimentet. Han kan delvis själv definiera och också bestämma vilka storheter han vill välja för en grafisk framställning. Å andra sidan är sådana program inte så öppna att användaren fritt kan gestalta sina centrala utsagor i fysiken. En annan begränsning ligger i det att anslutningsmöjligheterna för sensorer inte är tillräckliga. Sådana inskränkningar kan begränsa gestaltningen och genomförandet av datorstödda försök. Hittills har det visat sig att standardmöjligheterna utnyttjas litet och begränsningarna blir föga kända. För eleven är det viktigt att bilda, pröva och eventuellt korrigera sina föreställningar om fysikaliska förlopp på reella försöksförlopp. De bildade mentala modellerna kan lätt sakna anknytning till verkligheten. Då är faran stor att eleven inte kan åtskilja den reella och virtuella världen, där övergången på dataskärmen kan vara ganska flytande (Heuer, 1996, s. 6).

3.3.2 Modellbildning

Införandet av datorn i undervisningen öppnar en ny väg för modellbildning av ett händelseförlopp. Den grundläggande lösningen av ett problem, nämligen att skriva upp en algoritm, separeras från räknearbetet som datorn automatiskt utför. Därmed är den mentala modellen inbegripen i en ny återverkanskrets (dubbelpil

2), där den hittills bildade mentala modellen kan testas och korrigeras (Heuer, 1996, s. 11). Försöket blir ännu effektivare om datorstödda experiment kan tas in (pilarna (2') och (1)), så att man kan göra jämförelser mellan verkligheten och modellen.

Att bilda en modell av uppgiften består i att klarlägga den inre strukturen av det betraktade systemet. Heuer (1996) analyserar tre betydande fördelar för elever då de ställer upp modeller (jfr Schecker, 1993):

- Durch die iterative Berechnung der Veränderungen sind sie als Modell-"Konstrukteure" stark involviert, ihre physikalischen Vorstellungen über grundlegende Zusammenhänge und Definitionen zu aktivieren und schrittweise zu einer Wirkungsabfolge zusammenzufügen. Wenn hingegen eine Gleichung aufzustellen wäre, die inhaltlich viel kompakter ist, – im allgemeinen eine Differentialgleichung – ist die Versuchung groß, einfach deklaratives Formelwissen zusammenzubinden, ohne sich die damit verbundenen physikalischen Vorgänge in ihrem Zusammenwirken zu vergegenwärtigen.
- Ein Ansatz kann mit einem Programmlauf sofort erprobt werden. Das ist eine grundlegend neue Lernsituation beim Erproben eigener Ideen: Der Lernende erhält mit dem Programmlauf sofort eine Rückmeldung, die ihn entweder bestätigt, wenn das erhaltene Ergebnis seinen Erwartungen entspricht, oder herausfordert, darüber nachzudenken, warum ihn seine Vorstellungen zu einer anderen Vorhersage geführt haben. Bei einem Vorgehen ohne Rechner wäre eine "geschlossene" analytische Lösung zu suchen. Das stellt aber eine eigenständige, neue Problemsituation dar, die außerdem für die Schüler nur in Ausnahmefällen lösbar ist.
- Modellierungen sind nicht auf idealisierte Systeme beschränkt. Es kann sehr einfach zu realistischen Systemen übergegangen werden, z.B. zu Systemen mit Reibung. Stellt man diese Lernsituation wiederum schematisch durch Realität und Rechner auf der einen Seite und Subjekt bzw. Benutzer auf der anderen Seite dar, ... so ist der Vorgang der Modellierung die Beschreibung eines Vorgangs – im allgemeinen aus der Realität – durch physikalische Gesetze, deren Ergebnis der Rechner im allg. in Graphen ausgibt ... (s. 7).

De viktigaste förutsättningarna för att kunna ställa upp en modell är att man analyserar händelseförloppet och har kännedom om lagar som är inbegripna i förloppet. Syntesen av de element som leder till de uppställda algoritmerna utgör då modellbildningen. Algoritmerna beskriver sedan händelseförloppet. En grafisk design av verkningssambanden underlättar analysen av dem. De kvalitativa föreställningarna om sambanden aktiveras i ett första skede och de kvantitativa sambanden specificeras senare genom formler. Datorns betydelse som verktyg accentueras. "Då utkastet till en sådan verkningsstruktur tas fram, inte med papper och penna, utan med en lämplig mjukvara, kan inte bara frågan om kvantifierings- och utgångsvillkoren automatiseras, också steget av syntes till en av datorn utarbetad algoritm kan för användaren långtgående minskas. Därigenom kan de fysikaliska sammanhangen träda ännu starkare i förgrunden för användaren" (Heuer, 1996, s. 7).

Eleverna har visserligen begynnelsesvårigheter att använda korrekta storheter, som beskriver tillstånd och förändringar. Näsäkkälä (1999, s. 52) ser ett problem i elevernas förståelse av metaforer som ”förråd” och ”flöde”, vilket kommer till uttryck speciellt i fråga om storheter såsom hastighet och mängd. Yngre elever har svårt att se skillnaden mellan de två slagen av variabler, förråd och flöde, som är aktuella i en modellbildningskontext. Följden blir att eleverna gör modellerna alldeles för komplexa genom att ta med alltför många växelverkande variabler.

Ett viktigt steg i bildandet av en meningsfull modell är att bestämma ändamålet med den. Gränserna för modellen kommer då klarare fram och det är lättare att definiera de ingående komponenterna och vilken variabeltyp var och en tillhör. Vid modellbildningen föredrar en del personer att använda ”förråd/flöde-diagram” (*stock/flow diagram*) medan andra ser fördelar med en kausalslinga (*causal-loop diagram*), som enligt Näsäkkälä är lättare att konstruera och gör det enklare att förstå det modellerade systemets grundmekanism.

Efter genomförd modellbildning ligger det nära till hands att man måste fråga sig huruvida modellbildningens resultat motsvarar verkligheten. De tillgängliga modellbildningssystemen ger här inga egentliga svar. Det finns varierande metoder för en sådan jämförelse. Man kan byta till program för datorstödda experiment och antingen helt enkelt jämföra de uppkomna graferna i följd på dataskärmen eller exportera mät- och modelldata och framställa båda i grafik. Det finns dock applikationer där båda processerna, mätning och modellbildning, samtidigt kan upptas i realtid genom att båda körs i samma systemmjukvara. Denna jämförelse är synnerligen intressant i sådana fall då man under försöks-förloppet ingriper i systemet. Sedan kan man i realtid följa i vilken mån utveck-lingen av modellen överensstämmer med det reella förloppet (Heuer, 1996, s. 8).

Kalkylprogram, t.ex. Excel, är ett lämpligt verktyg för modellbildning. Cellerna på kalkylbladet kan innehålla konstanta värden eller uttryck, som beräknar värden tagna från andra celler. Ett värde och/eller en beräkning kan associeras med varje cell i ett kalkylblad. För att skapa en modell kan man definiera samma uttryck i successiva celler under varandra. Vid körning av modellen utför kalkylprogrammet iterativa beräkningar grundade på värden från cellen ovanför. Data från två eller flera kolumner kan också åskådliggöras grafiskt, så att den ena kolumnen motsvarar den oberoende variabeln och den andra kolumnen den beroende variabeln. Flera kolumner kan vara beroende variabler. Genom att på detta sätt mata in en serie differensekvationer kan man grafiskt lösa problem utan att ha kunskap om hur man löser differentialekvationer. Kalkylprogrammet fungerar som ett neutralt gränssnitt mellan användaren och datorn med avseende på den modell som ska byggas upp. Det ligger således på användarens ansvar att bygga upp den serie av ekvationer som är nödvändiga för att lösa problemet.

Näsäkkälä (1999, s. 51) föredrar modelleringsprogram som uppfyller kriterier för en framgångsrik modellbildningsmiljö:

- Modellbildningsmiljön bör tillåta elever att starta med ganska oklara idéer genom att skissera upp problemet som ska modelleras.
- De metaforer som tillhandahålls borde kartlägga elevernas egna uppfattningar av en situation.
- Schematiska översikter av modellstrukturen och -funktionen borde, var helst det är möjligt, tillhandahålla hjälp för modellkonstruktion.
- Mjukvaran borde vara lätt att sätta i gång med, så att elever och lärare med endast minimal datorvana kan försöka genomföra övningar.

Näsäkkälä (1999) tar fram möjligheterna som modellbildning med dator har i den praktiska kemiundervisningen. Resonemanget är i högsta grad också applicerbart på fysikundervisningen:

> Simulation models of a scientific phenomenon can produce data which can lead students further to discover patterns from a data set and to draw conclusions in exactly the same way as with the results of a real experimental data set. The use of simulation models allows ease of control over variables, which traditional practical work does not. This may lead to unguided discovery by students who are encouraged to explore and hypothesize for themselves. Encouraging them to create, use and test their own models has significant educational value, especially if modelling tools are used which leave the students free to devise, explore, and test the model. In short, the simulation models can develop the "what-happens-if" approach, which is the essence of science (s. 214–215).

I sin analys av modellbildningsprocesserna i kemiundervisningen framhåller Näsäkkälä (1999, s. 224) att läraren i egenskap av källa till kunskap och centrum för aktivitet ersätts av en dialog mellan eleven och läraren. Nya idéer och kreativitet föds i denna dialog och både elever och lärare lär sig respektera olikheter lika väl som att sträva till samarbete, ställa frågor, utforska och uppfinna.

3.3.3 Simuleringsprogram

Simulera betyder enligt Bonniers svenska ordbok (1994) att efterlikna (ett förlopp) eller att låtsas. Betydelserna antyder simuleringens karakteristiska drag: att simulera är att efterlikna något. En blivande pilot kan träna sina färdigheter i en flygsimulator, som så realistiskt som möjligt ska efterlikna en verklig flygsituation. En designer kan utveckla en personbilskaross genom att studera modellers aerodynamiska egenskaper i en vindtunnel. Ekonomiska, sociala eller biologiska system kan simuleras med hjälp av datormodeller.

En simulator eller ett simuleringsprogram kan aldrig ersätta verkligheten men gör det möjligt att närma sig verkligheten fysiskt på ett tryggt sätt, ekonomiskt på ett billigt sätt och organisatoriskt eventuellt på ett enklare sätt. En simulering

omfattar i allmänhet någon slags modell eller förenklad representation, som under simuleringsprocessen efterliknar viktiga element av det som ska simuleras (Roberts, Andersen, Deal, Garet & Shaffer, 1983). En simulering kan vara en fysikalisk eller en matematisk modell, en datormodell eller en mental föreställning. I vid bemärkelse kan man dela in datorsimuleringar i en typ som baserar sig på konceptuella modeller och en som baserar sig på operationella modeller (de Jong & van Joolingen, 1998, s. 180). De modeller som är aktuella i fysikundervisningen hör till kategorin konceptuella.

I fysikundervisningen är simulering en av de äldsta och hittills kanske också en av de mest spridda formerna av datorinsats. Simulering, som utgör en mycket vanlig form av naturvetenskaplig programvara, baseras på fasta matematiska modeller, som utvecklats genom att använda begrepp från väl genomtänkt vetenskap. Programvaran är vanligen designad på ett sådant sätt så att dessa modeller göms för eleverna. Emedan modellerna är fasta, finns det inte någon möjlighet för eleverna att ändra modellen så att den motsvarar de begrepp som de använder. De erfarenheter eleverna har när de använder en simulering begränsas av lärokursutvecklarens design av programvara – en situation som begränsar programvarans empiriska roll (Squires, 1987, s. 240).

Ett bidrag till det ökade intresset för simuleringar i undervisningen är datorteknologins växande kapacitet och flexibilitet. Utvecklingen sammanfaller med de aktuella perspektiven på effektiv undervisning, där meningsfullt lärande beror på konstruktionen av elevens kunskap (Gredler, 1996). Simuleringar kan berika fysikundervisningen genom representationsformer, som annars inte står till förfogande och genom möjligheten att kunna handskas interaktivt med programvaran (Heuer, 1996, s. 11). Pilen (4), som löper i *en* riktning antyder visserligen att insamling av information står i förgrunden för eleven (se figur 14). Hittills finns det emellertid rätt begränsade möjligheter att inverka på simuleringar och att förändra dem så, att man kan komma till en respons såsom i de övriga formerna av datorstöd (1, 2 och 3) och därmed till en konstruktiv fysikförståelse. Genom implementering av simuleringar blir de nya didaktiska möjligheterna, i synnerhet prövandet av den egna mentala modellen, minst tillgänglig i jämförelse med de andra framställda formerna av datorinsats. Å andra sidan framstår datorstödda experiment, modellbildning och virtuella experiment som en vida större utmaning för läraren med den konsekvensen att de kanske inte utnyttjas.

Heuer (1996, s. 8–9) lyfter fram egenskaper som karakteriserar simuleringsverktyg:

- Användaren fungerar inte som programmerare, vilket är fallet vid modellbildning.
- Användaren kan göra utsagor om fysikaliska fakta i olika former, allt från filmliknande framställningar av bildrepresentationer till grafer, utan att han behöver ha förkunskaper.

- Informationsflödet sker primärt från simuleringsprogrammet till användaren utan att användaren behöver vara aktiv.
- Påståendekunskap om makroskopiska processer eller mikroskopiska modeller förmedlas.
- Användaren kan välja andra parametrar inom en snäv ram och påverka förloppet för få ut ytterligare information.
- Vid arbete med simuleringsprogram har de uppbyggda mentala modellerna inte direkt kontakt med verkligheten.
- Simuleringsprogram kan också understöda aktiv bearbetning genom att användaren kan välja olika grafiska framställningar, där man kan bilda nya variabler ur de redan bestämda.
- Implementering av simuleringsprogram motsvarar grundansatsen för informerande och presenterande undervisning.
- Man kan endast komma fram till ytliga egenskaper hos det framställda systemet på empirisk väg.
- Nya lärandemöjligheter jämfört med traditionell undervisning uppkommer genom att
  - dynamisk visualisering av fakta kan demonstrera och lyfta fram strukturella sammanhang genom val av lämpliga representationsformer.
  - fakta kan fördjupas genom interaktivt arbete med mjukvaran och uppdykande frågor kan eventuellt klargöras, om programmet tillåter det.
  - en individualisering av lärandeprocessen i smågrupper eller enskilt arbete erbjuds.
- Didaktisk målsättning baserad på simuleringsprogram är berättigad
  - om man inte har möjlighet att tydligt kunna demonstrera ett systems egenskaper i verkligheten till en försvarbar kostnad.
  - om man inte kan göra ett systems inre struktur tillgängligt på ett induktivt sätt på grund av dess komplexitet.

Gredler (1996) gör en indelning av undervisningssimuleringar i två huvudsakliga typer, empiriska (*experiential*) och symboliska simuleringar. Av dessa är symbolisk simulering av intresse i denna studie. Symbolisk simulering definieras som ”en dynamisk representation av funktionen eller beteendet hos någon värld, något system, någon mängd av processer eller fenomen med [hjälp av] ett annat system (i detta fall en dator)”. Ett karakteristiskt drag för symboliska simuleringar är att de innefattar ”den dynamiska interaktionen av två eller flera variabler” (s. 523). Vid interaktionen med en symbolisk simulering står eleven utanför de framväxande händelserna eller växelverkande processerna, men han kan styra vilken som helst av flera olika operationer. Symboliska simuleringar karakteriseras av en djupstruktur. Med djupstruktur avser Gredler de psykologiska mekanismer som verkar vid utövningen och syftar på beskaffenheten hos interaktionen mellan eleven och de huvudsakliga uppgifterna i övningen å ena sidan och eleverna sinsemellan å andra sidan. Eleven manipulerar variabler som är element av en speciell population. Avsikten är bland annat att eleven ska upptäcka vetenskapliga samband eller principer,

förklara eller förutsäga händelser eller konfrontera missuppfattningar (s. 522–523).

Eleven förväntas interagera med simuleringen i egenskap av forskare, men övningen i sig kan dock inte hindra eleven från att använda slumpmässiga strategier. En föregående undervisning måste säkerställa att eleven skaffar relevant kunskap i området och väsentliga färdigheter i utforskningen. Det betyder enligt Gredler att eleverna borde vara ”kunniga i att utveckla mentala modeller av komplexa situationer, att testa variabler systematiskt och revidera sin mentala modell där det är nödvändigt” (s. 524).

En av de fyra typer av symboliska simuleringar som Gredler (1996, s. 529) analyserar kallas processimuleringar. Interaktiva grafiska bilder illustrerar fysikaliska processer, som inte är observerbara eller som inte enkelt kan demonstreras i klassrummet eller som elever förstår dåligt. Typiska exempel är interaktioner mellan kraft, acceleration och hastighet. Kausala modeller för processimulering kan vara kvalitativa eller kvantitativa. Gredler refererar diSessa (1987) då det gäller betydelsen av att använda processimuleringar. De ger eleven möjlighet att interagera med fenomen på en kvalitativ nivå. Normalt konfronteras elever med kvantitativa problem, i vilka målet är att komma till det riktiga svaret. En annan viktig betydelse är att simuleringarna utmanar elevernas fragmenterade och naiva kunskaper om fenomen. För det tredje kan man drastiskt förkorta tiden för att undersöka ett problem.

3.3.4 Virtuella experiment

Man kan betrakta virtuella experiment på dataskärmen som rekonstruerade spegelbilder av datorstödda experiment (dubbelpil 3, figur 14). Genom rekonstruktion kan man medvetet eller också omedvetet bestämma sig för förändringar på varierande grunder. Därigenom saknar denna form av datorinsats det reella experimentets autenticitet. Det virtuella experimentets styrka är samtidigt dess svaghet, nämligen att utan experimentutrustning låta köra och fritt kunna förändra planerade försökssituationer som är arrangerade på dataskärmen. De virtuella experimenten kan därför endast tjäna som komplettering till reella experiment med den didaktiska fördelen att de erbjuder tillfälle i synnerhet till enskilt arbete och grupparbete (Heuer, 1996, s. 11).

Det virtuella experimentets karakteristika är enligt Heuer (1996, s. 9–11) följande:

- Man kan på dataskärmen (i två dimensioner) bygga upp en försöksanordning med hjälp av valbara objekt och studera fysikaliska förlopp som liknar verkligheten.
- Det virtuella experimentet är i grunden ett simuleringsprogram men skiljer sig från dem genom två egenskaper:

  - gestaltningsmöjligheterna för den försökssituation, som ska iakttas och analyseras, är mångfaldiga.
  - utgångskonstellationen uppnås genom att hämta och placera ut objekt med musen och liknar uppbyggnaden av realförsök eftersom objekt ska väljas ut och arrangeras.
- Virtuella experiment har större likhet med datorstödda experiment än med simulering vid implementeringen i undervisningen eftersom experimentet först ska skissas upp innan det sätts i gång. Man måste med andra ord ställa frågor som experimentet ska göra utsagor på.
- Fördelar som karakteriserar virtuella experiment är att
  - ingen reell experimentell försöksuppbyggnad är nödvändig.
  - man undviker många av de oskick som är förenade med reella experimentsituationer.
- Nackdelarna är att
  - möjligheten att inordna och lägga till nya svårigheter gör att eleverna, imponerade av de öppna möjligheterna, språngvis går i förväg och ytligt söker ”sköna” effekter
  - frånvaro av reella experiment reducerar förankringen i verkligheten. Det är inte säkert att eleverna betraktar det som finns på dataskärmen som bild av verkligheten. Undervisningserfarenheter visar att eleverna kan gå så långt att de godkänner också det som strider mot de egna uppfattningarna. I dylika fall har det uppenbarligen varit så att till och med datorer och mätinstrument mäter fel enligt elevernas åsikt. Virtuella experiment kan i sådana fall följaktligen inte göra anspråk på beviskraft. Att genomföra reella experiment kan då bidra till att övertyga eleverna om andra åsikter. Kryphålen i elevernas argumentation kan genom varierade experiment fortlöpande täppas till på nytt.

Då de fysikaliska satserna återspeglas i det virtuella experimentförloppet, kan man med virtuella experiment demonstrera konsekvenserna av förändringar i fysikaliska förlopp. Den didaktiska funktionen av virtuella experiment lägger inte tyngdpunkten på att göra grundlagar tillgängliga för nya fenomenområden. Det som står i förgrunden är att vidga och fördjupa kunskaper. Tillämpningssituationer, där det är didaktiskt förnuftigt att implementera virtuella experiment, är sådana som lätt kan sättas igång i form av enskilt arbete och grupparbete.

3.4 Datorn i undervisning och lärande

Datorteknologins betydelse i undervisnings- och lärandesituationer har redan diskuterats i decennier. Ny teknologi är interaktiv, det är lättare att skapa miljöer där eleverna kan lära sig genom att göra, få feedback och kontinuerligt förfina sin förståelse och bygga ny kunskap. Teknologin tillåter att eleverna gör mer avancerade aktiviteter och engagerar dem i mer avancerat tänkande och problemlösande. Eleverna kan prestera och lära sig på mer komplicerade sätt.

Teknologin kan representera data på nya sätt, t.ex. i tre dimensioner, hjälpa eleverna att visualisera begrepp som är svåra att förstå och skapa tillgång till en omfattande informationsmängd (Bransford, Brown & Cocking, 1999). Man kan redogöra för och exemplifiera datorns funktion i undervisningen ur olika infallsvinklar.

Datorn som verktyg för grafisk representation

En av de viktigaste områdena för datorimplementation i undervisningskontexter handlar om datorn som verktyg för att grafiskt representera information. Detta viktiga ämnesområde har behandlats i avsnitt 3.2 och tas därför inte upp ytterligare här.

Datorn som verktyg för interaktion

Ett datorprogram (PAL = Personal Assistants for Learning) var konstruerat så att eleven och datorn fungerade som tränare åt varandra i en ömsesidig växelverkan (Reif & Scott, 1999). Syftet var att programmet skulle underlätta elevens problemlösningsförmåga i tillämpningar med Newtons lagar genom att stöda elevens grundläggande kognitiva funktioner som att fatta lämpliga beslut, implementera dem på ett korrekt sätt och utvärdera huruvida implementeringen hade varit tillfredsställande. Verktyget visade sig vara nästan lika effektivt som individuell undervisning av erfarna handledare och avsevärt effektivare än motsvarande undervisning i helklass. Eleverna fann verktyget mycket användbart för deras lärande. Datorverktyget gav dem nyttiga insikter i metoder att tänka inom fysikämnet.

En del forskare menar att det är viktigt att flera elever eller elever och lärare är med i interaktionen. Kelly och Crawford (1996) anser att datorrepresentationer är meningslösa utan någon som tolkar informationen. Datorn står för representationerna, men dessa måste föras in i elevkonversationen genom elevernas tolkande lins. Emellertid kan dialogen i samband med interaktion med datorbaserade simuleringar åstadkomma varierande resultat i lärandet. Dialogen mellan elev och lärare åstadkommer enligt Pilkington och Parker-Jones (1996) ett bättre resultat än dialogen mellan elever. En viss skillnad i interaktionsstil beror enligt Barbieri och Light (1992) på könsfördelningen i paren. Aktiva elever tycker i motsats till passiva att lektioner i en undervisningsmiljö med datorer är intressanta, njutbara, lätta och förståeliga (Alonso & Norman, 1996). Elever vill och njuter av att ha kontroll över lektionen, men de måste få undersöka sin miljö i egen takt. Speciellt de aktiva eleverna känner att de har mer kontroll i sådana situationer, där elevkontrollen tillåts vara stark, än elever upplever i andra situationer.

Roth (1995) undersökte vilka möjligheter ett datorbaserat verktyg (Interactive Physics™, en s.k. Newtonian microworld för rörelserelaterade experiment) har

att erbjuda för att förstå elevens lärande i interaktionen mellan lärare och elev. Roth hävdar att datorns mikrovärld utgör verktyg för att undersöka idéer. De aktiviteter som eleverna tar till för att göra saker och ting begripliga handlar om den mening som den vetenskapliga mikrovärlden börjar få i lärarens verbala och fysiska handlingar. Mikrovärlden blir en miljö där läraren kan utvärdera den förståelse eleverna har om relevanta fenomen genom att engagera dem i konversationer över och om det som datorn förevisar. Mikrovärlden fungerar som hjälpmedel för att förmedla konversationerna mellan eleverna och läraren så att båda parterna kan begripa den andras förståelse. I interaktionen mellan elever skapar datorn en kontext som delas av eleverna. Gruppdiskussioner underlättas eftersom eleverna fokuserar på samma sak, de kan röra vid och peka på en bild eller framställa den med handgester (Roth, Woszczyna & Smith, 1996).

Det finns dock begränsningar som till och med kan hindra lärande i datormiljö. Den ena begränsningen är att datorverktyget inte är transparent för eleverna på samma sätt som för läraren. Särdrag i gränssnittet eller ovana vid gränssnittet kan göra elevernas tolkning till något annat än det avsedda. Eleverna kan konstruera betydelser som är oavsiktliga och som kan skapa en barriär och bli ett hinder att lära sig vedertagen fysik. En annan begränsning handlar om elevernas fysiska placering runt datorn. De som sitter nära datorn kan bidra på ett produktivt sätt till konversationen kring händelserna på skärmen, medan de som sitter längre bort lätt kan börja engagera sig i aktiviteter som inte relateras till uppgiften eller till ämnet (Roth, Woszczyna & Smith, 1996).

Datorn som verktyg för begreppsförändring

Begreppsförändring innebär enligt White och Gunstone (1989) att ersätta naiva uppfattningar med sofistikerade uppfattningar om naturliga och sociala fenomen. Det handlar om en mer fundamental, betydande förändring i uppfattningen om en nyckelprincip eller i en tolkning av ett fenomen. Ett gammalt, etablerat synsätt måste förkastas till förmån för ett nytt synsätt (s. 577–578). Datorbaserade simuleringsprogram är användbara för att undersöka huruvida samarbetslärande kan stöda uppkomsten av begreppsförändring. Man kan i simuleringarna konfrontera elever med oförenliga händelser som står i strid med deras uppfattningar. Eleverna kan fritt utforska programmets mikrovärld genom att förändra parametrar och variabler och omedelbart visualisera konsekvenserna av sina manipulationer (Tao & Gunstone, 1999, s. 39). I sin undersökning fann Tao och Gunstone att detta datorstödda samarbetslärande ledde till begreppsförändring hos de elever som kognitivt engagerade sig i uppgifterna och hos dem som var förberedda på att reflektera över och omkonstruera sina uppfattningar. (Detta område behandlas mer i nästa avsnitt om engagerat lärande.)

Datorsimuleringar är lämpliga att representera komplicerade processer (t.ex. hjärt- och kärlsystem), speciellt då det gäller konstruktivistiska tillvägagångssätt som tillåter eleven att fritt skapa, testa och utvärdera sina egna hypoteser i en

rikare kontextualiserad miljö (Windschitl & Andre, 1998). Om eleven i simuleringen ställer upp villkor och resultatet blir att prediktioner bekräftas, finns det en möjlighet att eleven kan förfina sin begreppsförståelse av ett fenomen. Windschitls och Andres undersökning visade att simuleringar där eleverna gjorde utforskningar i konstruktivistisk anda var något effektivare i att förändra elevers missuppfattningar än motsvarande simuleringar där eleverna stegvis guidades genom simuleringen. Ytterligare visade det sig att elever med mer avancerade epistemologiska uppfattningar lärde sig mer med hjälp av den utforskande simuleringen, medan de elever som hade mindre sofistikerade uppfattningar om kunskap och lärande klarade sig bättre i en simuleringsmiljö som följde steg-för-steg-metoden.

Datorn som verktyg för upptäcktspedagogik (discovery learning)

”Scientific discovery learning is a highly self-directed and constructivistic form of learning” (de Jong & van Joolingen, 1998, s. 179). I upptäcktspedagogik resonerar man utgående från hypoteser, tillämpar en systematisk och planerad upptäcktsprocess, som bland annat innehåller en systematisk variation av variabelvärden, och använder heuristik på ett framgångsrikt sätt i experiment. Introduktion av datorsimuleringar har ökat intresset för explorativt lärande (*exploratory learning*) och upptäcktspedagogik, eftersom simuleringar mycket väl kan utnyttjas vid denna form av lärande. I en översikt över forskning som inbegriper användning av simuleringsliknande datorapplikationer i upptäcktspedagogik pekar de Jong och van Joolingen (1998, s. 193–195) på en rad för- och nackdelar. Svagheter i hypotesbildningen består i att man väljer hypoteser som förefaller säkra eller överför data till en hypotes oberoende av om data bekräftar hypotesen eller inte. Man designar experiment som inte är övertygande, elevers experimentbeteende är otillräckligt, det föreligger skevheter i samband med bekräftelse av experiment eller man använder förfaringssätt som är mer teknik än vetenskap. I många fall har elever problem med att tolka data och att reglera lärandeprocessen.

Studier (Swaak, van Joolingen & de Jong, 1998, s. 249; de Jong et al., 1999, s. 612) har emellertid visat att man uppnår positiva resultat i lärandet genom att använda instruktioner i samband med simuleringar. De åtgärder som har fungerat bäst har utgått från att den områdesspecifika informationen ska vara tillgänglig i lämpligt ögonblick samtidigt med simuleringen. Eleverna har fått anvisningar, frågor eller övningar, och den simulerade modellen har kunnat utvecklas från en relativt enkel till en tillräckligt komplex modell. I allmänhet har en strukturering av miljön visat sig åstadkomma effektivt lärande. Ett specifikt drag i upptäcktspedagogik med simuleringar har visat sig vara att elevernas kunskap blir mer intuitiv, kvalitativ och djupt rotad och att deras mentala modeller är mer avancerade. Den begreppsmässiga och formaliserade kunskapen har inte befrämjats i lika hög grad, men simuleringar har ett övertag då det gäller förmågan att kvalitativt skilja på begrepp, likaså då det gäller

färdigheter i att upptäcka. Det finns emellertid en risk för kognitiv överbelastning vid användningen av simuleringar. Denna olägenhet kan åtgärdas genom god planering. Enligt de Jong och van Joolingen (1998) kan en teori för design av simuleringar i undervisningen framträda först efter en tillräcklig forskning på området.

3.5 Aspekter på lärande och faktorer involverade i lärandeprocessen

Att undervisa och att studera är aktiviteter som stöder den individuella utvecklingen genom bland annat lärandeprocessen. Kompetens och förändringar i personligheten är resultat av denna individuella utveckling. Lärarens uttryckliga intention måste vara att understöda, men inte tvinga, en annan person att uppnå kompetens, dels genom att läraren måste vara medveten om sina intentioner, dels genom att läraren tror att eleven har för avsikt att lära sig eller inser att eleven kan förväntas ha för avsikt att lära sig (eller att studera). Avsiktlig undervisning innebär att läraren stöder elevens studieprocess, inte elevens lärandeprocess. Lärande i ordets generella betydelse är omedvetet, medan lärande i dess aktiva betydelse, dvs. att idka studier, är medvetet. Lärande kan därför inbegripa omedvetet förvärvande av kompetens. Lärarens undervisning måste anses vara medveten och syfta till att påverka lärande genom att underlätta studieprocessen (Uljens, 1997a, s. 41–48).

Enligt Johnson-Laird (1988) är lärande en ”relativt permanent förändring som inträffar när man som resultat av egen erfarenhet blir i stånd att göra något som man inte kunde göra tidigare, eller att göra det bättre” (s. 129). Det måste emellertid finnas restriktioner på klassen av möjliga begrepp eller färdigheter som ska förvärvas (s. 134). Det existerar uppgifter för vilka lärande inte kan garanteras. Johnson-Laird anser att det inte finns någon universell procedur för lärande (s. 140).

Resnick (1989) framhåller att lärande innebär att ny kunskap konstrueras i en kunskaps- och situationsberoende process. Lärande sker genom att tolka information, och effektiviteten är beroende av ”intentioner, självkontroll, vidareutveckling och konstruktioner av representationer hos den individuella eleven” (s. 2, egen övers.). I undervisningen borde elevernas konstruktiva mentala aktiviteter placeras i förgrunden för att stimulera deras kunskapskonstruktionsprocesser. Eleverna ska emellertid inte upptäcka allting själva, utan informationen måste tillhandahållas så att eleverna kan konstruera kunskapen. Vid behov kan läraren utforma lärandearrangemang och ge eleverna undervisning i strategier som leder till effektiv kunskapskonstruktion och hjälper dem att reflektera över sitt tänkande (Resnick, 1989; Mathewson, 1999).

I en översikt av aktuell litteratur beskriver Mathewson (1999) lärandet som

> ... the conscious and unconscious ”construction” of coherent mental ”frames” that serve as expanding and modifiable frameworks for ”assimilating” new information and as the locus for ”accommodating” discrepant or entirely novel experience through a ”restructuring” of schemas (s. 36).

Denna konstruktivistiska syn på lärande är mer en självaktiverande respons på utmaningar, dissonans eller diskrepans än ett rent passivt kodande av erfarenhet. En nyttig konsekvens av konstruktivistisk forskning är att man kunnat utveckla undervisningsstrategier, som är designade för att blottlägga och friska upp eller ersätta tidigare kunskap (s. 36).

Inom den teoretiska referensramen för lärande med hjälp av medier (böcker, television, datorer och multimedier) betraktar Kozma (1991, s. 179) lärande som ”en aktiv, konstruktiv process, varigenom eleven strategiskt hanterar de tillbudsstående kognitiva resurserna för att skapa ny kunskap genom att skilja ut information ur miljön och integrera den med information, som redan är lagrad i minnet”. Kognitiva faktorer som informationens varaktighet och mängd i korttidsminnet och uppgiftsrelevant information i långtidsminnet begränsar lärandeprocessen. Kozma drar den slutsatsen att lärandeprocessen är känslig för den yttre miljöns karakteristika, såsom tillgång till specifik information vid ett givet ögonblick, hur varaktig denna tillgång är, hur informationen är strukturerad och hur lätt man kan komma åt den.

I lärandeprocessen förekommer en lång rad påverkningsfaktorer som är av psykologisk och kognitiv natur. Otrygghet kan t.ex. betyda att eleven känner sig rädd, är generad eller känner sig inkompetent. Till de faktorer som initierar och underhåller elevens lärandeprocess hör en tillräcklig motivation, en positiv attityd och ett intresse för ämnet eller uppgiften som är i fokus vid lärandet. En av McCombs (1991, s. 118–119) psykologiska principer handlar om att individer i frånvaro av otrygghet lär sig på ett naturligt sätt och njuter av detta. Självkänslan och motivationen höjs när individer är i respektfulla, omvårdande relationer med andra som ser deras potential, genuint uppskattar deras begåvning och villkorslöst accepterar dem som individer. McCombs anser ytterligare att mänskligt beteende motiveras genom behov av självutveckling och självbestämmande. I samarbete med andra elever kommer dessa faktorer att skapa en lärandemiljö som karakteriseras av kollektivt engagemang. Enligt McCombs underlättas lärande genom social förmedling (interaktioner och kommunikation med andra) i en mångfald av flexibla, heterogena och samverkande uppsättningar av grupper.

Då undervisningssituationen utformas handlar det enligt Brousseau (1997) om att iscensätta ett spel, i vilket aktörerna består av eleven, läraren och miljön. I organisationen av undervisnings- och lärandeaktiviteten skapas en interaktion mellan läraren och eleven. Eftersom datorer är en del av miljön kommer lärar-

och elevrollerna att vara annorlunda än de traditionella. Ansvaret kan förskjutas så att eleven i högre grad tar över kontrollen när det gäller att forma och organisera lärandeaktiviteterna. Forskning visar enligt McCombs och Whisler (1989) att elever motiveras av lärandesituationer och aktiviteter, som utmanar dem att personligen och aktivt engagera sig i sitt eget lärande och som upplevs vara direkt eller indirekt relaterade till deras personliga behov, intressen och mål. Eleverna borde också uppleva att de framgångsrikt kan genomföra aktiviteterna, så att de börjar tro på sig själva och tillåter sig personliga val och personlig kontroll över situationen. Det är viktigt att det passar deras ålder, nivå och behov av uppgifter. I detta kan läraren stöda eleverna genom att ge dem möjligheter att utöva personlig kontroll över och pröva val av lärandeaktiviteter, nivå på behärskande eller mängden av ansträngning (s. 299–300). En viktig faktor är också att det finns tid att utforma och genomföra undervisnings- och lärandeaktiviteterna.

Målet med undervisnings- och lärandeprocessen är att eleverna ska lämna skolan med en ”god repertoar av kunskap, välutvecklade färdigheter och en förståelse[3] av meningen med, signifikansen och användningen av det som de har studerat” (Perkins, 1998, egen övers.). Enligt McCombs (1991) är lärande en aktiv, viljebestämd, internt förmedlad och individuell process att konstruera mening ur information och erfarenhet, filtrerad genom varje individs unika uppfattningar, tankar och känslor. McCombs hävdar ytterligare att uppfattningar och åsikter, som är resultat av tidigare erfarenheter av lärande och baserade på unika tolkningar av utifrån kommande upplevelser och budskap, blir varje individs separata verklighet eller sätt att se på livet. Tankar om och tolkningar av utifrån kommande upplevelser och budskap påbörjar ett kretslopp av kunskap, affekt och reaktion som är ägnat att förstärka eller understöda de ursprungliga tankarna eller den kognitiva strukturen av uppfattningar (s. 119). Slutresultatet bör vara att eleverna känner tillfredsställelse över att kunna fullfölja sina kunskapsmål.

Några av de faktorer som har argumenterats för i texten ovan och som (givetvis bland många andra faktorer) är centrala i lärandeprocessen kommer i det följande att presenteras mer ingående.

Motivation

En människa är motiverad om hennes handlingar förmedlas av en avsikt att genomföra något, en önskan att med något medel uppnå ett framtida tillstånd (Deci & Ryan, 1994, s. 3). I skolsammanhang har motivation att göra med elevens önskan att delta i lärandeprocessen (Lumsden, 1994, s. 1). I begreppet motivation finns en kärna av intention (Deci, Vallerand, Pelletier & Ryan, 1991, s. 326). Teorier om motivation handlar om processer som styr ett effektivt beteende mot eftersträvade resultat. Teorin om självbestämmande fokuserar på

[3] Bland alla de betydelser ”förståelse” har i den pedagogiska litteraturen avser Perkins (1998) här ”förmågan att tänka och handla flexibelt med det som man vet”.

tre medfödda behov: kompetens, samhörighet och autonomi (Deci et al., 1991, s. 327). Kompetens handlar om att man förstår hur man uppnår yttre och inre resultat och effektivt utför de nödvändiga handlingarna. Med samhörighet avses att man utvecklar trygga och tillfredsställande personliga förbindelser med andra i sin sociala miljö. Det tredje behovet, autonomi, syftar på att man själv initierar och reglerar sina egna handlingar.

En människa som drivs av inre motivation utför en uppgift av eget intresse och för sin egen skull utan att erhålla någon belöning. Hon är nyfiken, utforskande, spontan och intresserad av sin omgivning. Hon engagerar sig frivilligt i sådana aktiviteter som intresserar henne (Deci et al., 1991, s. 328; Deci & Ryan, 1994, s. 5). McCombs (1997, s. 2) hävdar att elever i alla åldrar är självmotiverade och styr och hanterar sitt eget lärande på uppgifter som de upplever intressanta, roliga, personligen meningsfulla eller relevanta. Det innebär aktiviteter som är engagerande eller relaterade till implicita eller explicita personliga mål, sådana som att känna sig kompetent, ha kontroll och stå i relation till andra. En annan nyckel till motivation att lära är att vara medveten om den grad till vilken uppgifter stimulerar lärandet och relateras till elevintressen, nivån på elev-kontroll och val som uppmuntras. Motivationen påverkas också av hur den nödvändiga färdighetsutvecklingen stöds och av den resurs och det sociala stöd som tillhandahålls. Eleverna behöver uppmuntras att ta ansvar för att reglera sitt eget lärande och att vara självbestämmande, autonoma (McCombs, 1997, s. 7).

Yttre motivation definieras enligt Deci och Ryan (1994, s. 5):

> In contrast to intrinsic motivation, extrinsic motivation is defined in terms of behaviors that are performed instrumentally to attain some separable consequence. Generally, extrinsically motivated behaviors are ones that would not occur spontaneously, and therefore must initially be prompted by an instrumentality.

Yttre motivation kan också bli självbestämd genom internaliserings- och integrationsprocesser (Deci & Ryan, 1994, s. 5). ”Internalisering är en process genom vilken regleringen av … lärande [kan] bli intern och inte längre kräver externa tillfälligheter” (Deci et al., 1991, s. 328). Integration är den process där de internaliserade värdena och regleringarna integreras i jaget. Individer vill känna att de står i relation till andra och att de är socialt kompetenta och autonoma i sina handlingar. Det gör de genom att inom en social miljö tillägna sig och integrera regleringen av sådana beteenden som ursprungligen var dikterade utifrån. Integreringen faller inom ett kontinuum mellan ett självbestämt och ett kontrollerat beteende (Deci & Ryan, 1994, s. 6).

Motivationen att lära uppkommer således både genom stöd utifrån och genom inre processer. Den ses som en funktion av både en personlig utvärdering av meningsfullheten i särskilda aktiviteter eller upplevelser av lärande och processen att själv initiera, bestämma eller välja och kontrollera mål, processer och

utfall i lärandet. Motivation att lära kan definieras som en naturlig respons till situationer av lärande. Det är en respons som förstärks av ett erkännande av tänkandets roll och betingade tankar i lärandet och motivation att lära under en mångfald villkor. Dessa villkor innefattar självkonstruerade utvärderingar av meningen och relevansen i en särskild situation av lärande. Responsen förstärks också av en förståelse av ens naturliga medverkan och kapacitet till självreglering. Slutligen förstärks responsen av kontextuella villkor som stöder naturligt lärande såväl som uppfattningar av meningsfullhet och självbestämmande (McCombs, 1997, s. 3).

När elever upplever att lärande är intressant, roligt, personligen meningsfullt och relevant och kontexten understöder och uppmuntrar personlig kontroll, är motivationen att lära och självregleringen av lärandeprocessen naturlig. Det betyder att eleven är infångad i aktiviteten och riktar sin uppmärksamhet på att fullfölja det personliga målet i situationer som eleven upplever som intressanta eller relaterade till personliga mål. Det är viktigt att målet då kan eftersträvas på ett självbestämt sätt. Eleven kanske inte ens är medveten om att han är självmotiverad och självreglerande. På många sätt är eleven i ett tillstånd av flyt eller uppgående i njutningen av aktiviteten. I detta fall är lärandeprocessen inre motiverande och motivationen att lära sig förstärks. Elever vill då reglera sitt lärande och fatta de beslut som är nödvändiga för att nå personliga mål eller ägna sig åt personliga intressen (McCombs, 1997, s. 3–4).

Ames (1992) kritiserar sätten att stärka motivationen. Alltför ofta förliknas motivationshöjning med yttre stimulansåtgärder t.ex. genom att kvantitativt förändra beteendet: att prestera bättre eller avsätta mer tid på uppgiften. I stället borde man betona "kvalitativa förändringar i de sätt elever betraktar sig själva i relation till uppgiften, engagerar sig i lärandeprocessen och sedan låter sig påverkas av lärandeaktiviteter och situationen" (s. 268). Då man designar klassrumsstrukturer som orienterar sig mot målet att behärska kunskap borde man fokusera på strategier som baserar sig på ansträngning, inte förmåga.

Hanrahan (1998) föreslår en modell som relaterar faktorer i lärandemiljön till elevens kognitiva engagemang. Inneboende faktorer såsom förkunskap och intresse för ämnet relateras till inre motivation att avsätta mer tid, entusiasm och energi på lärande. Det finns dock läroplansfaktorer som delvis står i vägen för ett djupt kognitivt engagemang. Sådana faktorer är brist på valmöjligheter, brist på möjligheter att utforska sina egna idéer och brist på stöd för självbestämmande. Yttre faktorer såsom ett gott förhållande mellan elev och lärare, framgång i examen och framtida mål som berör anställning och arbete påverkar elevens yttre motivation att kämpa hårt, vara uppmärksam och få uppgifter gjorda. Dessa faktorer åstadkommer, enligt Hanrahan, ett ytligt kognitivt engagemang, som dock kan hämmas av distraherande faktorer såsom oväsen i klassen och dagdrömmeri. Den yttre motivationen kan också försvagas av att eleven inte uppfattar att han får bekräftelse från läraren.

Optimalt lärande kräver en inre motivation och vid sidan av den en yttre motivation, som har internaliserats och integrerats med individens självkänsla. Sociala kontexter, som understöder de psykologiska behoven av kompetens, autonomi och samhörighet, låter individen upprätthålla en inre motivation och underlättar integrationen av yttre motivation. Sådana sociala kontexter främjar lärande av högre kvalitet och en bättre personlig anpassning (Deci & Ryan, 1994, s. 12). En elevs totala motivation är för det mesta en kombination av inre och yttre motivation (Husman & Lens, 1999, s. 113).

Attityd och intresse

Lärare anser allmänt att känslor och värderingar är viktiga vid sidan om förståelse. I naturvetenskapliga ämnen är lärarna intresserade av att utveckla positiva attityder exempelvis till fysik vid sidan av att öka kunskapen i ämnet. Sambandet mellan ängslan och olika attityder relaterade till naturvetenskap undersöktes av Fraser och Fisher (1982, s. 449) som drog slutsatsen att om elever känner sig ängsliga i klassen kan det vara ett allvarligt hinder för eleverna att nå viktiga mål som gäller attityder.

Vid en utvärdering av elevers arbete med begreppskartor (Taber, 1994, s. 279–280) framkom det som en sidoeffekt vilken central betydelse den affektiva domänen har i elevernas lärande. Denna aspekt ska inte ses som ett alternativ till undervisning av det kognitiva innehållet. Eleverna har tankar om fysik, tankar om sitt eget tänkande och tankar om känslor för sina upplevelser under lärandet. I Grunderna för gymnasiets läroplan 1994 sägs också klart att ”elevernas attityder, föreställningar och förväntningar styr deras observationer, bestämmer vilken information de tar emot och hur de tolkar den” (s. 10). Mathewson (1999, s. 48) anser det viktigt att också beakta den affektiva aspekten av elevers medvetna eller omedvetna mentala process när man designar visuella och spatiala aktiviteter och material för naturvetenskaplig utbildning. Den känslomässiga upplevelsen av att träda in i främmande områden är ett betydande hinder för lärande för en del elever, medan det för andra är en motivationsfaktor för att ge sig in i intellektuella äventyr med obekanta medier, metoder och ämnen.

Enligt McLeod (1992, s. 576, 578–579) är uppfattningar, attityder och känslor de tre huvudsakliga aspekterna av elevernas affektiva erfarenheter inom lärande och undervisning i matematik[4]. Elevernas uppfattningar om ämnet och sig själva spelar stor roll i utvecklandet av deras affektiva responser till undervisnings-situationer. Till exempel störande avbrott och blockeringar skapar både positiva och negativa känslor hos eleverna. Då eleverna upprepade gånger erfar samma eller liknande situationer utvecklar de positiva och negativa attityder till ämnet eller delar av lärokursen. Uppfattningar och attityder är vanligen stabila, medan

[4] Teorierna om attityd kan tveklöst vara överförbara på fysikämnet.

känslor kan förändras snabbt. Uppfattningar är i stor utsträckning kognitiva till sin natur och utvecklas vanligen under en relativt lång tidsperiod. Känslor kan uppstå och försvinna ganska snabbt som när en frustration över ett svårlöst problem förbyts i glädje över att komma på en lösning. Med begreppet *attityd* avser McLeod (1992, s. 581) affektiva reaktioner, som kännetecknas av positiva eller negativa känslor med måttlig intensitet och tillräcklig stabilitet. Exempel på attityder till fysik kan t.ex. vara att elever gillar fysikuppgifter som kan lösas direkt med en formel och att de gillar att göra fysikexperiment. Däremot ogillar många elever att göra laborationsrapporter och att lösa fysikaliska problem, som kräver mångfasetterat fysikaliskt tänkande och resonerande eller härledning av en formel. McLeod (1992) nämner att attityder till matematik kan utvecklas på i huvudsak två sätt. Det ena handlar om att attityder är ett resultat av att elever har automatiserat en upprepad emotionell reaktion mot matematik. Det andra handlar om att en redan existerande attityd överförs till en ny men relaterad uppgift.

Den affektiva variabeln *attityd* är ett komplext begrepp, vars definition har utvecklats under lång tid (se Koballa, 1988; Shrigley, Koballa & Simpson, 1988). Centralt för begreppet attityd är egenskapen att bedöma något i termer av att gilla eller ogilla något. Det är något man lärt sig genom en direkt eller indirekt erfarenhet (Shrigley, Koballa & Simpson, 1988). Attityd är enligt forskarna en inlärd beredvillighet eller benägenhet att konsekvent reagera på ett gynnsamt eller ogynnsamt sätt gentemot objekt, personer, grupper eller andra identifierbara aspekter av vår omgivning såsom ett problem, en abstrakt idé eller en situation (Koballa, 1988). En persons uppfattningar om en sak eller ett objekt bestämmer personens känslor, dvs. attityder, gentemot objektet. Attityd i sin tur förmedlas av värderingar och påverkar personens beteendeintentioner med avseende på objektet. Dessa beteendeintentioner har sedan ett inflytande på personens egentliga beteende gentemot objektet. Subjektiv norm är en social faktor som också associeras till objektet. Attityder är relativt stabila även i ett längre tidsperspektiv. De är inlärda och relateras till beteende (Koballa, 1988; Shrigley, Koballa & Simpson, 1988).

Intresse är en term som enligt psykologer betecknar ett personligt karaktärsdrag eller ett affektivt tillstånd (Schiefele, 1991, s. 299). Forskare har fokuserat på begreppen individuellt eller personligt intresse och situationsbundet intresse. Med individuellt intresse förstås en relativt bestående preferens för ämnen, ämnesområden, uppgifter, aktiviteter eller kontexter och hur dessa påverkar lärande. Betoningen ligger på att arbeta med individuella olikheter. Situationsbundet intresse är ett emotionellt tillstånd som bestäms av situationsaspekter såsom exempelvis nymodighet eller intensitet. Det handlar om förekomsten av mänskliga intressefaktorer, som bidrar till attraktiviteten hos olika typer av innehåll eller det intresse människor förvärvar genom att medverka i eller skapa en lämplig kontext (Schiefele, 1991; Mitchell, 1993; Tobias, 1994).

Individuellt intresse tolkas som en individs relativt långsiktiga orientering mot något slag av objekt, aktivitet eller kunskapsområde och kan vara känslorelaterat eller värderelaterat. Den känslorelaterade komponenten hänvisar till de positiva känslor av njutning och engagemang som associeras till ett objekt eller en objektrelaterad aktivitet. Den värderelaterade komponenten handlar om att en människa tillskriver ett objekt eller ett ämnesområde en personlig innebörd. Det kan ligga en mängd orsaker bakom detta, t.ex. att objektet kan bidra till ens personliga utveckling, kompetens eller förståelse av ett viktigt problem. Intresset är förknippat med objektet självt, vilket betyder att en människa borde vara engagerad i ett ämne för dess egen skull och inte av någon yttre orsak, t.ex. att klara en examen. Empiriska resultat framhäver betydelsen av intresse vid bedömningen av olika aspekter av lärande såsom kvaliteten på resultatet av lärande, användningen av lärandestrategier och kvaliteten på erfarenheter av lärande. Studier som exemplifierar detta visar att elever som arbetar med texter ur högintressanta ämnen engagerar sig intensivare och mer betydelseorienterat än elever som bearbetar texter ur ämnen med låg intressenivå. I det förra fallet gör eleverna fler slutledningar och kommer ihåg ett större antal väsentliga begrepp som är viktiga för en tillräcklig förståelse av texten. Eleverna kan bättre besvara komplexa frågor och tillämpa kunskapen på nya situationer. Vid användningen av lärandestrategier är intresse en viktig motivationsfaktor som befordrar lärandeprocesser på en djup nivå snarare än på en ytlig nivå. Intresse för ett ämne har en starkare och en mer konsistent inverkan på kvaliteten på elevernas erfarenheter i klass än förmåga och motivation att prestera (Schiefele, 1991).

Mitchell (1993) undersökte en modell för *situationsbundet intresse* i en matematikkontext och fann att två aspekter av denna konstruktion var giltiga. Den första aspekten handlade om att fånga intresset, vilket innebar att finna olika sätt att stimulera eleven med kognitiva eller sensoriska medel. Sådana variabler var goda katalysatorer för ett självinitierat beteende. Studien visade att sådana stimulerande variabler var datorer, grupparbeten och matematiknötter (*puzzles*). Datorer framstod som effektiva i den meningen att de fungerade som en form av kognitiv stimulans. Att använda datorn som hjälpmedel vid utforskning visade sig fånga elevernas intresse, eftersom de lättare kunde lära sig saker på egen hand. Grupparbeten fungerade som social stimulans eftersom de tillät att eleverna diskuterade problem med varandra. Eleverna var villigare att ställa frågor till andra elever än att fråga läraren inför hela klassen. Grunddraget i den andra aspekten var att hålla kvar intresset, dvs. att hitta variabler som försåg eleven med en förmåga att nå ett mål eller fick eleven att bibehålla intresset över en längre tid. Att göra ett lärandeinnehåll meningsfullt var en variabel som tenderade att vara varaktig och ge eleven förmåga att nå sina personliga mål. En annan variabel var engagemang som syftade på i vilken grad eleverna kände att de var aktiva deltagare i lärandeprocessen.

Engagerat lärande

Klassrum som gynnar engagerat lärande låter elever lära sig genom att samarbeta. De är kunskapsbyggande lärandegemenskaper. Sådana gemenskaper skapar empatiska lärandemiljöer som bygger på mångfald och många perspektiv. Dessa kännetecken är speciellt viktiga i klassrum där det är utpräglade skillnader i elevernas tidigare kunskap. I sådana klasser förenar kunskapsbyggande strategier – såsom idékläckning – kunskapen och gruppens erfarenheter och skapar därvid mer rättvisa lärandevillkor för var och en och ger var och en tillgång till den kollektiva kunskapen (Jones et al., 1995, s. 11).

Jämlikhet i engagemang vid interaktioner mellan kamrater under lärandeprocessen definieras enligt Damon och Phelps (1989) som det bidrag till uppgiften varje elev står för. Stark jämlikhet utvisar att varje elev bidrar mer eller mindre lika mycket, medan svag jämlikhet innebär olika stort bidrag. Ömsesidighet i engagemang avser själva diskursen i engagemanget så att stark ömsesidighet antyder att diskursen är extensiv, sammanhängande och intim, medan en svag ömsesidighet utvisar att diskursen är begränsad och osammanhängande och att eleverna inte offentligt ger uttryck för sina idéer.

Undervisningstekniker som baseras på samarbete mellan kamrater, dvs. att elevpar eller små elevgrupper arbetar på samma uppgifter mot ett gemensamt mål (*peer collaboration*), kan enligt Tao och Gunstone (1999) leda till begreppsförändring. De undersökte huruvida kamratsamarbete, under vilket eleverna arbetade parvis med datorsimuleringsprogram, gynnade förändringen av elevers begreppsuppfattning i fysik. För det första visade det sig att kamratsamarbetet gav eleverna erfarenheter av att gemensamt konstruera kunskap och förståelse men också att hantera konflikter. Eleverna byggde på och kompletterade varandras idéer och utvecklade stegvis delad förståelse. Konflikter inträffade då eleverna inte var av samma mening i fråga om förklaringar och förutsägelser av förlopp. Detta krävde att eleverna bestyrkte och försvarade sina ställningstaganden. Genom samverkan kom eleverna igenom sina uppgifter med större framgång än om de arbetade ensamma. Emellertid berodde framgången också på huruvida eleverna var villiga att kognitivt engagera sig i uppgifterna för att få begreppsförändring till stånd. Kamratsamarbetet krävde ett starkt gemensamt, jämlikt och ömsesidigt engagemang i uppgifterna, vilket inte nödvändigtvis betydde att eleverna engagerade sig kognitivt. De elever som uppvisade en återgång till alternativa uppfattningar var sådana som i pararbetet var mer eftergivna och stod för ett mindre bidrag till förklaringarna i uppgifterna. En påtaglig begreppsförändring gynnades om eleverna var inställda på att reflektera över och omkonstruera sina begreppsuppfattningar.

Tao och Gunstone drog också slutsatsen att kognitiva konflikter mellan kamraterna inte alltid framkallade en begreppsförändring. Liksom i den föregående slutsatsen gällde det också nu att begreppsuppfattningar förändrades på

ett framgångsrikare sätt för de elever som var beredda på att reflektera och omkonstruera en tidigare uppfattning. Emellertid kunde elever också komma till en begreppsförändring utan kognitiv konflikt. Det var viktigt att utveckla delad kunskap och förståelse. En avgörande faktor för att åstadkomma en begreppsförändring var att eleverna också personligen konstruerade en ny förståelse och gjorde denna begriplig. Både den personliga och sociala konstruktionen av kunskap föreföll vara betydelsefull i en kontext av detta slag. Elevernas interaktion genom konversation visade att eleverna kompletterade och byggde på varandras idéer och småningom uppnådde delad kunskap och förståelse som emellertid inte nödvändigtvis gav upphov till begreppsförändring. De elever som höll fast vid sin begreppsförändring undergick en personlig konstruktion av den nya förståelsen, de internaliserade den nya kunskapen. Det räckte inte enbart med att eleverna fullföljde uppgiften, utan de behövde också reflektera över sina uppfattningar och besluta i ljuset av den delade förståelsen huruvida de skulle ändra dem. Samkonstruktion av kunskap som åtföljdes av personlig konstruktion ledde till en begreppsförändring, som i längden var stabil.

Den personliga konstruktionen av kunskap är en privat och personlig process som eleverna själva beslutar att engagera sig i och som läraren inte kan ha mycket kontroll över (Tao & Gunstone, 1999, s. 54). Det krävs en metakognitiv färdighet hos eleven som innebär att elever känner igen sina uppfattningar, tänker över vilka värden dessa har för dem och personligen beslutar huruvida de ska omkonstruera dem eller inte (White & Gunstone, 1989).

Interaktiv och processorienterad undervisning

Joyce och Weil (1980, s. 1) definierar undervisningsmodell som en plan eller en modell som kan användas för att forma en undervisningsplan, för att designa undervisningsmaterial och för att styra undervisningen i klassrummet och andra miljöer. Enligt Jones et al. (1995) är den kraftigast verkande undervisningen interaktiv och generativ. Interaktiv undervisning engagerar eleven aktivt med resurserna och lärandekontexten för att konstruera nya kunskaper och färdigheter. Generativ undervisning, liksom generativ utvärdering, sammanför elever med olika perspektiv för att producera delad förståelse. Medan lärande i traditionell undervisning är en tvåpersonerssituation (läraren och eleven), är lärande i generativ undervisning en trepersonerssituation (läraren, eleven och andra). I generativt lärande är det fråga om en samkonstruktion av kunskap. Lärande inträffar som resultatet av interaktioner mellan eleven, läraren och andra. Exempel på generativa undervisningsstrategier (ur Jones et al., 1995) är sokratisk dialog, sammanfattning som görs individuellt och gruppvis, mekanismer för att utforska multipla och avvikande perspektiv, tekniker för att bygga på förkunskap, allmänna och innehållsspecifika problemlösningsprocesser och tekniker för att konstruera mentala modeller och grafiska representationer. Alla dessa strategier uppmuntrar eleven att lösa problem aktivt, styra

meningsfull utforskning, reflektera över och bygga en repertoar av effektiva lärandestrategier.

Undervisningens uppgift är att stimulera elever till att begagna sig av ändamålsenliga tankeaktiviter för att konstruera, förändra och dra nytta av sin kunskap. Det finns stora likheter mellan interaktiv undervisning och en undervisningsmodell som kallas *processorienterad undervisning* (Vermunt & Verloop, 1999). Den senare fokuserar på processer i konstruktionen och tillvaratagandet av kunskap så att kunskap och tankestrategier undervisas i samstämmighet. Kongruens och konstruktiv friktion befrämjas och destruktiv friktion undviks. Med kongruens avser Vermunt och Verloop (1999, s. 270) att elevernas lärandestrategier och lärarnas undervisningsstrategier är förenliga. Om så inte är fallet uppstår friktion. Den konstruktiva friktionen representerar en utmaning för eleverna att öka sina färdigheter i lärande- och tankestrategier som de normalt inte självmant är benägna att använda. Den destruktiva friktionen däremot kan orsaka en försämring i lärande- och tankefärdigheter genom att eleverna inte hänvisar till existerande färdigheter eller utvecklar potentiella färdigheter. Målet för en processorienterad undervisning är att gradvis överföra lärandefunktioner från läraren till eleven. Lärarens huvuduppgift är enligt detta synsätt att initiera, stöda och påverka elevernas tankeprocesser.

Lärarens roll i regleringen av elevernas lärandeprocesser beskrivs enligt Vermunt och Verloop (1999, s. 274–275) i sex punkter. För det första måste läraren utveckla färdigheter i att diagnostisera elevernas lärande- och tankestrategier och anpassa undervisningen mot sådana strategier som eleverna inte behärskar tillräckligt. För det andra ska läraren vara en utmanare. Läraren kan åstadkomma konstruktiv friktion genom att ge eleverna uppgifter som de inte kan utföra på ett effektivt sätt med de strategier de normalt använder. Syftet är att få eleverna att börja reflektera över sina tillvägagångssätt och utforska alternativa lärande- och tankestrategier. Den tredje punkten handlar om hur läraren kan fungera som modellelev (*model learner*). Läraren kan demonstrera användningen av sådana strategier som är viktiga för ämnesområdet så att eleverna får en klar bild av vad en viss strategi betyder och hur den kan användas. Aktiviteter som visar hur ett ämnesområde behandlas, ett problem löses och en lärandeprocess regleras gör konstruktionen och utnyttjandet av kunskap explicit och uppenbar för eleverna. Genom att läraren tänker högt visar hon hur eleverna kan strukturera centrala begrepp inom ett område, tänka på konkreta exempel, motivera och koncentrera sig och testa sin egen förståelse i ämnet. Sedan behöver läraren aktivera eleverna att använda strategierna då de står inför en situation av lärande inom ett bestämt ämnesområde. Frågor, uppgifter eller sätt att presentera argument stimulerar eleverna att använda tankeaktiviteter som de vanligen inte begagnar sig av. Följande punkt är att läraren övervakar att eleverna använder strategierna i sitt självreglerande lärande och kombinerar rollen som övervakare med rollen som konsult, som eleverna kan utnyttja. Läraren kan då beakta elevernas individuella olikheter och deras

behov av stöd. Efter en fas av tankeaktiviteter kan läraren gradvis dra bort denna form av lärarreglering och skapa en utmanande miljö, där läraren drar nytta av att eleverna spontant och korrekt använder strategierna. Den elevinitierade användningen av lärandefunktioner ökar. Den processorienterade undervisningen innebär slutligen att läraren utvärderar kvaliteten av elevernas strategianvändning. I testen bör eleverna ha möjlighet att använda de ovannämnda processerna för att exempelvis beskriva likheter och olikheter mellan särskilda teorier, sammanfatta huvudpunkter, ge konkreta exempel, hitta på tillämpningar av det de lärt sig eller dra egna slutsatser om fakta.

Den processorienterade undervisningsmodellen svarar väl mot samhällets krav på nya undervisningsmodeller som syftar till att utveckla elevernas förmåga att uppdatera sina kunskaper närhelst detta är nödvändigt i ett samhälle där kunskap snabbt föråldras och tillgången till information har blivit allt lättare via datanätverk. Behovet av livslångt lärande ökar och kunskapsförmedling och -lagring förlorar sin funktion (Vermunt & Verloop, 1999, s. 275–276).

Rolldefiniering i ”den digitala världen”

Medborgarna på 2000-talet måste ha förmåga att lära sig i en snabbt föränderlig miljö. De måste förstå system i skiftande kontexter och samarbeta lokalt och globalt. Dessa utmärkande egenskaper står i skarp kontrast till diskreta färdigheter på låg nivå, innehåll och utvärderingsmetoder, som den traditionella undervisningen gynnar. Kraven på lärande på de nya arbetsplatserna är inte förenliga med undervisning som förutsätter att läraren är den som ger information och eleven den passiva mottagaren (Jones et al., 1995). I Grunderna för gymnasiets läroplan 1994 sägs att ”lärarens roll förändras: hon blir allt mer den som handleder och planerar inlärningen” (s. 10). I klassrum där elever engagerar sig i sitt lärande är en lärare mer än en informationsgivare. Läraren befrämjar, vägleder och lär sig själv samtidigt. I sin assisterande roll tillhandahåller läraren rika lärandemiljöer, upplevelser och aktiviteter och skapar möjligheter för elever att samarbeta, lösa problem, göra autentiska uppgifter och dela med sig av kunskap och ansvar. I egenskap av rådgivare spelar läraren komplicerade och mångskiftande roller såsom att förmedla, skapa modeller och träna. När läraren utgör en förmedlande länk i elevens lärande, måste hon konstant justera nivån på information och stöd enligt elevernas behov och hjälpa dem att länka ny information till tidigare kunskap, förfina sina problemlösningsstrategier och lära sig om lärande. Då läraren fungerar som modell innebär det att hon vid behov tänker högt och förevisar. I rollen av tränare ger läraren tips eller fingervisningar, tillhandahåller återkoppling, förändrar fokus på elevernas ansträngningar, assisterar eleverna i användningen av en strategi och står vid behov för procedur- och faktakunskap. Som vägvisare litar lärare i hög grad på färdigheter i aktivt lyssnande och sokratiska frågetekniker (Jones et al., 1995).

I Grunderna för gymnasiets läroplan 1994 sägs att ”eleverna aktivt ska bygga upp och strukturera sin kunskap. … Eleverna bör ses som aktiva kunskapssökare, som bearbetar och bedömer fakta. Inlärning innebär att eleverna inhämtar ny information och med hjälp av den kan omstrukturera och komplettera tidigare tanke- och handlingssätt. Småningom utvecklas och nyanseras kunskaperna till en funktionell helhet” (s. 10). Ytterligare framgår att ”det är särskilt angeläget att eleverna lär sig tänka och studera självständigt, samt att de utvecklar en allsidig och effektiv studieteknik och ett livslångt intresse för studier” (s. 11). Elever som engagerar sig i lärandet är utforskare. De upptäcker begrepp och kopplingar samt tillämpar färdigheter genom att interagera med den fysiska världen, ämnen, teknologi och andra människor. Ofta hoppar elever in i en aktivitet med föga förhandsinstruktion för att stimulera sin nyfikenhet, bli bekant med undervisningsmaterial och formulera en snar förståelse av uppgiften. Elever kan sedan reflektera över idéer och revidera, omorganisera och utvidga sin förståelse med vidare kunskap, utforskning och rapportering. Reflektivt tänkande är också väsentligt för elever i egenskap av kognitiva lärlingar. I kognitivt lärlingsskap är lärandet väsentligen formbart med daglig återkoppling på många aspekter av ett komplicerat problem eller en färdighet. Lärande äger rum när elever observerar, tillämpar och genom övning förfinar sina tankeprocesser så att de mer och mer formulerar kraftfulla frågor, problem och lösningar och framskrider mot större sakkunskap. Genom att reflektera över ett skiftande uppgiftsområde kommer elever att identifiera allmänna element i sina många erfarenheter. Detta gör det möjligt för dem att generalisera sina färdigheter och överföra sitt lärande till nya situationer (Jones et al., 1995).

I den moderna skolan har lärarna och eleverna tillgång till datanät och kommunikation över alla gränser. Lärarrollen förändras när ”eleven utvecklas i sin egen takt, arbetar i mindre grupper och traditionella lektioner ersätts med längre och flexiblare arbetspass” (Bolander, 1995, s. 3). Det finns en risk att läraren förlorar initiativet eller överblicken av elevernas tänkande. Den förändrade lärar- och elevrollen kan därför upplevas negativt. Lärare tvekar inför sin egen kompetens; den egna datorkompetensen ställs mot elevernas ofta större förmåga att hantera datorer. Det råder en generationsklyfta mellan lärare och elever i datorfrågor, och en auktoritetskonflikt kan uppstå. Lärarna anser sig ha bristande kunskap om programvaran; de behärskar den varken teoretiskt eller metodiskt och känner sig vara lämnade åt sig själva. Till exempel kan det hända att läraren fastnar i ett problem, medan eleven väntar på anvisningar. ”Läraren kan agera som en intresserad handledare åt eleven. När läraren ställer frågor för att öka *sin* kunskap så kan detta hjälpa eleven att strukturera *sitt* vetande om tekniken så att det bidrar till ökade kunskaper i det studerade ämnet” (Dahland, 1993, s. 196). I takt med att användning av programvara i olika ämnen ökar kommer elevernas färdigheter att reducera behovet av teknisk assistans från lärarens sida (s. 179).

Enligt Nilsson (1999, s. 20) avser digital kompetens ett ”komplext system av kunskaper, färdigheter och värderingar där samspelet mellan de olika delarna är synnerligen viktigt”. Han särskiljer fem områden: teknisk kunskap, operativ förmåga, kunskap om applikationer, kunskap om teknikens möjligheter och begränsningar och, slutligen, värdesystem. I ett samhälle där allt fler funktioner kräver digital teknik får digital kompetens därför en avgörande betydelse. Det är nödvändigt att man kan använda sig av de nära nog oändliga möjligheterna till information och kommunikation som Internet och den digitala tekniken ger tillgång till. Förutom text handlar det om interaktiva multimedier, röst- och videokommunikation, rollspel och simuleringar (Pålsson & Nilsson, 1998). Lärare som yrkesarbetat i många år har inte nödvändigtvis den utbildning, kunskap, färdighet eller beredskap i att hantera datorer som krävs idag. En fallstudie i ett gymnasium (Eklund, 2000) visade att lärarnas digitala kompetens var relativt svag. Speciellt den tekniska kunskapen och den operativa förmågan ansågs, med ett par undantag, vara svag i den undersökta lärargruppen. Beträffande förtrogenhet med standardapplikationer visade lärargruppen en relativt stor spridning. De flesta av lärarna arbetade med en del standardprogram utanför sin undervisning och hade därför en viss beredskap att använda dessa. Problemen påminner om dem som Nilsson (1999) tar fram i samband med den digitala kompetensen. Faktumet att gymnasier har en systemansvarig person och att det också finns enstaka lärare som har en viss teknisk kunnighet kan inverka i fördelaktig riktning på förvärvandet av digital kompetens. Läraren är inte ensam hänvisad till att lösa tekniska problem.

Ansvar

Boekaerts (1998, s. 101) hävdar att det finns rikligt med evidens för att ett ansvarsfullt beteende direkt bidrar till lärande och prestationer. Ett medvetandegjort ansvar definieras av Boekaerts på följande sätt:

> It can be defined as a felt commitment (current goal based on motivational beliefs) required to do anything necessary to live up to social expectation. This can mean to attain an expected result, to fulfill a duty or obligation, or to behave in such a way that no harm is caused to oneself or others (s. 100).

I den traditionella utbildningen ligger ansvaret för processen som ska leda till lärande i allmänhet på läraren. Elever som är en produkt av sådana utbildningsmetoder är inte förberedda att fungera självständigt i en verklig, komplex och oförutsägbar värld utanför klassrummet. I en elevcentrerad utbildning måste eleverna identifiera det som de behöver veta, vilka resurser som behövs och den effektivaste användningen av dem. Det är viktigt att eleverna kritiserar giltigheten och relevansen av den information som de träffar på med beaktande av det mål som ansträngningarna riktas mot. I lärarens ansvar ingår att hjälpa eleverna att identifiera den kunskap som kan läggas fram i lärandesituationen och som kan föra dem fram mot målet. Läraren kan fungera som förebild och träna eleverna i attityder och beteenden som befrämjar lärande och kunskap. Förutom

att tillhandahålla allmänna läroplansramar för att vägleda eleverna mot klara, personliga utbildningsmål hör till lärarens ansvarsområde att bekräfta, utmana och klargöra idéer, som elever uttrycker, och ge feedback på elevernas framsteg mot sina utbildningsmål (Koschmann, Myers, Feltovich & Barrows, 1994, s. 256).

Allt lärande och all utveckling kräver av eleven en investering i ansträngning och tid. Skolresultat grundar sig på den uthållighet och ansträngning som eleverna sätter på sitt eget arbete och graden av sitt engagemang i studierna och livet i skolan i allmänhet. Enligt Davis och Murrell (1994) försvagar oansvariga elever det kollektiva skollivet. Ett fåtal ytterst oansvariga elever eller en stor grupp passiva, avogt sinnade elever i en klass kan dra ner den allmänna klassandan. Ett urholkande av den etiska grundsynen i skolan kan leda till en kultur som stagnerar, verkar söndrande och är anti-intellektuell. En ansvarig medborgares vanor och personliga liv slipas och förädlas under skolåren. Det är en ömsesidig förpliktelse från lärarnas sida att befrämja elevernas lärande och utveckling och från elevernas sida att öva upp en tillräcklig självkontroll och initiativförmåga att aktivt delta i studier och skolliv.

En av hörnstenarna i effektivt lärande är således att eleverna har ansvar för sitt eget lärande; att de är självreglerande och styr sin egen lärandeprocess. I denna process definierar eleverna mål för sitt lärande och problem som är meningsfulla. Eleverna skapar sig en bild av de aktiviteter som relateras till målen och utvärderar hur de har nått dessa. Vid behov använder de alternativa strategier för att nå målen, rättar till fel och styr in sig i en ny riktning när deras planer inte fungerar. Genom en god kännedom om sina styrkor och svagheter kan eleverna fungera produktivt och konstruktivt (Jones et al., 1995, s. 8).

En mellanform av undervisningssituationer, där läraren lägger fram all information utan att delegera något ansvar till eleverna och lärandesituationer där motsatsen gäller, är enligt Brousseau (1997, s. 229) sådana undervisnings- och lärandesituationer där läraren överför hela eller delar av ansvaret till eleverna. Det handlar om att läraren ska omgestalta så många undervisningssituationer som möjligt till lärandesituationer, vilket betyder att eleverna placeras i sådana lämpliga situationer, att de spontant låter sig påverkas av dem genom anpassning. Avsikten är att förmå eleverna att införliva (*assimilate*) det som läraren har planerat att de ska lära sig. I lärandefaserna arbetar eleverna nära nog ensamma på ett problem eller i situationer där de förutsätts ha maximalt ansvar. Problemet är att bestämma vilka anpassningar som svarar mot målkunskapen och vilka omständigheter de visar sig mottagliga för. För eleven är betydelsen av kunskap uppbyggd av en mängd handlingsregler där kunskapsmomenten kommer in. Lärandet av reglerna på det sättet att läraren delger kunskap förefaller enligt Brousseau vara mer kostsam eller omöjlig att uppnå än genom att eleven självständigt producerar den genom anpassning.

Kontroll

Det finns en allmän föreställning att elever vid lärandet skapar personliga förväntningar, som påverkar beteenden i riktning mot bestämda utfall. Själveffektivitet handlar om uppfattningen att man kan åstadkomma vissa handlingar (Bandura, 1997, s. 20). Självveffektiviteten verkar på olika sätt i samband med lärande. I början av en aktivitet skiljer sig eleverna från varandra beträffande tilltron till sina förutsättningar i fråga om att förvärva kunskap, prestera olika färdigheter eller behärska stoff. Självveffektivitet är en funktion av förmåga, attityd och tidigare erfarenhet. Under arbetets gång är det faktorer som målsättning och informationshantering som påverkar tillsammans med situationsfaktorer. Eleverna utvärderar effektiviteten med hänsyn till fortsatt lärande utgående från dessa faktorer. Motivationen förstärks då eleverna upplever att de gör framsteg i lärandet. Medan eleverna arbetar på uppgifter och blir skickligare upprätthåller de en känsla av självveffektivitet i prestationsavseende (Schunk, 1991, s. 209).

Upplevd *kontroll* är enligt Schunk (1991, s. 209–210) en sammanfattande term för termerna kontrollfokus[5] (*locus of control*), inlärd hjälplöshet (*learned helplessness*), strategiuppfattning (*means-ends or strategy belief*), kapacitetsuppfattning (*agency or capacity belief*) och kontrolluppfattning (*control belief*)[6]. Kontrollfokus refererar till en individs upplevda kontroll över utfall. Det är en uppfattning att utfallen antingen inträffar oberoende av individens handlande, dvs. utifrån kontrollerat av ödet, slumpen eller lyckan, eller betingas av en inre kontroll av deras egna handlingar. Inlärd hjälplöshet (Martin E. P. Seligman, refererad i Schunk, 1991) innebär att en tidigare upplevd okontrollerbarhet åstadkommer ett psykologiskt tillstånd som medför en störning i motivation, kognition och känslor. Hjälplösheten uppstår som resultat av ett upplevt oberoende mellan respons och utfall. Strategiuppfattning handlar om i vilken utsträckning de medel individen har tillgång till är effektiva för att åstadkomma önskade skeenden eller hindra oönskade. Kapacitetsuppfattning syftar på huruvida individen äger eller har tillgång till lämpliga medel, som också inkluderar ansträngning, förmåga, tur, inflytande från andra och okända faktorer. Kontrolluppfattning, slutligen, syftar på huruvida individen kan åstadkomma önskat utfall utan att hänvisa till specifika medel (Bandura, 1997, s. 27; Schunk, 1991, s. 210; Skinner, Wellborn & Connell, 1990).

I en undervisningssituation kan en viss grad av individuell kontroll vara både en viktig och nödvändig komponent. Eleverna kan känna en större motivation för lärande och – genom flera möjligheter till val – få en tydligare känsla för hur man lär sig. Detta kan öka prestationen. I undervisningssituationer där datorn används som hjälpmedel kan kontrollen över undervisningen omfatta ett

[5] eller kontroll-lokus, båda enligt Egidius (2005).
[6] Preliminära översättningar av termerna. Några av dem har funnits på webbsidor, i tidningsartiklar etc.

kontinuum, som sträcker sig från en total, utifrån bestämd, lärar- eller datorkontroll till en fullständig intern elevkontroll. De element som kontrolleras i situationer av lärande kan omfatta tempo, sekvensering, svårighetsgrad, övningsmängd och val av exempel (Kinzie, Sullivan & Berdel, 1988, s. 299; Lee & Lee, 1991, s. 491). Många elever har visat sig njuta av att få arbeta i egen takt (Hicks & Laue, 1989, s. 809) och behöver ges denna kontroll (Kinzie et al., 1988, s. 299). Då eleverna ges en sådan kontroll kan de bättre lära sig hur man lär sig, viket kan betraktas som en metakognitiv aspekt. De kan fatta beslut om undervisning, få erfarenhet av resultaten av besluten och själva fundera ut en lämplig taktik i olika situationer. Kontrollen gör det möjligt för eleverna att bestämma sig för vissa val i en aktivitet och påverka utfallen (Kinzie et al., 1988, s.299). Redish (1993, s.5) anser att konstruktiva aktiviteter i vilka eleverna känner att de har kontroll är effektivare än sådana aktiviteter där resultatet visas för dem, oberoende av om resultaten presenteras på ett åskådligt och välformulerat sätt.

I en undersökning, där elever fick datorbaserad undervisning om solenergi, visade Kinzie et al. (1988) att eleverna presterade bättre i elevkontrollerade situationer än i programkontrollerade. Emellertid stod resultaten i konflikt med vissa undersökningar och i överensstämmelse med andra. En faktor som måste beaktas i sådana sammanhang är att ”inlärningen och möjligheterna att styra denna är beroende av elevernas erfarenheter” (Grunderna för gymnasiets läroplan 1994, s. 10). I en rad studier har man tagit för givet att varje elev vet vad som är bäst för honom själv och att han kan handla i enlighet med detta. Lee och Lee (1991, s. 497) kunde i sin studie visa att elevernas förkunskap i ämnet var en påverkande faktor i fråga om effektivitet i undervisningsstrategier, som var elevkontrollerade respektive programkontrollerade. Forskarna fann också ett antal interaktionseffekter. Elevkontrollerade strategier fungerade bättre än programkontrollerade i uppgifter, som hade en enkel innehållstruktur där kraven på nödvändiga kunskaper var minimala. Skillnaden mellan elev- respektive programkontrollerade strategier var mindre då det ställdes större krav på ämneskunskap i undervisningssituationer i vilka tonvikten lades på repetition av kunskap. I situationer där ny kunskap skulle förvärvas var programkontrollerade strategier effektivare.

Investering i tid

Det är tämligen arbetskrävande att organisera undervisning med datorn som hjälpmedel. Eleverna ska ges noggrann information i förväg för att lektionen i datorklass ska fungera effektivt. Material ska delas ut, programmet ska kontrolleras så att det fungerar, instruktioner ska ges till eleverna och olika slag av praktiska arrangemang ska göras innan lektionen i datorklassen kan ta vid. Förhållandet mellan förberedelsetid och lektionstid i datorklass är betydligt större än vid traditionell undervisning i klass. Som delorsak till att lämna bort datorstöd anger lärare brist på förberedelsetid, förutom bristen på tillgång till en

egen lärardator (Dahland, 1993, s. 13, 161). Lee (1997) rapporterar att lärarnas brist på tid för planering är ett allvarligt bekymmer. Ett större problem är ändå lärarnas konstanta kamp för att hitta tillräckligt med tid för att lära sig allt nytt som har med datorer att göra.

Under själva lektionen är tiden också en betydelsefull faktor. Forskning visar att användningen av ett datorprogram kräver extra ansträngning i jämförelse med normala lektioner (Hisano & Utges, 2001, s. 644). Eleverna måste först lära sig att använda programvaran för att sedan kunna koncentrera sin uppmärksamhet på ämnesområdet. Den tid som behövs för att lära sig att ta ut fördelarna av ett simuleringsprogram och hantera det kan bli ett oöverstigligt hinder under de givna, normala villkoren för en fysikkurs. Den entusiasm som elever ändå vanligen visar för denna typ av aktivitet kompenserar nackdelarna. Eleverna är i allmänhet benägna att avsätta extra tid på arbetet. Hisano och Utges (2001) tar också upp frågan om den tid som eleverna behöver för att klara av att använda ett simuleringsprogram. Trots att det inte finns speciella svårigheter att hantera programmet är den tid som tilldelas uppgiften för kort. Eleverna hinner inte pröva alla möjligheter och alternativ som programmet erbjuder.

Också Mistler-Jackson och Butler Songer (2000) har funnit att eleverna, då de använder datorteknologi i naturvetenskaplig undervisning, måste ges tillräcklig tid till att utforska ett ämne på ett djupare plan. Korta utflykter från traditionella klassrumsaktiviteter kan väcka intresset men kan leda till en ytlig granskning av komplexa frågor. Johansen, Nordtvedt och Vold (1993, s. 579) anser också att eleverna måste ges ordentligt med tid för att de i egen takt ska kunna arbeta med de elektriska kretsarna (i ett interaktivt PC-baserat dynamiskt simuleringsprogram) tills de behärskar hela resonemangsprocessen och kan lösa problemen tillfredsställande. Det är nödvändigt att stimulera eleverna till upprepade interaktioner med kunskapen och ge omedelbar feedback så att de kan strukturera om sitt tänkande. Är det då så att elevgruppen är stor hinner läraren inte hjälpa alla i tillräcklig utsträckning. Hjälpbehovet är i allmänhet stort vid arbete med datorstöd.

Den tidsvinst som ska räknas datorbaserad undervisning till godo handlar om de komplicerade processer som datorn kan utföra på avsevärt kortare tid än vad andra metoder erbjuder. Detta har tidigare behandlats i avsnitt 3.3 och 3.4. Man kan slutligen konstatera att tidsfaktorn kan vara avgörande då man står inför valet att implementera datorbaserad undervisning. Det handlar om att balansera för- och nackdelarna.

Prestation

Målet för undervisningen i skolan är att eleverna ska kunna visa upp kompetenta prestationer som resultat av sitt lärande. Prestationer kan sägas ha en kvantitativ och en kvalitativ dimension. Den kvantitativa dimensionen handlar t.ex. om de

resultat eleven erhåller i kursprov, studentexamen eller andra prov. Det kan också handla om resultat som erhållits genom systematisk utvärdering av kognitiva processer baserad på någon taxonomi för utbildningsmål (se t.ex. De Landsheere, 1988). Den kvalitativa dimensionen syftar på prestationer, som består av elevernas kognitiva aktivitet. Viktigt innehåll i aktiviteterna är begrepp, procedurer och principer. Med hjälp av det memorerade faktainnehållet och sina egna förkunskaper kan eleverna konstruera ny, meningsfull kunskap. Om man bortser från att eleven kanske inte har lärt sig något är resultatet av lärandeprocessen enligt Mayer (1998, s. 371) antingen mekaniskt (utantill-lärande) eller meningsfullt lärande.

Här ges en kort sammanfattning av principer för att lära sig uppgifter som är invarianta (enligt bl.a. Reigeluth, 1999). Denna typ av lärande kräver att eleven memorerar faktainformation eller rutinprocedurer. Lärande på en mer avancerad nivå fordrar att eleven först har memorerat en viss information. Memoreringen görs så långt att den fungerar som automatisk respons och frigör eleven så att han kan använda sina kognitiva resurser på viktigare frågor. En elev behöver också memorera termer, t.ex. fysikaliska begrepp, för att kunna kommunicera om dem. Vid lärande som grundar sig på association presenteras ett stimulus för eleven, som sedan ger en eller multipla mentala eller fysiska responser. Associationslärande är ett mekaniskt lärande som förvärvas gradvis genom repetition och övning tills eleven känner igen det eller kan återkalla det. Då det handlar om att lära sig en procedur mekaniskt kräver det att eleven vet när och hur varje handling utförs. Det är lätt att få in information till minnet, men att återfå det ur minnet utgör ett större hinder. Mekanisk information kan eleven vanligen komma ihåg bättre om den relateras till meningsfull förkunskap.

En procedur är enligt Reigeluth (1999) en ordnad följd av steg för att nå ett mål. Procedurer kan vara fysiska eller mentala eller en kombination av dessa. Elever kan utföra en procedur mekaniskt utan att förstå varför den fungerar. Ett exempel på detta är att elever kan lära sig att beräkna en kapacitiv reaktans i en växelströmskrets utan ha kunskap om reaktans, kapacitans och frekvens (som är begrepp) eller om deras inbördes orsakssamband (som är principer). Ett exempel på orsakssamband är: ”Då man ökar en kondensators kapacitans medför det en minskning av den kapacitiva reaktansen.” Det finns ett kontinuum av procedurer, där mängden variationer sträcker sig från enkla receptliknande procedurer till procedurer som består av komplicerade, variationsrika utföranden.

En princip handlar enligt Reigeluth (1999) om sambandet mellan två eller flera förändringar. I en processprincip handlar det om en sekvens av naturliga händelser. En orsaksprincip är ett samband mellan orsak och verkan, då två eller flera förändringar äger rum. Till skillnad från begrepp och procedurer kan man säga att principer upptäcks, inte uppfinns. Principer förser eleverna med en förståelse (som behandlas nedan) av världen och en förståelse av hur och varför saker och ting inträffar. Formuleringen och demonstrationen av en princip kan

memoreras, men det som är viktigt för eleverna är att kunna tillämpa principen i nya situationer. Då en elev får i uppgift att tillämpa en processprincip innebär det att eleven beskriver en sekvens av händelser såsom den passar in på en ny situation, som han tidigare inte stött på. Vid tillämpning av en orsaksprincip nämner Reigeluth (1999) tre olika sätt för eleven att fungera. För det första handlar det om att eleven måste förutse effekten, då orsaken är given; det kan kallas implikation. Det andra sättet att tillämpa en orsaksprincip innebär att dra slutsatser: Då effekten är given ska eleven förklara orsaken. Det tredje sättet handlar om problemlösning, vilket innebär att när en speciellt önskad effekt är given måste eleven välja och implementera de nödvändiga och speciella orsakerna. Principer existerar i olika grader av komplexitet, som beror på huruvida principerna är ömsesidigt betingade eller kausala, direkta eller indirekta och kvantitativa eller kvalitativa. Komplexiteten ökar också genom att det kan finnas multipla orsaker och multipla effekter. Ytterligare kan orsaker och effekter existera i kedjor, varigenom en orsak har en bestämd effekt, som i sin tur är orsak till en annan effekt osv.

Indikation på meningsfullt lärande är att eleverna minns vad de har lärt sig och att de kan överföra färdigheter och kunskaper till kontexter utanför dem som gäller vid lärandet (Mayer, 1998, 2002; Bransford, Brown & Cocking, 1999). Novak (2002, s. 557) avser med meningsfullt lärande att en individ strävar efter att integrera ny kunskap med existerande relevanta kunskaper och utsagor i sin kognitiva struktur. Lärande som en meningsfull aktivitet kan enligt Mayer (1998, s. 369) sammanfattas i ett antal principer:

- Lärandet av ett komplicerat ämnesstoff är effektivast när det är en avsiktlig process att konstruera mening ur information och erfarenheter.
- Den framgångsrika eleven kan med tiden, och med stöd och vägledning, skapa meningsfulla, koherenta representationer av kunskap.
- Den framgångsrika eleven kan länka ny information till existerande kunskap på ett meningsfullt sätt.
- Den framgångsrika eleven kan skapa och använda en repertoar av tanke- och resonemangsstrategier för att uppnå komplicerade mål i lärandet.
- Strategier av högre ordning för att välja och följa upp mentala operationer underlättar kreativt och kritiskt tänkande
- Lärandet påverkas av miljöbetingade faktorer, som innefattar kultur, teknik och undervisningspraxis.

De två sistnämnda principerna pekar på betydelsen av metakognitiva strategier respektive yttre påverkningsfaktorer.

Meningsfullt lärande avser att eleverna ska utveckla en känsla för de förutsättningar som gäller för att kunna tillämpa det som de har lärt sig och att de ska förstå de underliggande principerna som kan tillämpas på problem i nya kontexter (Bransford, Brown & Cocking, 1999; Mayer, 2002). Integrationen av

nya begreppsbetydelser i individens kognitiva struktur beror av individens ansträngning för att sträva efter denna integration, av kvantiteten och kvaliteten på individens existerande, relevanta kognitiva struktur men också av individens varierande tillvägagångssätt och varierande emotionella dispositioner. Vid rent mekaniskt (utantill-)lärande förekommer det inga nämnvärda integrationer av nya begreppsbetydelser. Emellertid är det svårt att underlätta för eleverna att förvärva en kraftfull och giltig begreppsram (Novak, 2002, s. 551–552). Eleverna hjälps i sitt självständiga lärande om de har begreppsförståelse (Bransford, Brown & Cocking, 1999). Väsentlig är förståelsen av principer och orsaksmodeller, dvs. att etablera samband mellan verkliga händelser och de allmängiltigheter som representerar dem och att lära sig om nätverket av orsakssamband bland dessa händelser (Reigeluth, 1999).

Olika typer av förståelse

Begreppet *förståelse* kan analyseras ur ett flertal synvinklar och Janvier (1987b) förliknar begreppet med ett isberg som ”hemlighåller mer än det visar” (s. 67). Janvier framhåller några karakteristiska drag:

> 1. Understanding can be checked by the realization of definite mental acts. It implies a series of complex activities.
> 2. It presupposes automatic (or automatized) actions monitored by reflexion and planning mental processes. Therefore, understanding cannot be exclusively identified with reflected mental activities on concepts.
> 3. Understanding is an ongoing process. The construction of a ramified system of concepts in the brain is what brings in understanding.
> ...
> 4. Several researchers attempt to determine stages in understanding. We incline to believe that understanding is a cumulative process mainly based upon the capacity of dealing with an ”ever-enriching” set of representations. The idea of stages involves a unidimensional ordering contrary to observations.

Perkins (1993) och Perkins, Crismond, Simmons och Unger (1995) har ett prestationsperspektiv på förståelse som de kallar ”understanding performance” eller ”performance of understanding”, här översatt till förståelseprestation. Det handlar om att en elev kan bygga på och demonstrera sin förståelse genom att omforma, utveckla, härleda från och tillämpa det som han redan vet. Utmärkande egenskaper för en förståelseprestation är för det första att människor kan visa prov på sin förståelse av saker genom att lägga fram förklaringar. För det andra uttrycker människor sin förståelse genom förklaringar som har konstruerats av riklig relationell kunskap. Den tredje egenskapen handlar om att människor demonstrerar sin förståelse genom att omarbeta och utvidga sina förklaringar (Perkins et al., 1995, s. 72–73).

En människa behöver ha tillgång till ett rikt nätverk av begrepp, som kodats mentalt i form av t.ex. ord, bilder eller formella principer, dvs. en förklarings-struktur. Denna är mer än en memorerad förklaring, eftersom den kan utvidgas

och omarbetas. Komponenter i förklaringen kan vara välinövade substrat, medan andra är utvidgningar av dessa och en del av dem är nya och skapade momentant. Förståelsen är dock ömtålig i den betydelsen att utvidgningarna av förklaringarna kan vara temporära (Perkins et al., 1995, s. 73–74). Att människor har förståelse kännetecknas av följande:

> They have explanation structures, rich extensible revisable networks of relationships that explain relevant aspects of the topic. Any explanation structure includes a stable substrate and momentary extensions, many of which will be forgotten but others that will get consolidated into the substrate. An explanation structure only counts as an understanding because it is extensible and revisable. If not, it would just be a rigid template (s. 74).

De resurser som måste tillgripas för att bygga, utvidga och revidera förklaringsstrukturerna är 1) kunskap, dvs. tillgång till en viss sorts kunskap om ämnet, 2) representationer, dvs. tillgång till kunskap som underlättas av välvalda representationer, t.ex. prototypfall eller åskådliga diagram, 3) återställningsmekanismer, dvs. tillgång till sådana mekanismer som möjliggör att återfå relevant information från minnet eller någon yttre källa, t.ex. att erinra sig vad som har stått i läroboken, och slutligen 4) konstruktionsmekanismer, dvs. tillgång till nya innebörder, vidareutvecklingar, tillämpningar etc. som förmedlas av effektiva konstruktionsmekanismer för att bygga nya förklaringsstrukturer (”the four dimensions of the Access Framework”, Perkins et al., 1995, s. 75)

Kunskapsdimensionen inom denna referensram innebär att man måste ha någon form av kunskap om innehåll för att uppnå förståelse. Men man måste också ha kunskap av högre ordning: problemlösningskunskap och epistemisk kunskap (Perkins et al., 1995, s. 75). Elever måste ha kunskap om hur man löser problem, så att de kan skapa mening ur den information som strömmar in och kunna tillämpa den på ett lämpligt sätt. Elevers kunskap i problemlösning är ofta begränsad eller till och med så beskaffad att den motverkar sitt syfte. En sådan strategi är exempelvis försök och misstag, en annan att man först framhärdar i ett tillvägagångssätt och sedan ger upp, en tredje att man försöker gå framåt med stöd av gissningar (Perkins & Simmons, 1988, s. 310). Strategier som leder framåt i problemlösningsprocessen är t.ex. sådana där eleverna följer upp framstegen och håller sig kvar vid uppgiften, bryter ner problemet i hanterbara delar, söker alternativa lösningar, men också sådana där elevernas uppfattningar och attityder sporrar till problemlösande. Med den epistemiska kunskapen avses att eleven har kunskap om vilka spelregler som gäller för att kunna bekräfta och förklara, t.ex. att vetenskapliga teorier måste hänga ihop eller att lagar måste överensstämma med evidens på det som händer i världen (Perkins et al., 1995, s. 76–77).

Sådana representationer som effektivt anknyter till en människas aktuella förståelse kallas konceptuella ankare (*conceptual anchors*). Representationerna hjälper eleven att bygga förklaringsstrukturer genom att de är särskilt klara, lätta

att minnas och relevanta. Multipla representationer är fördelaktiga (se bl.a. Goldenberg, 1995; Snir, Smith & Grosslight, 1995), eftersom flera kompletterande representationer behövs för att bygga en komplicerad förklaringsstruktur. De hjälper till att relatera ny kunskap till gammal och till och med att strukturera om gammal kunskap (Perkins et al., 1995, s. 79).

För att kunskaper och representationer ska kunna fungera som verktyg för förståelse måste de återfås från långtidsminnet. Detta sker antingen så att uppgiftskontexten görs så att relevanta kunskapsstrukturer dyker upp eller så att individen avsiktligt måste anstränga sig för att leta efter relevant information. En betydande del av en människas kunskaper är emellertid inert och svår att få fram. Kunskaper som associeras till någon kontext har däremot visat sig stimulera strukturerna i målkunskapen (Perkins et al., 1995, s. 80)

Konstruktionsdimensionen handlar om det komplicerade att bygga ny förståelse och involverar upptäckandet av likheter, symmetrier och hierarkier bland fakta inom ett område för att de ska kunna dras ihop till en strukturhelhet. Ett tillvägagångssätt är att man begriper en sak direkt, ett annat att man arbetar sig igenom den. I det förra fallet handlar det om att man bygger förståelse för nya situationer om man bringar ordning i, anpassar och koordinerar fakta eller förklaringar som man påminns om. Förståelsen kommer snabbt och intuitivt. Nackdelen är att man inte har relevanta kognitiva strukturer som tillåter att man snabbt kodar kännetecknen i sådana situationer där man ska bygga ny förståelse i nya frågor. Detta intuitiva tillvägagångssätt frambringar förenklade förklaringsstrukturer som reducerar komplicerade frågor till stereotyper och slutar med att man införlivar ytliga drag i sina naiva begrepp. Det andra tillvägagångssättet, att arbeta igenom, involverar en utarbetningsprocess, dvs. en process, där man reflekterar över, utvidgar och testar idéer. Detta förbättrar återkallandet och djupet av en kognitiv struktur. Man placerar idéer i kategorier och skapar nya kategorier när andra inte längre fungerar. Man refererar till varierande exempel, klarar ut sådant som är i oordning, granskar tidigare misslyckade prototyper, tillfälliga gissningar och felaktiga slutsatser (Perkins et al., 1995, s. 82).

Forskning visar att elevers begreppsförståelse efter en genomgången fysikkurs ofta är svag. Problemlösningsstrategier fokuseras i allmänhet på att lära sig ekvationer utantill, återkalla dem i minnet och manipulera dem för att lösa problem, i stället för att uppfatta problemlösning som tillämpning av ett litet antal centrala idéer över ett vidsträckt område av problemlösningskontexter. Ett viktigt mål är alltså att eleverna förstår de huvudsakliga begreppen och principerna. En nyttig strategi är en form av begreppsbaserat kvalitativt resonemang i undervisningen i fysik (Leonard, Dufresne & Mestre, 1996). Kvalitativa frågor, som kräver att eleverna förklarar sina tankegångar, kan engagera deras intresse, fokusera uppmärksamheten på nyckelfrågor och uppmuntra till reflektion (McDermott, 1991, s. 314). För att detta tillvägagångssätt ska vara effektivt måste kurstentamina också innehålla liknande typer av

frågor, i annat fall är eleverna inte intresserade av att investera i tid och ansträngning för att lära sig behärska förklaringar av kvalitativa uppgifter. Enligt McDermott, Shaffer och Constantinou (2000, s. 412) är också lärarens förmåga i kvalitativt resonemang av vitalt intresse och lika nödvändig som kvantitativa färdigheter.

I en undersökning (McDermott & Shaffer, 1992) av elevers förståelse av elektriska kretsar kom forskarna fram till det faktum att eleverna inte bara hade svårigheter av begreppslig natur utan också oförmåga att utveckla och tillämpa begrepp genom kvalitativt resonemang. För det första hade eleverna en tendens att resonera sekventiellt och lokalt i stället för holistiskt. När en förändring gjordes i en krets fokuserade elever ofta uppmärksamheten på den punkt där förändringen skedde. De hade svårigheter med att inse att en förändring som gjordes på ett ställe i kretsen åstadkom förändringar på andra ställen. Den andra svårigheten var bristen på en begreppsmodell för att kunna förutse och förklara beteendet hos enkla likströmskretsar. Eleverna hade inte sammanställt de grundläggande elektriska begreppen till en koherent referensram. På grund av bristen på en begreppsmodell tillgrep eleverna formler, förlitade sig på intuition eller försökte sig på båda. Elever försökte tillämpa fysikaliska lagar och godtyckligt tilldela storheter numeriska värden. Ofta hände det att eleverna valde storhetsvärden som sinsemellan var oförenliga. Eleverna tog ibland till intuition då numeriska värden saknades.

Inom matematikkontexten talar Skemp (1976) om instrumentell och relationell förståelse. Instrumentell förståelse handlar om förmågan att tillämpa regler på lösningen av problem utan att veta varför reglerna fungerar. Relationell förståelse innebär förmågan att härleda regler eller procedurer ur matematiska samband av mer allmänt slag, dvs. att veta både vad man ska göra och varför (Skemp, 1976, 1979; Byers & Herscovics, 1977). Fördelarna med instrumentell förståelse är enligt Skemp (1976, 1979) för det första att eleverna jämförelsevis lätt klarar av att lära sig en mängd regler som inte nödvändigtvis är isolerade utan kan kombineras och tillämpas i följd. För det andra är belöningen vid instrumentellt lärande mer omedelbar och påtaglig. Känslan av att lyckas är betydelsefull för eleven. Den tredje fördelen är att eleven snabbt och effektivt kan komma till korrekta svar eftersom mindre kunskap är involverad. Instrumentellt lärande har emellertid en begränsad användbarhet, eftersom reglerna består av att manipulera symboler. Det sker en koppling mellan symboler och inte mellan begrepp.

Instrumentell förståelse överförd till fysikämnet omfattar bland annat elevernas hantering av formler. I fysik löser eleverna i allmänhet ett problem genom att ta reda på variabler som presenteras i problemet, matcha dem med ekvationer och lösa dessa med avseende på den obekanta variabeln (bl.a. Perkins & Simmons, 1988). Inte sällan sker det med en mekanisk, jämförande metod, där eleven ser vilka variablers numeriska värden som är givna och därefter med hjälp av en

formeltabell tar reda på vilken formel som passar in i sammanhanget. Avsaknaden av känslan för problemets struktur leder dock lätt till miss-uppfattningar och förväxlingar av begrepp, vilket ofta sker t.ex. vid behandling av likformig rörelse och accelererad rörelse.

Fördelen med relationell förståelse är att den är mer anpassningsbar till nya uppgifter. Eleven behöver inte minnas vilka problem som en given metod fungerar eller inte fungerar för. Inte heller måste eleven lära sig olika metoder för varje ny klass av problem, något som är fallet vid instrumentell förståelse. För det andra är relationell förståelse mindre ansträngande för minnet på lång sikt. Relationellt lärande kräver visserligen mer arbete och större ansträngning på kort sikt genom att eleven måste lära sig hur regler härleds och hur olika regler är inbördes besläktade. Resultatet av lärandet är varaktigare eftersom begrepp och regler med denna metod blir delar i en kopplad helhet. Den tredje fördelen är enligt Skemp (1976, 1979) att relationell kunskap i sig kan tjänstgöra som ett effektivt mål. Behovet av yttre belöning eller rentav straff minskar; de aktiviteter som är involverade i relationellt lärande är i sig själva en källa till personlig njutning. Slutligen anses relationell förståelse kunna leda eleven till intellektuell utforskning; relationella scheman är av fundamental beskaffenhet (Byers & Herscovics, 1977; Skemp, 1976, 1979). Då elever får tillfredsställelse av att förstå relationellt är det lätt att tillämpa denna förståelse på nytt stoff och dessutom aktivt söka nytt stoff och utforska nya delområden.

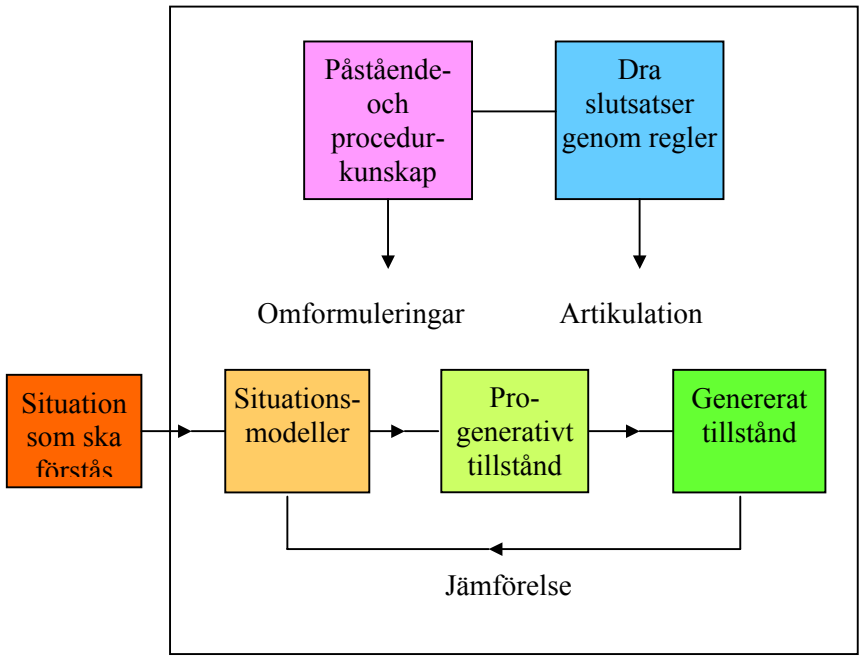
Skemp (1976) pekar på en rad faktorer som bidrar till svårigheterna för lärare att satsa på relationell förståelse i undervisningssituationerna. Sådana faktorer är följdeffekter på examina, överfyllda kursplaner, svårigheter vid utvärdering och psykologiska svårigheter för lärare att omstrukturera sina existerande scheman, som använts under lång tid. En närmare granskning av dessa görs inte här.

Behovet av att förstå specifika kausalsituationer är central inom många kunskapsområden. I fysikundervisningen är kausal förståelse ett av de viktiga målen. Newton (1996) redogör för en modell som stöder förståelsen av kausal-situationer i naturvetenskap. En kort sammanfattning av denna modell ges här.

Figur 15 representerar de processer som är involverade i konstruktionen av en generativ mental modell av t.ex. en fysikalisk situation. Den observerade eller beskrivna situationen måste representeras mentalt som en situationsmodell. Om den fysikaliska situationen inte är fysiskt närvarande måste den beskrivas verbalt, vilket fordrar förkunskap, en medvetenhet om vad som är relevant samt konstruktion av en eller flera mentala modeller av situationen. Det kan vara nödvändigt att omkonstruera, omformulera eller förenkla denna mentala modell för att komma till en potentiellt fruktbar utgångspunkt. Tidigare erfarenhet av situationen, speciella kännetecken och en idealisering av situationen är fördel-aktig vid konstruktionen av ett progenerativt tillstånd. Denna process tar i

anspråk en stor mängd påståendekunskaper (att veta vad) och procedurkunskaper (att veta hur).

Det progenerativa tillståndet måste bearbetas. Med denna bearbetning eller förädling menas att artikulera, manipulera och gå igenom den mentala modellen. Detta sker i arbetsminnet, som dock har en begränsad kapacitet. Eleven kan skissera diagram, som tjänar som extra minne, och därigenom frigöra kapacitet för vidare bearbetning. Det är lämpligt att utföra en sådan mental modell baklänges från något slutresultat lika väl som framåt från det progenerativa tillståndet. Det har dock visats att sambanden accepteras villigare om tidssekvensen motsvarar händelsernas naturliga ordning.



Figur 15. Förståelseprocesser (ur Newton, 1996, s. 203).

Det som formar omvandlingen av en mental modell mot något måltillstånd är att man artikulerar och drar slutsatser genom regler. För att begränsa missuppfattningar kan förvärvande av en generalisering, som ska underbygga dragandet av slutsatserna genom regler, ofta vara mer strukturerad, noga övervägd och formell. Där kan man skilja mellan reflexivt resonemang (att spontant dra slutsatser i vardagssituationer) och reflekterat resonemang (det fokuserade resonemanget av medveten planering och problemlösning).

Artikulationen syftar till att förändra en mental modell av en situation mot ett tillstånd som uppvisar en motsvarighet till den situation som ska förstås. Detta tillstånd är en generativ mental modell av situationen. Det är en förklarande mental modell i det att den kan tjäna som grund för en förklaring av situationen; den är förutsägande när måltillståndet är obekant och bekräftande när den tillhandahåller en orsak. Att framgångsrikt konstruera och artikulera en mental modell för dessa syften konstituerar förståelse.

Tillfredsställelse

Inre tillfredsställelse innebär att en aktivitet är tillfredsställande eller angenäm i och av sig själv. Njutbara aktiviteter deltar man vanligen i bara för de fina känslor man automatiskt och naturligt får från dem utan att man kräver någon belöning för dem. Inre belöningar innefattar också angenäma inre känslor eller tankar, såsom att känna sig stolt eller att ha en känsla av behärskande som en följd av att studera intensivt och lyckas i en klass. Inre tillfredsställelse beror inte på medveten avsikt, av att någon annan gör något eller av att en påtaglig belöning förväntas. Den är en känsla, inte nödvändigtvis en handling. Den kan kanske inte upptäckas av andra. Den inre tillfredsställelsen, då man utför meningsfulla, viktiga uppgifter relateras dels till hur mycket man åstadkommer, dels till att man har en stark självkänsla, till självefffektivitet eller till uppfattningen att man är kompetent att hantera arbete och problem och tänka att man är självbestämmande i livet (Tucker-Ladd, 2002).

Tucker-Ladd och andra forskare menar dock att de flesta aktiviteter inte är tillräckligt tillfredsställande i sig själva, utan man behöver förses med yttre motivation i form av belöning eller positiv förstärkning eller uppmuntran. Det kan också handla om att man vill undvika någon otrevlig betingelse, en negativ förstärkning eller ett straff. Yttre belöning kan i sällsynta fall till och med förorsaka problem när förstärkningen kontrolleras eller manipuleras av någon annan. Trots att lärande i sig är potentiellt fascinerande är skolan en plats där man kontrolleras, hotas med dåliga vitsord och tvingas göra meningslösa uppgifter, vilket kan bli tråkigt och stressande. Emellertid är, enligt Tucker-Ladd, all yttre belöning inte på något sätt dålig eller ineffektiv. Belöningar har en vital betydelse, speciellt i situationer av självkontroll och med viktiga uppgifter som inte i sig är högintressanta. Belöningar som ges på ett anspråkslöst, uppmuntrande och berömmande sätt kan till och med öka den inre tillfredsställelsen att göra saker som man alltid har tyckt om att göra. Ames och Archer (1988, s. 261) noterar att forskningen visat att ”tillfredsställelse och glädje i lärande är större när klassrumsmiljön upplevs uppmuntra elevengagemang och en känsla av personligt ansvar och när eleverna själva är engagerade i att förstå och lära sig”. Engagerade elever blir stimulerade av lärande. De hämtar spänning och njutning från lärandet, som i sig självt är motivationsskapande. För eleven resulterar det i en livslång passion att lösa

problem, att förstå och att gå vidare i sitt tänkande och sina aktiviteter (Jones et al., 1995, s. 8).

Inre tillfredsställelse i fråga om studier kan exempelvis handla om det intressanta i att inhämta ny kunskap. Den tillfredsställer vår nyfikenhet, det känns bra att förstå. Då man sammanför gammal och ny information så att den blir mer begriplig får man en tillfredsställande känsla. Genom att förvärva tillräckligt med information, så att man känner sig kompetent och kunnig jämfört med andra, får man en känsla av behärskande. Att använda kunskapen för att göra något, t.ex. skriva och tala eller tänka att man gör det, känns glädjande och kan också vara skapande. Att planera sitt eget lärande och att öva sig i självdisciplin och ansvar som är involverad i detta kan skapa stolthet. Det är också djupt tillfredsställande att lära sig lösa problem och att hjälpa andra (Tucker-Ladd, 2002). Optimalt lärande innehåller, förutom kognitiva aspekter, också motivationsaspekter. I explorativa situationer, utan direkta krav på att sträva efter fokuserade prestationer, befrämjas lärandet om eleverna stöttas så att de utvecklar förmåga att värdera och hämta tillfredsställelse ur läroområdet eller aktiviteten (Brophy, 1999, s. 83):

> This kind of motivational scaffolding would begin with selecting appropriate learning activities in which to engage students in the first place, then following through by introducing them in ways that inform students about the activities' purposes and about what students can expect to get out of them, providing coaching that includes making statements or asking questions that draw students' attention to aspects of the learning experience from which they can take satisfaction (i.e., helping the students to appreciate the activity's "affordances"), and providing feedback that stimulates students not only to recognize but also to appreciate their developing expertise.

3.6 Forskningens specifika syften

Den konkreta, intentionella undervisningsverksamheten ska planeras i förväg. Enligt Uljens (1997a, s. 68; 1997b, s. 177) bygger denna planering på fyra centrala frågor: mål, innehåll, metod och representation. Beträffande undervisningsmålen måste läraren relatera de kollektiva målen (som finns t.ex. i den nationella eller kommunala läroplanen) till sina personliga syften med undervisningen och till sin egen pedagogiska filosofi. Lärarens antaganden om kunskapens natur (t.ex. inom fysiken) och föreställningar om möjligheterna att uppnå insikt eller färdighet påverkar valet av mål. Individens behov och intressen måste beaktas, likaså relationen mellan lärarens sätt att arbeta i klassen och målen. Valet av relevant innehåll måste relateras till utbildningens syften, elevernas kulturella och psykologiska aspekter och det kunskapsområde som ska representeras (Uljens, 1997a, s. 70; 1997b, s. 178). Den tredje frågan handlar om metod, ett begrepp som enligt Uljens (1997a, s. 71) inte kan definieras utan att referera till ”en individs verksamhet för att stöda en annan individs an-

strängningar att nå kompetens genom lärandeprocessen". En reflektion över vilka verksamheter som krävs behöver nödvändigtvis inte innebära att tänka på metoder som tekniker; begreppet metod kan också täcka beslut som handlar om utbildningsmål och -innehåll. Vad undervisningssituationen beträffar finns det en ömsesidig relation mellan elevernas arbetsmetoder och innehåll. I en pedagogisk miljö (*setting*) reglerar innehållet hur det ska hanteras. Det fjärde delområdet i lärarens planering inför en undervisningssituation är valet av representationsform. Det talade och skrivna språket kan kompletteras med symboliskt och avbildande (*pictorial*) material. I vilken form olika typer av kunskapsområden ska representeras måste avgöras i förhållande till ämnesområdet, den population undervisningen riktas till, syftet med undervisningen och tillbudsstående resurser (Uljens, 1997a, s. 73–74; 1997b, s. 178). Uljens understryker det ömsesidiga beroendet av dessa fyra aspekter, vilket betyder att lärarens planering kan utgå från vilken som helst av dem.

Det didaktiska ingenjörsarbetet, som inbegriper design och produktion av didaktiska sekvenser för undervisning i klassen (se avsnitt 2.2), kan sättas i gång med utgångspunkt i det ovan aktualiserade synsättet på didaktisk planering. För att strukturera planeringen används Uljens' (1997a) skoldidaktiska modell så att den fungerar som hjälp i analysen av pedagogisk praktik:

> For a teacher the analytic aspect of the model means that they can reflect rationally and systematically on their practical pedagogical activity. The normative and prescriptive aspect refers to the value-laden decisions a teacher makes concerning goals, contents and working methods in relation to e.g. the subjects' needs, the curriculum, resources, personal competence, local context etc. It also includes the practice of teaching and evaluation of both achievements and process (s. 116–117).

Emellertid är den didaktiska produktionen i denna studie kopplad till forskning. De preliminära reflektionerna kring lärarens (och forskarens) planering av det didaktiska handlandet utmynnar i tre forskningsfrågor, som spjälkar upp den allmänna forskningsfrågan i avsnitt 1.2 och inringar det forskningsproblem som ligger för handen. Uljens (1997a) uttrycker en didaktisk teoris roll i lärarens pedagogiska reflektion så här:

> The fundamental reason why teachers and researchers may be compared ... is that there is a similarity with respect to how these groups are related to practice and theory. The point is that individual reflection and learning may, to a certain degree, be compared to the process of scientific research and its way of creating knowledge (s. 117).
>
> ---
>
> If one considers acting as a teacher on the basis of structured reflection, one can say that the teacher uses the actual [school didactic] model as a lens through which new impressions are interpreted (s. 118).

Ett didaktiskt undervisningsverktyg

Kozma (1991) hävdar att lärande med hjälp av datorn har kognitiva effekter, i synnerhet sådana effekter som att strukturera, gestalta och modifiera mentala modeller. I avsnitt 3.2 framställdes behovet av förändring och i avsnitt 3.3 och 3.4 gjordes en reflektion över en rad argument för datorns roll som verktyg i undervisningen. Det finns alltså stöd för att ett ökat utnyttjande av datateknik i undervisningen av komplicerade fysikaliska samband kan befrämja elevernas lärande. I den uppgiften handlar det också om att lyfta fram lärarens aktiva roll i att personligen producera de datorbaserade hjälpmedlen. Det finns visserligen kommersiella datorbaserade, färdiga verktyg för undervisning, men Kirschner och Huisman (1998, s. 672) gör gällande att det är svårt att införliva dem och anpassa dem för undervisningsbruk förutom att det är krångligt att göra ändringar i källprogrammet. I denna studie har jag valt att ta fram en egenhändigt producerad tillämpning med ett kommersiellt kalkylprogram (Excel) som plattform.

Datorns kapacitet att behandla information kan komplettera människans. I undervisningssammanhang kan datorn underlätta operationer som eleven själv också är kapabel att utföra eller att utföra sådant som eleven inte kan (Kozma, 1991, s. 181). Datorn kan användas för att hjälpa eleverna att konstruera länkar mellan symbolområden (*symbolic domains*) såsom grafer och de reella fenomen de representerar. Det karakteristiska med datorn är dess förmåga att transformera mellan symbolsystem och att processa informationen, dvs. operera på symboler i enlighet med specifika regler exempelvis fysikaliska lagar (s. 195).

Det traditionella sättet att närma sig fysikundervisningen, bland annat att analytiskt lösa ekvationer och ekvationssystem och utföra praktiska experiment, kan kompletteras med att utnyttja ett interaktivt, datorbaserat verktyg för att undersöka fysikaliska samband. Eleverna kan, åtminstone temporärt, lämna ”formelfysiken” och se på fenomenen och begreppen på ett kvalitativt sätt och tolka dem ur grafisk och numerisk synvinkel. Det är nödvändigt att sådana verktyg för undervisningsbruk är så beskaffade att ”en icke-algoritmisk, avformaliserad väg öppnas till ett för både elev och lärare tillfredsställande svar” (Dahland, 1993, s. 95). Som lärare anser jag det motiverat att fokusera på sådana områden inom fysiken där eleverna har svårigheter att inhämta kunskap om och förståelse av begreppen.

> The use of computers to assist in the learning process has usually been aimed at the elaboration of a concept, where it is used in some sort of modelling or simulation. The involvement of a student in an interactive activity that is based upon a required concept encourages understanding in a way that can actually be avoided during genuine practical experiments (Bacon, 1993, 99).

Med det datorbaserade verktygets hjälp fördjupas informationen i det stoff som behandlas och tas upp på ett annorlunda sätt genom att låta den fysikaliska

kunskapen i numerisk, grafisk och symbolisk form representeras parallellt. Möjligheten att dynamiskt styra det fysikaliska förloppet gynnar elevens aktiva delaktighet i sitt eget lärande. Dynamiken skapar möjligheter att visuellt iaktta vilka storheter som samvarierar med en given storhet (Eklund, 1995).

> The possibility of representing information in multiple modes such as tables, graphs, and animation on the computer screen facilitates learning. Making connections between the phenomena the students investigate, the verbal representation of the results, and their graphic or tabular representation emphasizes salient information. It also allows students to achieve better outcomes by offering each student a variety of choices in representation (Friedler, Nachmias & Linn, 1990, p. 174).

Den första frågan handlar således om att designa och producera ett datorbaserat verktyg med en didaktisk potential: **Hur ska ett didaktiskt, datorbaserat verktyg vara beskaffat så att det kan representera fysikaliska samband i numerisk och grafisk form parallellt och dynamiskt på dataskärmen?**

I avsnitt 4.1 sammanfattas argument för design och produktion av ett datorbaserat verktyg. Det kommer att ha funktionsegenskaper som klassificerar det som en hybrid av datorbaserad simulering och virtuella experiment. Utifrån de egenskaper som karakteriserar verktyget kan det kallas ett *PDR*-verktyg (PDR = parallella dynamiska representationer).

Implementering i växelströmskurs

Ett datorbaserat verktyg har isolerat ingen betydelsefull funktion. Det är först i kontexten undervisning och lärande som verktyget får mening. Undervisningen av växelströmsläran i kursen Elektrodynamik på gymnasienivå i Svenskfinland (denna precisering görs för att kontexten också bestäms av de tillbudsstående läroböckerna, se avsnitt 3.2.) upplevs vara förenad med en mängd svårigheter både för lärare och för elever. Kursen innehåller en lång rad nya begrepp och behandlar ett fysikområde där storhetssambanden är många och komplicerade. Grafer intar en central plats, men presenteras i statisk form. I reella experimentsituationer representeras de grafiska sambanden med oscilloskopets hjälp. I datorvärlden kan man låta datorn dels simulera de mätinstrument som används i verkligheten, dels producera både numerisk och grafisk information om växelströmskretsen. Dessutom kan ett simuleringsprogram förses med ”begreppsförstärkande” komponenter, pilar, linjer, textrutor o.dyl., som kan placeras in i grafer eller figurer och representera någon storhet, någon egenskap hos ett objekt eller fenomen, ange riktning eller ge tilläggsinformation i någon sak.

Forskningen har visat att det är möjligt att i undervisningen utnyttja datorns unika möjligheter att representera kunskap. Trots att det kan verka anspråksfullt att introducera och studera enkla, seriekopplade växelströmskretsars (RLC-kretsars) funktion på den detaljnivå och med den möjlighet till begrepps-

utveckling som ett datorbaserat verktyg erbjuder, borde sådana kretsar inte ignoreras utan undersökas noggrant på grund av kretsarnas komplexitet. Tillämpningsområdena där växelströmskretsar är involverade är många. Huvudparten av den elektriska energin i samhället distribueras i form av växelströmsenergi från generatorer. Ett annat stort område är ljudteknisk apparatur, elektriska instrument och högtalare, där komplexa vågformer alstras. Dessa komplexa vågformer kan betraktas som kombinationer av sinusformade vågor (genom Fourier-analys) (Halliday, Resnick & Crane, 1992, s. 843) och yttrar sig som växelströmmar i apparaturens ledningar och kretsar. Genom att förstå beteendet hos kretsar med sinusformade växelströmmar kan man med hjälp av analogi förstå beteendet hos kretsar med strömstyrkor som varierar godtyckligt (med avseende på tiden).

Den huvudsakliga kontexten för PDR-verktygets tillämpning är undervisningen av växelströmsläran på gymnasienivå. För att karakterisera verktygets tillämpningsområde har jag valt att till akronymen *PDR* sätta suffixet *ac*, som i sin tur är akronym för *alternating current*, växelström. Det datorbaserade verktyget för undervisning i växelströmsläran får således akronymen *PDRac*.

PDRac-verktyget görs användarvänligt så att eleverna också själva kan försöka upptäcka och analysera växelströmsfenomen, se samband och öva sig i de begrepp som ingår i sådana undervisningsavsnitt som verktyget rimligen kan täcka inom ramen för växelströmsläran. Eleven ska då individuellt, i egen takt eller i samarbete med andra elever och läraren och genom kvalitativt resonemang kunna fördjupa sig i och förstå begrepp och fenomen i växelströmsläran på ett sätt som inte tillräckligt tillgodoses i den traditionella undervisningen.

En konsekvens av det ovan sagda är att eleverna ska kunna använda verktyget också i sina självstudier. Eftersom eleverna i allmänhet har relativt fri tillgång till datorer i gymnasiet kan självstudierna förläggas till skolans datasal eller motsvarande datorförsedda utrymmen. Emellertid har gymnasieeleverna idag egna datorer hemma och kan utnyttja fritiden för att fördjupa sig i växelströmsfenomen med verktygets hjälp. Det förutsätter att eleverna får fri tillgång till verktyget, dvs. att kopiera det för personligt bruk. Eleverna har däremot inte fri tillgång till laboratorieutrymmen och -material. Syftet är inte att byta ut reella experiment mot virtuella; det handlar om att komplettera undervisningen så att eleverna i varje fall får en möjlighet att skaffa sig och befästa kunskap som de inte har kunnat tillgodogöra sig.

Dessa reflektioner kring implementeringen av verktyget i undervisningen av växelströmsläran leder då till följande fråga: **Hur kan man implementera PDRac-verktyget så att det fungerar som stöd i lärandeprocessen vid undervisningen av gymnasiekursen i växelströmslära?**

I kapitel 2 behandlades teorin om didaktiska situationer och sådana begrepp inom *didactique* som är relevanta i denna studie. Eleven är i den didaktiska situationen i en konstant växelverkan med den miljö som inkluderar datorverktyget PDRac, handlednings- och övningsmaterialet och andra elever. (Eftersom läraren potentiellt har för avsikt att undervisa och eftersom ett didaktiskt kontrakt existerar mellan eleven och läraren kan läraren i viss mån inkluderas i miljön.) Till miljön räknas också den detaljinformation, som härrör från de aktuella problemsituationerna. I denna miljö har datorn en central roll som det huvudsakliga arbetsredskapet vid lärandet. Emellertid har eleverna dock inte tillgång till egen dator i sitt klass- eller ämnesrum. De är hänvisade till att använda datasal eller gemensamma datorer i andra utrymmen eller eventuellt någon enskild dator i klassen. Därför är det svårt att arrangera en längre sekvens med datoranvändning t.ex. i en hel kurs eller i en väsentlig del av kursen.

Tröskeln att lära sig använda PDRac-verktyget ska vara låg. Verktyget ska ändå ge en snabb och viktig återkoppling till det som eleverna har lärt sig. Primärt fokus i denna studie är de specifika episoder inom vilka en elev interagerar med förmedlad information för att påverka lärande (jfr Kozma, 1991, s. 180). En grundligare analys av hur sådana episoder arrangeras fortsätter i avsnitt 4.2.

Effektivitetsperspektiv på lärandeprocessen

Det preciserade målet är således att undersöka möjligheterna att förändra undervisningen i ett delområde av fysiken. Utgångsläget är att PDRac-verktyget antas inneha en didaktisk potential i likhet med de tidigare presenterade formerna av datorimplementeringar (avsnitt 3.3–3.4). Verktyget ska fungera som en förstärkning till den traditionella undervisningen, laborationerna och demonstrationerna, väcka intresse hos eleverna och motivera dem att fördjupa sig i växelströmskretsars begreppsvärld och se orsakssamband genom att interagera med verktyget. En förväntad effekt är då att lärandet befrämjas. Användningen av verktyget kan bidra till en större effektivitet i lärandeprocessen genom möjligheten att fokusera på sådant som är svårt att undervisa på annat sätt. Implementeringen av datorbaserade verktyg öppnar nya möjligheter men medför också metodiska komplikationer och oklarheter och blir därmed ett objekt för forskning. McDermott (1990) skriver:

> Research and software development are more likely to yield useful results when carried out concurrently in an instructional setting. We have found that development in a research and teaching environment encourages further research, generates ideas for new instructional approaches, and facilitates repeated testing. Furthermore, the classroom serves as a daily reminder of instructional realities. Of course, the same is true for printed materials. Moreover, when printed and computer-based materials are developed in close proximity, both types of products are enriched since feedback from either can benefit both (s. 462).

Forskningen måste fokusera på problem som relateras till implementeringens effekter. En ofta ställd fråga i samband med att en innovation introduceras i undervisningen är: Kan innovationen göra undervisningen mer effektiv? Schunk (1991, s. 227) skriver:

> Teachers are understandably concerned about teaching students skills; however, simply possessing skills does not ensure that students will be motivated to apply them. In their instructional planning, teachers need to take into account how given procedures affect students' sense of efficacy.

I föreliggande studie vill jag därför undersöka aspekter på den effektivitet i lärandeprocessen som det aktuella PDRac-verktyget kan tänkas ge upphov till för de inblandade aktörerna. Det handlar därför om *aktörernas egna uppfattningar av effektivitet*, för lärarnas del då de har för avsikt att använda verktyget i undervisningen, för elevernas del då de använder det i lärandeprocessen.

Begreppet effektivitet kopplat till lärandeprocessen måste därför noga definieras i relation till den referensram och det syfte som studien förutsätter. I jämförelse med traditionell undervisningsmiljö är denna miljö annorlunda och jag vill snarare undersöka aktörernas uppfattningar av effektivitet i själva lärandeprocessen i denna miljö än exempelvis vad de lär sig (jfr Scanlon et al., 1998, s. 13). Enligt Jones et al. (1995) har man traditionellt bestämt effektiviteten av ett teknologiprogram visavi ”reguljära” program genom att jämföra elevresultat på standardiserade test. Det är inte lätt att påvisa signifikanta skillnader i effektivitet med avseende på kunskap och färdigheter i samband med introduktion av sådana innovationer. ”Effektivitet är inte en funktion av teknologin utan snarare av lärandemiljön och förmågan att göra saker som man inte kunde göra annars” (s. 6, egen övers.), därför att teknologi möjliggör nya lösningar. Det är närmast frågan om hur verktyget, inplacerat i en lärandemiljö, fungerar och vilka synpunkter eleverna och lärarna kommer att ha om denna kontext och vilka erfarenheter den ger dem. Det är fråga om att lägga till en ny aspekt på en lärandeprocess i vilken komplicerade samband i växelströmsläran ska läras.

Den tredje frågan gäller således vilka konsekvenser implementeringen har för aktörerna, dvs. lärarna och eleverna, i undervisningskontexten. **Hur påverkar PDRac-verktyget och dess implementering elevernas och lärarnas uppfattning av effektiviteten i lärandeprocessen?**

Man kan närma sig begreppet *uppfattning av effektivitet i lärandeprocessen* på ett mångfasetterat sätt. Effektivitet i denna kontext är relaterad till frågan om huruvida undervisnings- och lärandesekvenserna med PDRac-verktyget fungerar i praktiken på ett ändamålsenligt sätt. Lärandeprocesserna är nära sammankopplade med affektiva och kognitiva faktorer samt faktorer som har att göra med samspelet mellan aktörerna: eleverna och lärarna. I avsnitt 3.5 gjordes en översikt av sådana faktorer.

Den empiriska delen av avhandlingen avser att ge svar på en rad delfrågor sedda ur aktörernas synvinkel. Hur kommer de affektiva aspekterna in i lärandesituationer med PDRac-verktyget? Kommer eleverna att drivas av en motivation att lära? Vilka attityder kommer PDRac-miljön att framkalla? Hur är det med intresseaspekterna? Tror lärarna att ett interaktivt datorverktyg åstadkommer ett engagerat lärande hos eleverna?

I lärandesituationer med PDRac-verktyget handlar det om växelverkan mellan eleven, den adidaktiska miljön och läraren (se fig. 2 kap. 2). Hur kommer eleverna att uppfatta sitt ansvar? Har de kontroll i lärandesituationerna? Hur uppfattar lärarna interaktiv undervisning i PDRac-miljön, hur definierar de sin roll i samspelet och vad anser de om tidsinvesteringen?

Kognitiva mål anses allmänt vara den viktigaste komponenten i lärande. Hur kommer eleverna att uppleva att de presterar i en sådan lärandekontext? Uppfattar de att de kommer till förståelse av växelströmslärans begrepp och samband? Vad anser lärarna? Hur är det med den affektiva faktorn tillfredsställelse i lärandesituationerna i PDRac-miljön?

I avsnitt 4.3 utarbetas en effektvariabel med fokus på dessa faktorer för mätning av elevernas och lärarnas uppfattning av effektivt lärande.

Specificering av forskningens syfte

Att utveckla ett interaktivt datorverktyg för dynamisk parallellrepresentation av elektrodynamiska processer är en verksamhet som också kan inspirera andra lärare till nya idéer i undervisningen och ge en fingervisning om vad som är möjligt. Den didaktiska ingenjörskonsten ger forskningen struktur vid analysen av ett nytt sätt att undervisa en del av en fysikkurs i klass, vid utprövandet av verktyget och mätningen av effekten av implementeringen. Sammanfattningsvis kan noteras att syftet med avhandlingen är tredelat: a) att deskriptivt analysera designen och produktionen av PDRac-verktyget, b) att analysera implementeringen av verktyget i variationer av didaktiska situationer och c) att empiriskt undersöka implementeringens effekter. I den empiriska undersökningen handlar forskningsproblemet om att framställa relationen mellan två eller flera variabler (Kerlinger, 1973) och kommer därför att specificeras i följande forskningsfrågor:

1) Framkallar implementeringen av PDRac-verktyget i didaktiska situationer en positiv elevuppfattning av effektivt lärande?
2) Förekommer det skillnader i fråga om elevernas uppfattning av effektivt lärande i olika varianter av didaktiska situationer?
3) Påverkar PDRac-verktygets egenskaper och didaktiska potential samt dess funktion i de olika didaktiska situationerna lärarnas uppfattning av effektivt lärande?

4 Forskningsdesign och a priori-analys

Att uppta och anpassa innovationer i undervisningen är förenat med en rad svårigheter. Det är viktigt att designen möter undervisningsbehov och inte bara demonstrerar teknologins utvecklingsmöjligheter. Innovationer i undervisningen måste bygga på underliggande teorier om lärande och undervisning (Koschmann, Myers, Feltovich & Barrows, 1994). Ett teoribaserat angreppssätt till designen av datorbaserade verktyg för samarbetslärande bör enligt Koschmann et al. gå i fyra steg:

> a) making explicit the instructional requirements that serve as design goals for the project,
> b) performing a detailed study of current educational practice with regard to these goals,
> c) developing a specification based on the identified requirements/limitations of the instructional setting and the known capabilities of the technology, and
> d) producing an implementation that allows for local adaptation to instructional practice (s. 228).

Kirschner och Huisman (1998, s. 672–673) presenterar också principer som ska vägleda en god undervisningsdesign. De framhåller att valet av själva mediet inte ska komma i början utan först i slutet av designen av en interaktiv lärande-miljö. Enligt Koper (1995) ska man i designprocessen i första hand definiera kursens mål, målgruppens karakteristiska drag och kursens didaktiska scenarier. Efter det beslutar man om vilka fysiska medier som ska användas i de olika elementen av de didaktiska scenarierna. I sista hand kommer den tekniska designen.

I denna studie är utgångspunkten en annan. Det finns ett didaktiskt problem som väntar på en lösning, bara man får ett verktyg, ett medium som är lämpligt för att lösa problemet. Då ett undervisningselement ska utvecklas och förändras måste designprocessen vägledas av frågor om behovet av och syftena med uppdraget (Kirschner & Huisman, 1998, s. 673). Också frågor om vad som är relevant, då man står inför uppgiften att förändra ett undervisningselement, måste beaktas (Artigue, 1994, s. 30). I föregående avsnitt 3.6 har frågeställningarna och syftena behandlats. Designprocessen ska fortsätta med att svara på frågor om vad som bör inträffa när uppgiften utförs, om eleven ska öva eller tillämpa eller om uppgiften är att motivera eller utvärdera eleven. Den tredje frågan handlar om hur det bör göras (Kirschner & Huisman, 1998, s. 673), vilka svårigheter som kan förväntas och hur kan man övervinna dem (Artigue, 1994, s. 30). Genom sin forskningsmetodik för didaktiska innovationer bidrar den didaktiska ingenjörs-konsten till att strukturera objektet för forskningen och ge svar på dessa frågor.

Enligt den didaktiska ingenjörskonstens metodik ska forskaren i designfasen besluta sig för att beakta ett antal systemvariabler, som förutsätts vara relaterade till det studerade problemet. Dessa variabler definieras på två nivåer: 1) Det

didaktiska ingenjörsarbetet som görs på makronivå, eller den globala organisationen, ska beakta institutionella och metodiska problem. 2) På mikronivå ska ingenjörsarbetet beakta komplexiteten i klassfenomenen på lokal nivå och motsvara en lokal organisation av undervisningstillfällen eller faser (Artigue & Perrin-Glorian, 1991; Artigue, 1992; Artigue, 1994).

4.1 Globala val

Effektiva datortillämpningar och andra informationsteknologier i utbildningen är synnerligen beroende av god undervisningsdesign (Reif, 1987). Lärande eller undervisning kan betraktas som en transformationsprocess varmed en elev E förändras från ett initialtillstånd E_i till ett sluttillstånd E_s, i vilket eleven kan göra saker som han inte kunde göra tidigare. Denna transformationsprocess $E_i \rightarrow E_s$ innefattar naturligtvis komplexa interaktioner med lärare och elevens omgivning. En viktig fråga är vilka underliggande tankeprocesser eleverna använder för att uppnå den önskade intellektuella prestationen i sluttillståndet E_s efter undervisning. Svaret på den frågan består enligt Reif (1987) av en idealmodell som specificerar de underliggande tankeprocesserna och kunskapen varmed den önskade intellektuella prestationen effektivt kan uppnås. En sådan modell behöver inte nödvändigtvis simulera faktiska experters prestationer, inte heller förutsätta att experterna presterar optimalt, men modellen måste redogöra för underförstådd kunskap och anpassas till elevens utvecklingsmöjligheter. Det är en väsentlig förutsättning för en systematisk undervisningsdesign som syftar till att uppnå en god intellektuell prestation. En sådan prestation i naturvetenskap kräver att vetenskaplig kunskap används för att lösa diverse problem och göra slutledningar. De karakteristika som den kunskapen enligt Reif (1987, s. 311) ska ha är:

- Kunskapen måste vara tillräckligt explicit så att den med lätthet kan prövas och modifieras.
- Påståendekunskap (*declarative knowledge*), som består av påståenden i sak, måste åtföljas av procedurkunskap som specificerar vad man faktiskt måste *göra* för att avgöra huruvida påståendena är sanna eller falska. Annars skulle påståendekunskapen vara omöjlig att tyda och i sista hand meningslös.
- Kunskapen måste vara ytterst koherent för att garantera att man med lätthet kommer ihåg och kan återställa den, att den överensstämmer och att man förmår göra slutledningar.
- En tillförlitlig och flexibel prestation kräver processer med kvalitetskontroll för att förhindra, upptäcka, diagnostisera och korrigera fel och andra bristfälligheter.

En god undervisningsdesign bör säkerställa att den kunskap eleven slutligen förvärvat har dessa karakteristika och att eleven har dem även i varje skede under undervisningsprocessen. Datorer erbjuder unika utvecklingsmöjligheter vid implementeringen av undervisningsstrategier som är svåra att utföra på annat sätt. Datorernas grafikmöjligheter kan utnyttjas för att framställa kraftfulla sym-

boliska representationer som bland annat inbegriper dynamiska representationer av tidsberoende processer. Datorerna kan erbjuda en effektiv miljö, i vilken eleven aktivt kan utforska nya begrepp på egen hand, men med hjälp av handledning, så att eleven fostras i disciplinerat tänkande (Reif, 1987, s. 322).

Med ovanstående som argument kan man påbörja den globala organisationen av det didaktiska ingenjörsarbetet. Det innebär att man måste göra ett antal makrodidaktiska val, som vägleder det didaktiska arbetet. I föreliggande studie har jag valt att precisera makrodidaktiska val kopplade till den undervisnings- och lärandemiljö som ska organiseras för att kunna implementera det aktuella undervisningsobjektet. De krav som ska uppfyllas i miljön inkluderar a) utnyttjande av datorutrustning som förutsätter att undervisningen förläggs till datorklass, b) design av programvara i form av ett kalkylbaserat PDRac-verktyg, som i didaktiska situationer förutsätts ha en didaktisk potential och c) utarbetande av handlednings- och övningsmaterial för både elever och lärare. I de följande avsnitten analyseras dessa tre globala miljövariabler kallade *makrodidaktiska variabler*.

4.1.1 Datorteknologi i fysikundervisningen

I Grunderna för gymnasiets läroplan 1994 sägs att ”användningen av datateknik i undervisningen öppnar nya möjligheter för individuella studier. Samtidigt vänjer sig eleverna vid ett arbetsredskap som blivit allt viktigare i dagens samhälle. Informationstekniken erbjuder allmänt sett rika möjligheter att sätta sig in i och utveckla sina kunskaper i modern teknologi” (s. 14). Det har ställvis gjorts stora satsningar på anskaffning av datorteknologi i gymnasierna under 1990-talet. Trots det har datorer inte integrerats i ämnesundervisningens olika moment i högre grad. Motståndet ligger delvis i en obenägenhet att vilja ersätta traditionella undervisningsverksamheter. I läroplaner skrivs målen i form av kognitiva visioner på ”hög nivå”, medan man i den praktiska verksamheten måste lösa en lång rad problem på ”låg nivå” (Artigue, 1994, s. 29).

De möjligheter och begränsningar som är involverade i undervisning baserad på datorteknologi har att göra med teknik- och programorienterade frågor, resursfrågor, organisatoriska, metodiska och didaktiska frågor och frågor som berör datorn som representationsmedium (tabell 1). I det följande görs en analys av de möjligheter och hinder som introduktion av datorteknologi för med sig. Analysen, som svårligen kan nå fullständighet, är till vissa delar generell. De generella premisserna är giltiga för fysikundervisningen lika väl som undervisningen i något annat ämne.

Tabell 1. *Datorteknologins möjligheter och begränsningar i olika dimensioner.*

Dimension	Möjligheter/begränsningar som avser ...
Hård- och mjukvaru-dimensionen	... datateknikens och dataprogrammens funktion
Resursdimensionen och organisatoriska dimensionen	... datorresurser och organisering av datorbaserad undervisning
Metodiska och didaktiska dimensionen	... datorernas funktion som verktyg i undervisningen
Representations-dimensionen	... datorns kapacitet att representera data

Den hård- och mjukvaruorienterade dimensionen

Det existerar fortfarande stora problem beträffande datorers funktionssäkerhet. Inte sällan förekommer det att en dator kraschar, dels på grund av tekniska svagheter, dels på grund av illa fungerande program. Datorprogrammens funktionssäkerhet har visserligen förbättrats och installationsprocedurer förenklats. Standardiseringsproblematiken är ännu inte helt löst. Konkurrerande teknologier tävlar om marknadsandelar. I dagens snabba utveckling av datortekniken produceras ständigt nya operativsystem eller nya versioner av gamla operativsystem, vilket ofta förorsakar problem med kompatibilitet mellan de olika versionerna av program som ska köras i systemen. På programsidan noteras en viss brist på lämpliga ämnesorienterade tillämpningar med hög kvalitet, passande för det moment som ska undervisas. Sådana tillämpningsprogram som funnits tidigare har fallit bort delvis som följd av operativsystemens utveckling. På grund av skolornas små budgetar kan en kontinuerlig uppdatering av äldre versioner av program inte förverkligas.

Elever har benägenhet att betrakta datorerna i PC-klassen som egna och gör inställningar som är störande för andra användare eller påverkar datorns funktion. Inte sällan inträffar det att ikoner raderas bort eller startprocedurer ändras. Dahland (1993, s. 179) hävdar att en ökad tillgång till datorerna avdramatiserar deras framtoning med en möjlig följd att åverkan minskar. Detta är en sanning med modifikation. I modernare nätverkssystem finns det dock större möjligheter än i äldre att definiera användarnas rättigheter och eliminera olägenheter av detta slag. Ett mer svårlöst problem handlar om hur man kan minska risken för att virusprogram ska försätta en dator eller till och med en hel datorklass ur funktion. Olika slag av virusskydd utvecklas dock kontinuerligt.

I en skola med många datoranvändare kommer lagringen av onödiga filer att på några veckor fylla en hårddisk och åstadkomma allvarliga funktionsstörningar. Nerladdningen av stora filer, spel, musik, filmer etc. från Internet är en verksamhet som slukar stora datorresurser. Det tekniska underhållet måste därför fungera kontinuerligt och effektivt för att eliminera tekniska störningar som hindrar effektiv användning av datorerna i undervisning och lärande, där målet ska vara att hämta, bearbeta och analysera information.

Resursdimensionen och den organisatoriska dimensionen

För att genomföra undervisning i helklass med hjälp av datorer måste man förflytta undervisningen (i de flesta skolorna tillsvidare) till en datorklass. Sådana påverkningsfaktorer som berör datorteknologi i undervisningen är datorklassens storlek och läge, dess möblering och arbetsplatsernas ergonomiska utformning (Dahland, 1993, s. 15). I de flesta skolorna är det fortfarande så att datorutrustningen förekommer centralt i en s.k. PC-klass eller datorklass. Antalet datorer i förhållande till elevgruppens storlek är litet. Under slutet av 1990-talet var förhållandet mellan elevantal och datorantal 14 i de finländska gymnasierna (Sinko, 1999). Det fanns fortfarande skolor som ännu inte hade adekvat datorteknologi. Idealet vore att ”alla elever skulle ha sin egen nätverkskopplade dator” (Jones et al., 1995, s. 14). Då skulle eleverna ha konstant tillgång till ett effektivt hjälpmedel under lektionen utan att fysiskt behöva flytta sig till datorklassen. Sannolikt kommer detta scenario inte att realiseras i en nära framtid på grund av de sparåtgärder som förekommer i det kommunala skolväsendet.

Bland förutsättningarna för användning av datorstöd anger Dahland (1993, s. 179) att man måste ha ”goda *möjligheter att använda datorer spontant* utan krav på långsiktig planering av datorstödet” och ”med *datorerna i det egna klassrummet* elimineras bokning av lokal, förflyttning av elever och växling mellan elevgrupper”. I nuläget kan man i allmänhet betrakta tillgången till datorklassen som oförutsägbar. Klassen är ofta fullbokad och kan inte utnyttjas med kort varsel. En datorklass måste därför i allmänhet bokas i god tid. Att planera en hel kurs med en exakt, detaljerad tidtabell förefaller vara svårt. I lärarens arbete ingår en stor portion av flexibilitet, t.ex. att tillvarata elevers initiativ och utveckla det. Som följd av detta rubbas den uppgjorda tidsplanen och den bokade lektionen i datorklass passar inte längre i den pågående undervisningssekvensen. Det finns alltså ett motstånd mot att boka en datorklass långt i förväg.

Enligt Dahlands (1993, s. 188–192) undersökning var god tillgång till datorer och program ett nödvändigt, men inte ett tillräckligt villkor för datorstöd. I fråga om användning av kalkylmodeller i matematik i högstadiet visade lärarna störst intresse för att använda datorstöd ”om elevgruppen är liten och/eller om eleverna är svaga eller medelbra” (s. 189). Under tillräckligt goda förutsättningar kunde intresserade lärare med åtminstone måttliga personliga färdigheter introducera datorstöd i sin undervisning.

Den metodiska och didaktiska dimensionen

Det finns en omfattande forskning kring möjligheterna och fördelarna med datorteknologi i undervisningen. Emellertid måste man också ha en viss reservation i förhållande till datorbaserad undervisning för att inte riskera att komma med en generell bedömning av dess potential i didaktiskt hänseende. Datorn kan vara överlägsen i vissa avseenden trots att den aldrig kan vara lika anpassningsbar som en mänsklig handledare, som äger en lyhörd skicklighet. Visserligen kan användningen av datorer och andra tekniska hjälpmedel tillhandahålla en effektiv alternativ undervisning och utvärdering som länge dominerats av text, men datorer kan inte ersätta lärarens pedagogiska skicklighet och innehållskunskap (Mathewson, 1999, s. 48). Emellertid kan datorstöd i fysik vara en betydelsefull och ”*alternativ* väg till förståelse för formler och en träning av tankeverksamheten” (Dahland, 1993, s. 181) och kan modifiera undervisningen i positiv riktning. Hicks och Laue (1989) framhåller att eleverna upplever att datorn är tålmodig och att den inte injagar rädsla hos dem. De kan arbeta med datorn i enskildhet och i sin egen takt. Med grafik och animation blir upplevelserna njutbarare, och det är lättare att visualisera exempelvis fysikaliska situationer. Då elever arbetar med lämpliga datorprogram är de inbegripna i en växelverkan, som har starka kognitiva effekter, och de avlastas triviala arbetsuppgifter (Dahland, 1993, s. 91, 93). Elever kan därför inspireras och deras motivation påverkas positivt. En lärandemiljö där datorn är involverad kan fånga upp intresset hos elever som under ”normala” lektioner känner sig uttråkade. Datorbaserad undervisning erbjuder öppnare lärandesituationer som kontrasterar mot de slutna i klass. Samtidigt kommer elevens eget ansvar för sin lärandesituation i fokus.

Under det aktiva engagemanget i processen att konstruera sin egen kunskap lär sig eleverna använda kunskap flexibelt. Reif (1987, s. 323) menar att man inte kan lära sig att tolka och använda naturvetenskapliga begrepp blott och bart genom att läsa böcker eller lyssna till lektioner. Dahland (1993, s. 182) anser att datorstöd kan vara ett bra alternativ till traditionellt arbetssätt. Arbetsformer för grupparbeten kan varieras och enskilda elevers träning ske mer individualiserat. Vissa tekniskt svåra arbetsmoment kan förenklas med datorns hjälp.

En dator, försedd med lämplig hård- och mjukvara, kan sättas in som verktyg och fungera som ett virtuellt instrument med många fördelar. Med instrumentet kan man bearbeta många realistiska situationer, också sådana som förekommer i vardagslivet. Snabba förlopp kan registreras experimentellt med lämpliga sensorer och analyseras omedelbart. Alternativt kan förloppen beräknas och förutsägas med hjälp av en lämplig modell. Algoritmer, som är konstruerade att beräkna förloppet stegvis, ger användaren möjlighet att placera in störande faktorer som t.ex. friktionskraft och luftmotstånd. Man kan åskådliggöra realistiska förlopp, vilket utan dator skulle vara omöjligt eller förenat med omfattande och för eleven alltför svåra beräkningar (Heuer, 1996, s. 4). Heuer

framhåller att man genom datorstödda försök, som tar hänsyn till didaktiska uppfattningar, på kort tid kan genomföra önskade variationer av försök. För det första kan resultatet under själva försöket presenteras i form av grafer eller dynamisk representation av fysik med målet att kontrollera om grundutsagorna i den egna mentala modellen är adekvata eller i vilken mån de ska ifrågasättas. För det andra är målet att öva sig att sätta in den mentala modellen och bli uppmärksam på hur man använder den genom att förutsäga fel. För det tredje kan man utvidga de erfarenheter man har av specialfall till att gälla generella situationer. Inom den begränsade tid man har till förfogande i den traditionella fysikundervisningen analyseras realistiska vardagssituationer enbart kvalitativt utan att man går djupare in i frågeställningarna. Eleverna får då lätt intrycket att skolfysiken inte har med verkligheten att göra. Följden är att eleverna bygger upp andra mentala modeller då de förklarar fakta i fysikundervisningen än då de förklarar fakta hämtade ur vardagssituationer. Redish (1993) tar fram fördelarna med datorn i det att den kan samla in och förevisa data ur verkligheten. Eleverna kan göra kopplingar mellan konkreta element i verkligheten och abstrakta representationer i fysiken. Genom att datorn kan utföra och visa komplexa simuleringar kommer abstrakta och härledda begrepp att bli verkliga för eleven och hjälpa eleven att bygga upp goda mentala modeller. En kombination av verktyg för modellbildning och datainsamling lär eleven att det hör till vetenskapens väsen att göra en modell av verkligheten.

Emellertid måste man samtidigt inta en kritisk attityd till introduktionen av datorbaserade verktyg i den meningen att dessa också kan medföra konsekvenser som inte är önskvärda i undervisningen. Lärare anser enligt Dahland (1993, s. 182) att elevernas arbetsdisciplin uppluckras och att datorstöd medför arbete utan eftertanke. Eleverna formulerar sig inte korrekt utan verksamheten vid datorerna består av invanda upprepningar och oorganiserade studier av angivna moment. Användning av datorstöd kan lätt betraktas mer som ett intrång i ämnet än en integrationsmöjlighet. En sådan inställning kan leda till ovilja att sätta in datorsimuleringar eller virtuella experiment. Ett annat problem uppstår då kurser undervisas parallellt. I allmänhet kommer lärarna i sådana fall överens om en bestämd studietakt, som ett datorstöd sedan lätt kan rubba. Båda lärarna är nödvändigtvis inte beredda att ändra sin metodik. Lärare har ofta en stark önskan att kunna slutföra en kurs i enlighet med kursplanen och vill inte låta datorstöd äventyra detta.

McDermott (1991, s. 313) hävdar i sin studie att fysikelevers arbete vid datorn lätt kan anta en aspekt av lek. Eleverna var nöjda då de lyckades, men vid förfrågan kunde de inte förklara hur de hade kommit fram till resultaten. Det finns ingen garanti för att eleverna engagerar sig på en tillräckligt djup nivå för att en tydlig begreppsutveckling ska förekomma. Eleverna kan genom simuleringar på dataskärmen få dels en falsk, dels en idealiserad bild av verkligheten. McDermott (1991, s. 313) exemplifierar detta. Uppställningen på en dataskärm är tvådimensionell, medan verkligheten är tredimensionell. Det kan ge en falsk

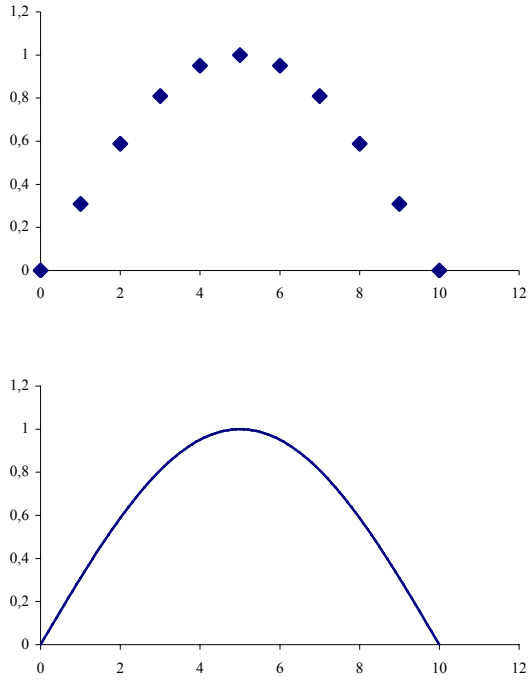
bild av enkelhet att se simultanhändelser på en liten dataskärm i jämförelse med att se händelser i den verkliga försöksuppställningen med dess verkliga storlek. En rörelse sker mycket långsammare i en simulering än den naturliga rörelsen i verkligheten. Den markanta grafiken ger en idealiserad representation på en dataskärm och skiljer sig därför från den relativa oreda som kan förekomma i laboratoriet. Datorn kan med andra ord ta bort väsentliga detaljer ur verkligheten, vilket kan leda in eleverna på fel spår. Det finns givetvis positiva aspekter på datorns sätt att representera verkligheten. Exempelvis kan det på grund av försöksuppställningens storlek vara svårare att se simultanhändelser i verkligheten än på en dataskärm, som lättare kan överblickas. En naturlig rörelse kan göras mycket långsammare i en simulering än i verkligheten. Grafiken på en dataskärm ger en enklare representation och kan därmed fokusera elevens intresse på det väsentliga till skillnad från laboratorieverkligheten (jfr avsnitt 3.2.2).

Representationsdimensionen

Den potential som interaktiva, grafiska representationer implementerade på datorer har i undervisningen belyses bland andra av Cheng (1999), Reimann (1999) och Rogers (1999). Grafiska representationer blir enligt Reimann (1999, s. 412) interaktiva så snart de kopplas ihop med en användares handlingar, dvs. representationerna återverkar på användarens inmatning. Exempel på detta är datorbaserade kalkylprogram. Ett sådant program möjliggör att en räcka tal i en kalkylbladstabell kopplas till en grafisk representation av talen, exempelvis i form av ett stapeldiagram, cirkeldiagram eller linjediagram. Emellertid kan man också låta kalkylprogrammet simulera en kontinuerlig funktion i ett givet intervall, om man väljer en lång talräcka med liten differens mellan talen. I figur 16 åskådliggörs detta.

Gör man förändringar av talen i tabellen överförs dessa omedelbart till grafen. (Under vissa förutsättningar kan också en förändring av datapunkterna i grafen direkt inverka på tabellen.) En serie av sådana förändringar i tidsföljd skapar då en dynamik i de numeriska och grafiska representationerna.

Kaput (1992) har i sin djupgående forskning om datorers roll i matematikundervisningen identifierat ett antal potentiella förtjänster, som enligt Cheng (1999, s. 310) anses vara tillämpbara bland annat på undervisningen i naturvetenskap. För det första tillåter datormediet att man avlastar användaren från rutinberäkningar vilket möjliggör ett kompaktare och mer berikat lärande. För det andra kan de traditionella representationernas karaktär omgestaltas tack vare den formbarhet som kännetecknar moderna datorgränssnitt.



Figur 16. Grafisk representation av en funktion med 10 respektive 100 datapunkter. Den senare inkluderar också en grafisk utjämning mellan datapunkterna.

Den tredje förtjänsten ligger i datorns beräkningskapacitet som kan utnyttjas för att fokusera användarens uppmärksamhet på väsentligheter i aktiviteten. Slutligen ligger datorns potentiella förtjänster i att teckensystemet kan fånga in procedurer och abstrakta strukturer i perceptuellt konkreta symboler så att de blir potentiella ämnen för en didaktisk diskussion.

Det finns ytterligare argument, både för och emot, då det gäller att betrakta verktygens effektivitet i fråga om grafiska representationer inom ramen för problemlösning och lärande. Yttre och inre representationer är fördelaktiga för lärande om det finns flera av dem, så att elever måste bearbeta multipla yttre representationer (algebraiska, grafiska etc.). Anledningen till detta är enligt Ainsworth, Bibby och Wood (1998) för det första att det är sannolikt att olika slag av representationer uttrycker olika aspekter med olika grad av klarhet och att informationen som man skaffat sig från en kombination av representationer därför är större än den som hämtats från en enda representation. För det andra begränsar multipla representationer varandra så att utrymmet för användbara operationer är mindre jämfört med representationer i naturligt språk. Exempelvis resonerar Stenning (1999, s. 396) så att grafiska representationer är lämpliga för

att karakterisera konkreta situationer men begränsade då de ska uttrycka abstraktioner. I det tredje argumentet hävdas att när elever måste relatera multipla representationer till varandra måste de engagera sig i aktiviteter som befrämjar förståelse i motsats till mekaniskt lärande. Emellertid har multipla representationer också sitt pris. Ansträngningarna att koda informationen ökar visserligen men det är ganska krävande att relatera två eller flera representationer till varandra. Studier har visat att priset i relation till nyttan är ganska högt och beror av uppgiftens karaktärsdrag, typ av undervisningsmål och individuella olikheter hos eleverna. Effekterna på lärandet beskrivs dock i termer av ökning i specifik kunskap och färdighet inom vissa ämnesområden, förbättring av färdigheterna med avseende på en given interaktiv grafisk representation, ökning i metakognitiv kompetens vid valet av lämplig interaktiv grafisk representation för en given uppgift och ökning i elevers färdigheter att tänka ut egna representationsformalismer (Reimann, 1999, s. 414).

Introduktionen av ny teknologi eller metod i undervisningen åstadkommer förändringar med avseende på elever, lärare och social miljö, men också på det arbete som genomförs med fysiska artefakter. Frågan om vilken typ av forskning som ska utföras, då syftet är att befrämja användningen av undervisningsteknologi, kan ses i ljuset av referensramen enligt Reimann (1999, s. 415–416):

> Such research would help us structure a curriculum around [interactive graphical representations] which would indicate under which circumstances we have to train pupils in using a given *problem representation*, when they are supposed to come up with *their own problem representations* within a *given* representational framework, and when it is time to foster the higher order skills. These skills include *selecting* from a range of representational systems and *inventing* new representational systems. I think a crucial divide lies between the first and the second stage, between providing learners with a complete (external) problem representation as distinguished from providing them with a representational tool and have them construct a problem-specific representation on their own.

Det val som har gjorts i den aktuella studien faller inom denna referensram. Det handlar om att eleverna ska få övning i att använda multipla, länkade representationer med givna problem, men också till en del att de ska kunna välja mellan några representationssystem inom ett begränsat område i fysik. Valet är underställt det övergripande globala valet (i enlighet med terminologin i forskningsmetoden didaktisk ingenjörskonst), nämligen att i undervisningen i fysik använda datorteknologi med dess möjligheter och begränsningar.

4.1.2 Design av ett *PDRac*-verktyg

Följande globala val i forskningsprocessen är att designa ett kalkylbaserat PDRac-verktyg med egenskaperna att det är interaktivt och dynamiskt och kan representera information i numerisk och grafisk form parallellt samt att analysera verktygets potentiella funktion i didaktiska situationer.

Argument för produktion av ett kalkylbaserat PDRac-verktyg

Elektriska fenomen kan inte ses på samma sätt som exempelvis mekaniska och optiska. Därför är det nödvändigt att man visuellt kan simulera fenomenen för att synliggöra de storheter som är involverade och sambanden mellan dem. Huvudargumentet för introduktion av ett PDRac-verktyg i undervisningen av växelströmsläran är att verktyget ska medverka till att öka betoningen på elevernas kvalitativa tänkande, tolkande och resonerande i deras strävan efter förståelse av fysikaliska processer i växelströmsläran. Det datorbaserade verktyget ska bidra till detta genom åskådlig parallellrepresentation av numeriska och grafiska data, som kan hanteras dynamiskt och ge snabb återkoppling. Visualiserade situationer som understöder kedjetänkande och fysikaliskt tänkande utan formler skapar möjlighet till ett lärande som har karaktären av utforskning. ”The use of attractive graphics and animation sequences engages students’ interest and makes dynamic physical situations more intuitively accessible” (Hicks & Laue, 1989, s. 810). Detta förväntas befrämja lärande av (svårförståeliga) begrepp och storhetssamband, stöda helhetstänkande kring representationsformerna av den fysikaliska situationen och därmed förståelsen av de centralaste fenomenen länkade till elektrodynamiken. Ett exempel får belysa detta. Exemplet utgår från en teoretisk härledning av fysikaliska samband och utmynnar i ett mer verbalt resonerande kring storheter och deras samband.

Exempel. Kondensatorn fungerar i en växelströmskrets som ett motstånd, en kapacitiv reaktans X_C, som begränsar strömstyrkan. Denna reaktans härleds teoretiskt utgående från ekvationen $q = Cu$. Ekvationen deriveras och ger strömstyrkan $i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$. Integrering av ekvationen $\mathrm{d}u = i(t)\mathrm{d}t$ ger spänningens tidsfunktion $u = \frac{\hat{\imath}}{\omega C}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$. Från spänningens toppvärde härleds effektivvärdet $U_C = \frac{1}{\omega C} I$ eller $U_C = X_C I$.

Låt oss undersöka en rent kapacitiv krets med en resonemangsstil som här grundar sig på sambanden uttryckta i matematisk form. Dessa samband kan visualiseras numeriskt och grafiskt med ett datorbaserat PDRac-verktyg.

1. *Vad är den kapacitiva reaktansen beroende av?* Då man ökar kondensatorns kapacitans C ser man att den kapacitiva reaktansen X_C minskar och omvänt. På motsvarande sätt kan man variera frekvensen och få samma resultat. Den kapacitiva reaktansen är omvänt proportionell mot såväl kapacitansen som frekvensen och man kan skriva $X_C \sim \frac{1}{f\,C}$. Man kan förlänga resonemanget så att sambandet rentav kunde kvantiseras. Eftersom X_C inte verkar vara beroende av andra storheter kan man anta att $X_C = k\frac{1}{f\,C}$, i vilken k är en proportionalitetskonstant. Insättning av ett antal värden på X_C, f och C ger samma värde $k = 0{,}15915\ldots$ som inverterat ger 2π. Slutresultatet är således $X_C = \frac{1}{2\pi f\,C} = \frac{1}{\omega C}$. Metoden utgår från en kvalitativ undersökning av sambanden, vilket inte är kutym i traditionell undervisning. Ett oscilloskop eller digitalt instrument ger alltför inexakta värden för att man ska kunna bestämma konstanten 2π.

2. *Vilka faktorer inverkar på strömstyrkan?* På analogt sätt som ovan kan man visa att strömstyrkan I är proportionell mot såväl frekvensen f som kapacitansen C för konstant värde på U_C. Man får $I = kfCU_C$, varefter man numeriskt sedan kan visa att $U_C = \frac{I}{2\pi f\,C} = X_C I$.

Fysikaliskt kan man resonera så att en ökning av frekvensen eller kapacitansen förorsakar att den elektriska strömmen i kretsen går lättare fram. I det förra fallet innebär det att en ökad frekvens gör att kondensatorn omladdas i snabb takt och hinner inte bli fulladdad under varje cykel. Vid en låg frekvens hinner kondensatorn laddas i det närmaste full, vilket resulterar i ett större motstånd mot strömmen med konsekvensen att strömstyrkan blir låg. En kondensator med stor kapacitans kan lättare lagra laddningar och därmed öka strömstyrkan i motsats till en kondensator med liten kapacitans.

PDRac-verktyget bör utformas så att man skulle styra resonemanget mot en fokusering på processer, begrepp och storhetssamband med hjälp av visualisering och dynamisk parallellrepresentation. Det traditionellt formelmässiga tillvägagångssättet med resonemang baserat på härledd ekvation kunde bytas ut mot ett mer kvalitativt, resonerande synsätt, dock med bibehållande av en viss möjlighet att kvantitativt formulera samband. Ett av syftena med PDRac-verktyget, i likhet med andra datorbaserade verktyg, är att det ska vara ett komplement, dels till den normala lärarcentrerade klassundervisningen med teoristudier (”kritfysiken”), dels till experiment i form av demonstrationer och laborationer utan att för den skull ersätta dessa (Ronen & Eliahu, 1997, s. 395). Verktyget är ypperligt för klassvis simulering av ett och samma fenomen; det är

svårt att göra samma laboration i stora grupper. Förutom att PDRac-verktyget ska stöda undervisningen i specifika didaktiska situationer är det viktigt att verktyget hela tiden är tillgängligt för varje elev så att det kan användas under fritiden. Det fungerar i sådana situationer som ersättning för laborationsarbete.

Elever ställer ofta (och med rätta) kravet att undervisningen ska vara intresseväckande och motiverande. PDRac-verktyget är ett nytt inslag i undervisningen och kan uppfylla krav i det avseendet. Samtidigt som PDRac-verktyget kan fungera individualiserande kan det också befrämja diskussioner om fysikaliska fenomen. Verktyget bidrar därmed till variation i undervisningssituationen. Emedan avsikten är att också använda PDRac-verktyget i utvärderingen av elevernas kunskaper motiverar detta dem att använda det på håltimmar eller under annan fritid.

Lärare har inte sällan en reserverad attityd mot färdiga programpaket som ska introduceras i den traditionella undervisningen. Å ena sidan visar det sig att programpaket med en generell design, i betydelsen att de lämpar sig för varierande skolformer med varierande krav, är för komplicerade och svåra att på begränsad tid sätta in i undervisningen. Å andra sidan har strängt bestämda produkter alltför begränsat tillämpningsområde och passar kanske inte för de kurser som ska undervisas i gymnasiet. Genom att läraren själv producerar önskat verktyg och implementerar det i undervisningen kan han skräddarsy det så att det fokuserar på ett begränsat område och optimalt tjänar sitt syfte. Eftersom designen av verktyg med hjälp av ett kalkylprogram (Excel) som bas inte kräver särskilt avancerade kunskaper i programmering kan läraren själv producera och modifiera verktyget för att möta kontextuella krav (Eklund, 1995). Emellertid får läraren räkna med att det ändå kräver tid att sätta sig in i verktygets funktion och att anpassa det till undervisningen, inte att undervisningen ska anpassas till verktyget.

En synpunkt som inte ska förbigås är att egenproducerade, specifika datorbaserade verktyg av simuleringstyp med ett generellt kalkylprogram som bas är en billig utrustning för fysikundervisningen. Läraren kan själv kontinuerligt sköta uppdateringen av verktyget i takt med att undervisningen utvecklas och förändras eller då läraren upptäcker nya infallsvinklar på tillämpningen. Dessa verktyg kan dock inte direkt jämföras med sådana kommersiellt producerade verktygspaket som t.ex. handlar om datorbaserad mätning. I sådana paket ingår avancerade mätsensorer av flera olika slag, analog till digital signalomvandlare (ADC, Analog to Digital Converter) samt tillhörande datorprogram.[1] Att producera sådana verktygspaket kräver ett stort fysikaliskt och tekniskt kunnande och implicerar vanligen en projektbaserad verksamhet med många

[1] Exempel på sådana verktygspaket finns beskrivna i Lavonen (1996), Hämäläinen (1998) och Lavonen, Aksela, Juuti och Meisalo (2003).

inblandade. Sådana verktygspaket är därför kostnadskrävande att producera men bör det oaktat ingå i gymnasiets fysikutrustning.

Under början 1990-talet har Excelbaserade simuleringsverktyg i fysik för gymnasiet inte producerats i någon nämnvärd omfattning. Detta utgör därför det viktigt argumentet för att sätta i gång designprocessen inom ett komplicerat område i fysiken – elektrodynamik.

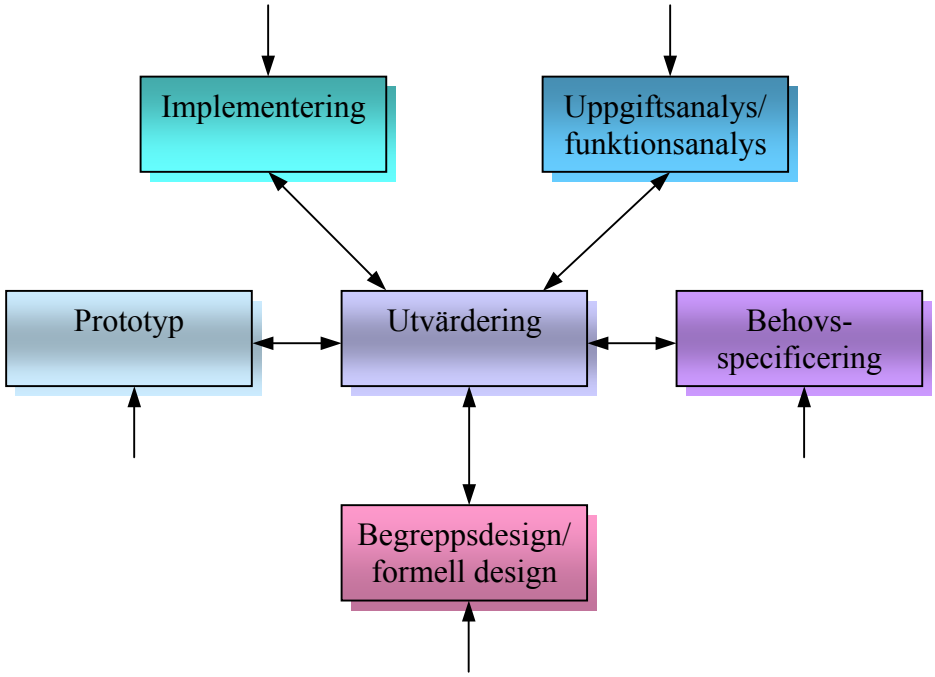
Design av programvara

Design avser å ena sidan processen att utveckla en produkt, en artefakt eller ett system och å andra sidan de olikartade representationerna av produkten under produktionsprocessen. För att kunna utveckla en produkt måste man ta sig an två huvudsakliga aktiviteter. För det första måste man förstå vilka krav som ska ställas på produkten. Det innebär bland annat att man jämför med andra liknande produkter, diskuterar behoven hos de människor som ska använda produkten och analyserar existerande system för att upptäcka problem i designen. Följande aktivitet är att utveckla produkten, vilket inkluderar arbetet att producera en mängd representationer tills en lämplig artefakt har framställts (Preece, Rogers, Sharp, Benyon, Holland & Carey, 1994, s. 352–353). Designprocessen kan representeras med hjälp av flera olika modeller. Stjärnmodellen (figur 17) följer en praxis som har antagits av designer som fokuserar på interaktionen mellan människa och dator. Modellen karakteriseras dels av att man skapar prototyper, dels av att man tidigt utvärderar dem, något som intar en central plats i processen. Alla aspekter av utvecklingsarbetet är föremål för ständig utvärdering av användare och experter. Prototypen och den stegvisa utvecklingen till en färdig produkt betonas i denna modell. Utvecklingsarbetet kan starta i vilket steg som helst och kan följas av vilket annat steg som helst. Begreppsdesignen berör frågor om vad som behövs, vad systemet ska göra och vad användaren behöver veta. Den formella designen handlar egentligen om den fysiska designen, dvs. hur detta uppnås (Preece, et al., 1994, s. 380).

Längre fram i detta avsnitt berörs ovanstående frågor beträffande PDRac-verktyget. Dess föregångare har varit ett antal prototyper som har utvecklats stegvis till den produkt som den är idag. Denna utveckling fortgår. Prototyperna har utvärderats i fysikundervisningen tidigare; den mest omfattande utvärderingen företogs år 1997, ett år innan den empiriska delen av denna studie gjordes, och har bidragit med värdefull information för att förbättra produkten.

Squires (1987, s. 240) identifierar några kriterier för design av datorprogramvara för naturvetenskaplig undervisning, så att designen är förenlig med ett konstruktivistiskt synsätt. De kriterier som är aktuella för föreliggande verktygsprogram är

- att pedagogisk programvara primärt bör orienteras mot representation och utveckling av begrepp.
- att programvaran, i likhet med annat lärokursmaterial, inte nödvändigtvis förutsätter att eleverna delar lärokursutvecklarens eller lärarens typiskt vetenskapliga ståndpunkt.
- att programvaran bör tillhandahålla en kontext som är relevant för det sätt på vilket eleverna tänker om den reella världen. Det bör vara en synergi mellan de representationer och interaktioner som tillhandahålls av programvaran och elevernas upplevelse av den reella världen.
- att det bör vara möjligt att programvaran understöder alternativa begrepp. Detta är väsentligt om eleverna ska använda programvaran för att jämföra begrepp och bilägga konflikter med alternativa begreppsuppfattningar.



Figur 17. Stjärnmodellen i designprocessen (Hartson och Hix, presenterad i Preece et al., 1994, s. 381).

Design av gränssnittet mellan människa och dator

Gränssnittet mellan människa och dator är en kommunikationskanal mellan användaren och datorn. Enligt Marchionini (1991) inkluderar gränssnittet fysiska komponenter såsom in- och utmatningsanordningar (tangentbord, mus,

joystick, dataskärm etc.). Dessutom ingår begreppsliga komponenter såsom selektionsmetoder och representationssystem (kommandospråk, menyer, direkt manipulering respektive skärmlayout och blandning av grafik och text). Marchionini tar fram ett antal principer som psykologisk forskning har kommit fram till beträffande design av gränssnitt:

- Gränssnittet bör kompensera för människans fysiska och kognitiva begränsningar, men vara transparent och inte hindra användarens handlingar eller framsteg. Användaren får inte överbelastas med invecklade och onödiga faciliteter, som distraherar honom från den egentliga uppgiften.
- De fysiska komponenterna bör vara ergonomiskt designade.
- Gränssnittet bör vara konsekvent då det gäller exempelvis selektionsmetoder, placering av text, knappar, textfonter och -stilar, fönsterlayout och hantering av fönster.
- Direkt manipulering av menyer är att föredra framom kommandospråk. Experten bör dock ha möjlighet till snabb förflyttning mellan menyer.
- Gränssnittet bör hantera fel genom att tillhandahålla enkla och kortfattade felmeddelanden.
- Gränssnittet bör understöda reversibla handlingar (ångra-funktion).
- Gränssnittet bör underkastas användbarhetstest tidigt i designprocessen och vid varje nytt steg i utvecklingen av produkten.

Dessa principer har uppkommit dels ur en kognitionsmodell för informationsbehandling inom den kognitiva psykologin, dels ur psykologisk teori om mentala modeller. Kognitionsmodellen fastställer för det första att människan har ett arbetsminne som begränsas till mellan fem och sju informationsenheter. Sådana informationsenheter kan vara siffror, bokstäver, namn eller något komplext begrepp med en given etikett. För det andra måste människan ofta friska upp minnet. I modellens tredje faktor framkommer det att det krävs en större kognitiv ansträngning att återkalla information än att känna igen den. Teorin om den mentala modellen uttrycker att människan utvecklar interna representationer för objekt, händelser och idéer. De mentala modellerna är aktiva och sätts i gång för att förklara världen och för att förutsäga vilka åtgärder som ska vidtas. De är emellertid ofullständiga och inte tillräckligt noggranna men är till stor hjälp för människan i det dagliga livet. Datoranvändare utvecklar mentala modeller för datorsystem, varför det är en angelägenhet för dem som designar gränssnitt att utarbeta metaforer som underlättar ett snabbt uppbyggande av noggranna och användbara mentala modeller (Marchionini, 1991; Preece et al., 1994).

I en översikt av den fundamentala roll som mental representation i form av bilder eller visuellt och spatialt tänkande har i naturvetenskap och teknologi framhåller Mathewson (1999, s. 33) att tänkande med bilder inte får negligeras i klassrummet. Han kategoriserar de bilder som dominerar i naturvetenskapen genom att hänvisa till naturvetenskapens visuella, metaforiska och tematiska

drag. Bilderna kan konstrueras från naturvetenskapens visuella-spatiala innehåll och innefattar visuella och spatiala strukturer, objekt och naturvetenskapliga fenomen. Mathewson listar också upp naturvetenskapens visualiseringstekniker, som innefattar kommunikation och sätt att tänka (s. 39–41). I tabell 2 och 3 presenteras dessa tillsammans med exempel relaterade till PDRac-verktyget.

Tabell 2. *Dominerande bilder inom naturvetenskapen (enligt Mathewson, 1999) tillämpade på PDRac-verktygets design.*

Kategori	Beskrivande etiketter	Exempel relaterade till PDRac-verktyget
Kretsar	Slingor, nätverk	*Elektrisk växelströmskrets*
Färg	Nyans, mättnad, skugga, färgton	*Färgläggning av datafält, figurer och knappar*
Cykler	Oscillationer, periodicitet, vågor	*Sinusformade storheter (spänning, ström, effekt)*
Dimensioner	Skala, uppdykande egenskaper	*Enheter tid, spänning, ström, mätning av storheter*
Gradienter	Riktningskoefficienter	*Strömstyrkans tidsderivata, tangent*
Rörelse	Inre rörelse, flöde	*Laddningars (tänkta) rörelse i växelströmskretsen*
Punkt	Plats, lokus	*Punktladdning (elektron), dess (tänkta) plats i växelströmskretsen*
Utformning	Utseende, aspekt, maskering, inneslutna bilder, markeringar	*Utformning av PDRac med numeriska och grafiska fönster som kan göras synliga eller maskeras*
Struktur	Arrangemang, form, sambandet del/helhet	*Struktur på växelströmskrets, struktur på arrangemanget av objekt på dataskärmen*

Preece et al. (1994, s. 101–102) föreslår två principer att designa gränssnitt, så att informationen struktureras på ett sådant sätt att användaren lätt kan navigera genom den. För det första får man inte presentera för mycket, men inte heller för lite information på dataskärmen. I det första fallet måste användaren tillbringa för mycket tid på att ögna igenom ett virrvarr av information på skärmen eller på

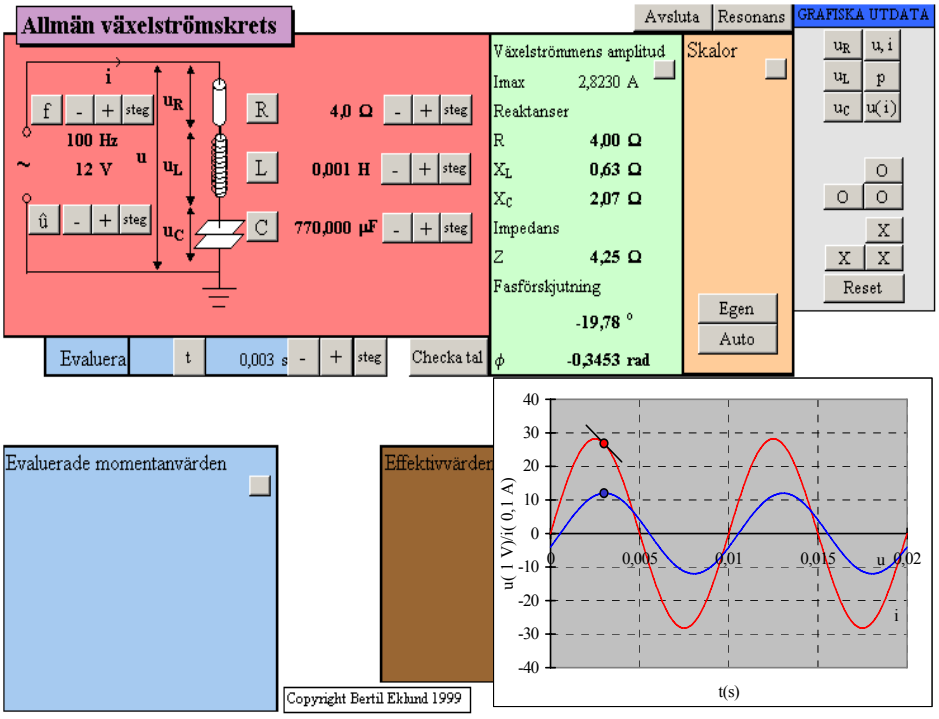
ett flertal skärmar. Den andra principen innebär att data ska grupperas och ordnas i meningsfulla delar. Genom att dra fördel av de perceptuella grupperingslagarna kan man strukturera informationen så att den lättare kan uppfattas och fånga uppmärksamheten. Tekniker för att fånga uppmärksamheten innefattar bland annat spatiala detaljer, färg och tekniker att varna användaren, t.ex. med hjälp av blinkande objekt.

Tabell 3. *Naturvetenskapens visualiseringstekniker (enligt Mathewson, 1999) tillämpade på PDRac-verktygets design.*

Kategori	Beskrivande etiketter	Exempel relaterade till PDRac-verktyget
Datavisning	Bilder, teckningar, tabeller, animationer, skalor	*Bild av elektrisk växelströmskrets, indata- och utdatatabeller*
Data-manipulation	Transformationer	*Numerisk och grafisk utformning och omvandling*
Kodning	Diagram, grafer, skisser, modeller	*Seriekopplad växelströmskrets, sinuskurvor över spänning, ström-styrka, effekt.*
Gestalt	Slutenhet, närhet, gruppering, kontinuitet, likhet, orientering	*Design, fysikalisk gestaltning*
Lokalisering	Lokus	*Markering av grafpunkter*
Ordnande	Kategorier, klassifikation, grupper	*Klasser av utdata: numeriska skalor, momentanvärden, effektiv-värden, grafiska fönster*
Perceptuell utvidgning	Förstoring, avbildning	*Zoomning av grafområden i x- och y-led*
Referensram	Alternativ synvinkel, koordinater	*Grafer med strömstyrka och spänning i samma koordinatsystem*
Tecken	Ikon, symbol, namn, representationer, känne-tecken, etiketter	*Elektriska komponenter i växel-strömskretsen, enhetssymboler, datoranvändargränssnitt (interface), färgkodning av grafer och utdata-fält*

I PDRac-verktyget har principerna ovan realiserats så att man kan ta fram behövliga numeriska och grafiska data och gömma de obehövliga (se figur 18). Fördelen med detta arrangemang är att användaren inte behöver fokusera på datafält som för tillfället är överflödiga. Exempelvis behöver användaren inte se fältet för inställning av koordinataxlarnas skalor sedan alla inställningar har gjorts. Likaså kan man gömma fältet för momentanvärden då den informationen inte är aktuell. På dataskärmen har data grupperats i ett indataområde (övre vänstra hörnet), utdataområden (nedtill och upptill i mitten) och kontroller (övre högra hörnet). De olika datafälten har olika färger och innehåller data tillhörande samma kategori. Växelströmskretsens momentanvärden finns i ett fält, effektivvärden i ett annat. Grafiska datafönster kan placeras i nedre vänstra och högra hörnet och i det övre högra hörnet. I det sistnämnda fallet måste knappfältet för grafiska data (kontroller) flyttas för att inte täckas av det grafiska fönstret. Flyttningen sker automatiskt. Kontrollknappar för musklickning är av relieftyp så att de framträder tydligare.

Gränssnitt kan förorsaka kognitiva problem om de designas så att uppmärksamheten inriktas på det oväsentliga eller så att sekundära verksamheter förorsakar kognitiv belastning.



Figur 18. Design av gränssnittet mellan människa och dator. Strukturering av informationen på dataskärmen i PDRac-verktyget.

Faktorer som att kommandon och kontroller är långsamma eller att systemet har en svag koppling till annat material påverkar. Också brist på intresse för teknologi eller rädsla för att använda teknologi måste beaktas. De problem som associeras med representationen och analysen av informationen kan vara av flera slag. En komplicerad navigering kan exempelvis försvåra uppkomsten av helhetssyn. Ogenomtänkta framställningsformer för informationen eller fragmentering av lärandemiljöer är faktorer som måste beaktas (Nyman, 1996).

I föreliggande studie kommer jag inte att på ett djuplodande sätt analysera de bakomliggande motiven och tankarna kring designen av PDRac-verktygets gränssnitt. Detta hör till forskningsfältet för interaktionen mellan människa och dator och skulle i detta sammanhang föra alltför långt. Några detaljer kommer jag dock i fortsättningen att kort belysa för att lyfta fram några av PDRac-verktygets egenskaper som kan ha en väsentlig betydelse, eftersom det handlar om ”effekterna av människans fysiska, kognitiva och affektiva särdrag på interaktionen mellan användare och dator” (Marchionini, 1991).

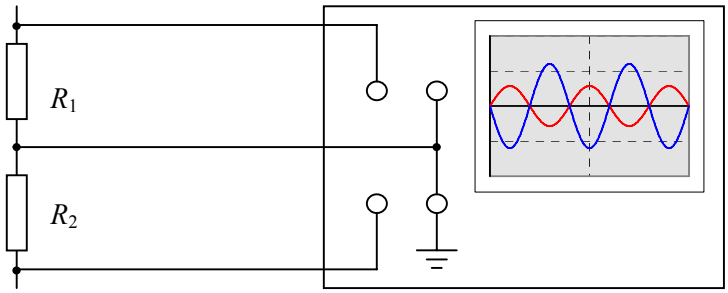
PDRac-verktygets centrala egenskaper

Konstruktionen av ett PDRac-verktyg för tillämpning i fysikundervisningen måste uppfylla ett antal kvaliteter inom ramen för de begränsningar som bestäms av konstruktören, mediet, syftet med verktyget och användaren.

Den första kvaliteten handlar om relationen mellan verkligheten och PDRac-verktyget. De parametrar som man kan variera i ett verkligt experiment ska man också kunna variera i det datorbaserade verktyget. I en reell, seriekopplad, enkel RLC-krets finns fem variabla storheter: resistans, induktans, kapacitans, spänning och frekvens. Med PDRac ska man kontinuerligt och snabbt kunna ändra ett värde på en storhetsparameter, något som i vissa fall är svårt i verkligheten. I en reell RLC-krets är det i princip omöjligt att ändra en spoles induktans eller en kondensators kapacitans kontinuerligt över ett stort intervall. Det finns visserligen variabla kondensatorer inom ett begränsat kapacitansintervall och man kan variera induktansen inom ett begränsat område genom att t.ex. förändra en järnkärnas läge i förhållande till spolen. I vartdera fallet är det dock svårt att avgöra vilka värden komponenternas storheter har. Byte av komponent är således ofta nödvändigt, vilket orsakar avbrott i det reella experimentförloppet, kräver ny intrimning av mätinstrument och förlänger experimenttiden. Man kan visserligen fråga sig om detta är ett problem, eftersom man i verkligheten oftast har konstanta värden på komponenters fysikaliska parametrar. Emellertid är situationen en annan då eleven befinner sig i en lärandesituation i syfte att lära sig de fysikaliska sambanden. Då är det till fördel att störande avbrott elimineras. Man har med PDRac-verktyget fortlöpande kontroll av komponenternas fysikaliska storhetsvärden.

Verktyget har den egenskapen att man numeriskt och grafiskt kan representera sådana samband som man inte kan mäta i verkligheten. I en verklig mätsituation kan man med ett oscilloskop eller med digitala eller analoga mätinstrument (under de förutsättningar, som oftast gäller för skolans utrustning) inte mäta momentanvärden av spänning, strömstyrka och effekt. En mätning av strömstyrkans förändringshastighet vid en given tidpunkt kan heller inte göras.

En annan egenskap är att man grafiskt kan representera fler samband simultant än man kan göra genom mätning i en verklig situation. I en verklig mätsituation kan man inte samtidigt mäta spänningen över var och en av komponenterna med hjälp av ett oscilloskop. Ett tvåkanalsoscilloskop behöver en gemensam jordpunkt, vilket innebär att den ena kanalen mäter spänningen över en komponent medan den andra kanalen mäter summaspänningen över denna, inklusive en eller flera komponenter till. Det kan också vara så att den ena kanalens spänning visas fasförskjuten (π radianer) i förhållande till den andra om den gemensamma jordpunkten placeras mellan komponenterna (se figur 19). I vissa fall kan man genom fasvändning lösa detta problem, ifall man kan acceptera att byta jordpunkt för att kunna utföra mätningen. Emellertid uppstår triggningsproblem vid oscilloskopmätning, ifall man kunde arrangera en mätning över enskilda komponenter.



Figur 19. Fasdifferens vid oscilloskopmätning av spänning över två resistorer, då jordpunkten placeras mellan resistorerna. Resistorn R_1 är kopplad till den övre och R_2 till den undre kanalen.

Den andra kvaliteten som ska uppfyllas handlar om relationen mellan användaren och PDRac-verktyget. Det ska vara relativt lätt att snabbt sätta sig in i PDRac-verktygets funktion. Verktyget har ett begränsat användningsområde, vilket innebär att det finns ett begränsat antal funktioner. Därför torde det inte vara alltför svårt att sätta sig in i dess funktion, vilket är en förutsättning för att det ska kunna komma till användning i didaktiska situationer men också i icke-didaktiska situationer, såsom håltimmar eller annan fritid utanför skoltid. Tiden

att göra sig bekant med verktyget får inte vara alltför lång – ett viktigt krav på ett hjälpmedel som används för lärande. Funktionsidén är att eleven måste vara aktiv och styra programmet genom inmatning och förändring av lämpliga parametrar. Vidare måste eleven göra inställningar av skalor i de grafiska fönstren för att få en tydlig avläsning. Det är också fördelaktigt att inmatningen och förändringen av parametervärdet sker i omedelbar närhet av den aktuella komponenten på dataskärmen. Situationen är då mer realistisk än om man arrangerar inmatningen i separata fält, långt från komponenternas placering. I det avseendet är det således inte ett äkta simuleringsprogram, som karakteriseras av att det sköter sig självt sedan det har satts igång, utan uppvisar stora likheter med verktyg för virtuella experiment (jfr avsnitt 3.3.3–3.3.4).

Den tredje kvaliteten handlar om representationsformer i PDRac-verktyget. Representationen av den fysikaliska situationen, numeriska indata samt numeriska och grafiska utdata sker parallellt och kan snabbt överblickas. Genom att flera representationsformer samtidigt finns på skärmen kan användaren med en liten förflyttning av blicken jämföra de data som utmatas och relatera dessa till den fysikaliska situation som är för handen. En viktig fördel är att man kan ta fram den representation eller kombination av representationer man önskar och gömma resten för att undvika att redundant information syns på skärmen. Alltför stor mängd information samtidigt i användarens synfält försvårar upptagandet av den relevanta informationen. Swaak et al. (1998, s. 249) och de Jong och van Joolingen (1998) har förespråkat att simuleringsprogrammen för datorer ska fungera så att modellen utvecklas småningom och därmed begränsar att informationen introducerar alltför många idéer på en gång.

PDRac-verktyget fungerar i likhet med mätinstrument dels genom att användaren kan ta fram grafiska fönster som motsvarar oscilloskopskärmar i en verklig mätsituation, dels genom att han kan ta fram numeriska utdata som motsvarar digitala instrument. Ett datorbaserat verktyg tillåter dynamik i de nämnda representationsformerna. Användaren (och datorns prestanda) bestämmer dynamiken. Alla utdata som relateras till indata ändras samtidigt som indata förändras. Detta ger möjlighet att relatera storheter till varandra, att se vad som påverkar vad.

Skalorna på diagrammets ordinata kan optimeras automatiskt eller fixeras till önskade värden. Skalan på abskissan justeras av användaren. Vid kraftiga förändringar av funktionsvärden är det till fördel att programmet sköter ordinatans skalning. Det har emellertid den nackdelen att användaren inte märker att grafen förändras utan att endast axelns skala förändras. För att kunna se den beroende variabelns förändring är det nödvändigt att man fixerar skalan på ordinatan.

Den fjärde kvaliteten handlar om begränsningar i designen av PDRac-verktyget och dess funktion. Växelströmskretsen består av en enkel seriekopplad krets

med tre komponenter, resistor, spole och kondensator. Man kan endast välja en godtycklig kombination av dessa tre, men inte sätta in godtyckliga komponenter i kretsen eller koppla dem på ett godtyckligt sätt, t.ex. parallellt. Med beaktande av begränsningarna i lärokursen uppfyller verktyget dock kursfordringarna. Ett kalkylprogram har begränsningar i bildkonstruktion, vilket gör att bilden av växelströmskretsen är statisk. Vissa element kunde göras rörliga, men detta tillämpas inte i den aktuella versionen. PDRac-verktyget bygger på en färdig matematisk modell av funktionen hos en enkel växelströmskrets. Konsekvensen av detta är att användaren inte kan introducera andra variabler än dem som redan finns.

I ett kalkylprogram placeras alla data i celler. Alla celler i samma kolumn eller på samma rad har samma fysiska storlek på dataskärmen. Representationen av stora tal (med många heltalssiffror) eller decimaltal (med många decimaler) blir då något problematisk. I de fall att tal med många respektive få gällande siffror finns i samma kolumn måste man optimera cellstorleken så att talvärdena visas korrekt i samtliga fall. Man måste kanske därför kompromissa om storheternas definitionsmängd. En viktig egenskap är att modellen kan skyddas så att inga oavsiktliga förändringar av kalkylen sker. I kalkylprogrammet är det möjligt att skydda alla övriga celler förutom dem som används för inmatning. Man kan också skydda grafiska element, bilder, diagram etc. Emellertid kan man inte skydda diagram om man samtidigt ska ha möjlighet att förändra element (exempelvis axelskalor) i diagrammet. Konsekvensen är då att diagrammen kan utsättas för oavsiktlig radering. Eftersom kalkylen öppnas med skrivskydd kan den inte sparas och en oavsiktlig radering får därmed inga andra följder än att användaren måste stänga filen och öppna den på nytt.

Kalkylbaserade applikationer kräver datorer med mycket god prestanda i fråga om minneskapacitet och processorhastighet. Med tiden försvinner denna begränsning i takt med att skolorna kan skaffa modernare datorutrustning.

Design av dynamikegenskap

Uppmärksamhet definieras dels som ”den mentala processen att koncentrera ansträngning på ett stimulus eller en mental händelse”, dels som ”den begränsade mentala energin eller resursen som ’driver’ det mentala systemet” (Ashcraft, 1998, s. 68). Det mänskliga informationsbehandlingssystemet har en begränsad kapacitet, som handlar om hur mycket det kan göra på samma gång, oberoende av de mentala processer som avses. Man kan t.ex. lyssna och skriva på samma gång eller lyssna och trumma med foten på samma gång, men man kan rikta medveten uppmärksamhet på endast en av dessa två handlingar (Johnson-Laird, 1988, s. 212). I allmänhet kan vi enligt Ashcraft (1998, s. 82) inte utan svårighet vara uppmärksamma på mer än en informationskälla på samma gång; vi kan t.ex. inte ledigt hämta mer än en sakuppgift ur minnet eller lösa mer än ett problem på samma gång. När vi av två uppgifter utför en av dem

med stor precision betyder det att den andra inte kan göras väl. Människans kapacitet till medveten uppmärksamhet är begränsad. Med övning kan man dock lära sig att utföra en dubbeluppgift simultant och lika lätt som man kan utföra en enda uppgift. Det beror på att en del mentala processer kan göras automatiska, medan andra kräver högre grad av medvetenhet.

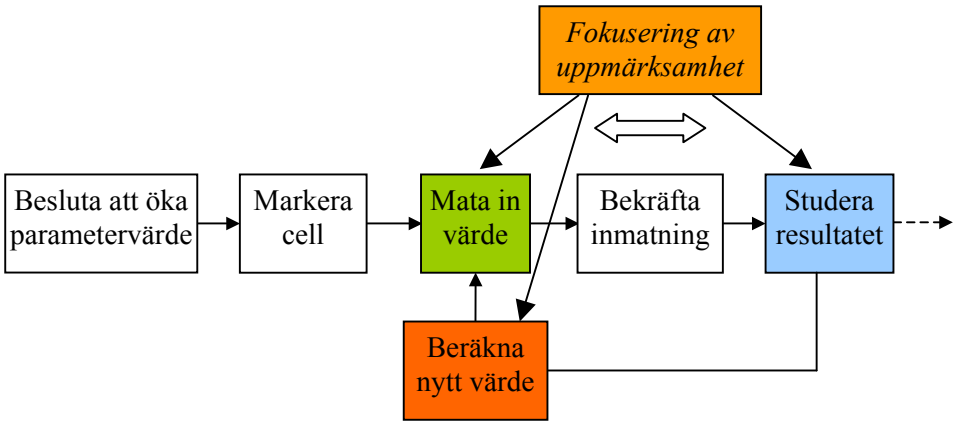
Ashcraft (1998, s. 84) delar in mentala processer i medvetna och automatiska. De medvetna processerna karakteriseras av att de inträffar endast med avsikt, i enlighet med ett noga övervägt beslut. De är öppna för medvetenhet och introspektion. Processerna utnyttjar medvetna resurser och kommer därigenom att gradvis tömma förrådet av förmågan till medveten uppmärksamhet. De medvetna processerna opererar relativt långsamt. De automatiska mentala processerna inträffar däremot utan avsikt, utan medvetet beslut. Processerna är inte öppna för medvetenhet eller introspektion. De förbrukar få eller inga medvetna resurser och opererar mycket snabbt.

Hur kan detta utnyttjas i ett PDRac-verktyg? Låt oss som exempel ta aktiviteten att öka (eller minska) värdet av en storhetsparameter i en simulerad fysikalisk situation, en av de mest centrala aktiviteterna med PDRac-verktyget, som är designat för att representera data parallellt och dynamiskt. Ökningen av parametervärdet ska ske successivt med ett givet belopp och i en takt som bestäms av användaren. Användaren måste ägna medveten uppmärksamhet åt flera informationskällor och mentala processer i den aktuella aktiviteten. En grov indelning ger två huvudsakliga processer: att manuellt styra ändringen av parametern och att visuellt studera effekten av ändringen. Den senare processen, att studera de dynamiska ändringarna av numeriska och grafiska data, kräver en hög kapacitet av medveten uppmärksamhet. De mentala resurserna måste koncentreras till denna process, medan processen att manuellt styra parameterändringen måste göras mer eller mindre automatiskt.

Processen att ändra ett parametervärde i ett kalkylprogram kan i huvudsak implementeras enligt två metoder: 1) genom direkt ändring i den cell som innehåller parameterns värde eller 2) genom att låta en makroprocedur eller en kontroll av typen rullningslist ändra cellens innehåll. Den förra metoden är enklare vid produktionen av verktyget, men den manuella cellinmatningen kräver större medveten uppmärksamhet i användningssituationen än den senare. Användaren måste flytta bort blicken från objektet (en graf eller ett numeriskt värde), som studeras på dataskärmen, till tangentbordet för att koncentrera sig på den mekaniska inmatningsåtgärden. För en van användare kan hanteringen av tangentbordet visserligen vara mer eller mindre automatisk, men för en ovan eller ”normal” användare måste den medvetna uppmärksamheten flyttas till inmatningsaktiviteten. Figur 20 visar den sekvens av steg som behövs för att utföra ändringen av parametern. Slingan bestående av fyra boxar till höger i figuren fokuserar vårt intresse.

Låt oss se hur en sådan parameterändring går till. Efter att ha matat in ett parametervärde måste man bekräfta inmatningen med ett tryck på Entertangenten. Innan Enter trycks ned bör blicken flyttas till dataskärmen på den plats som är föremål för studium för att man ska hinna iaktta förändringen. Vid en ny inmatning måste blicken (eventuellt) flyttas tillbaka till tangentbordet, samtidigt som man måste återkalla i minnet vilket värde som senast har matats in. Det nya värdet måste beräknas som summan av det gamla värdet och steglängden, matas in och bekräftas.

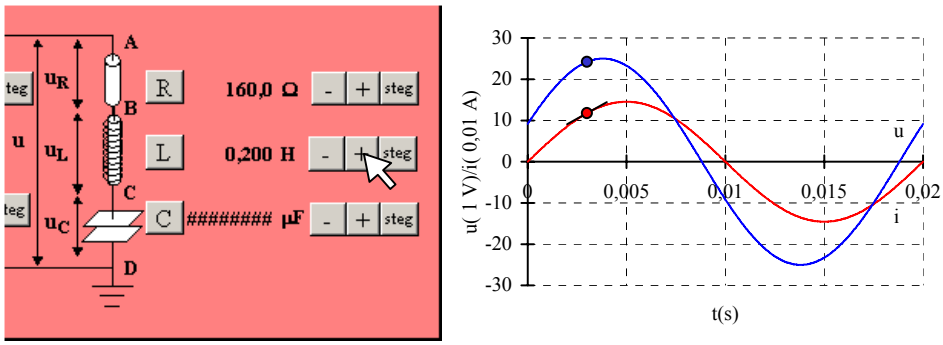
Denna metod är således långsam och stör koncentrationen, då den mentala fokuseringen ska växla mellan inmatningsåtgärden och det studerade objektet på dataskärmen (se dubbelpilen i figur 20). Användaren berövas en del av sin kapacitet till medveten uppmärksamhet på det väsentliga: att iaktta förändringens effekt på objekten på dataskärmen. Den manuella parameterändringen bör därför överföras till en mer omedveten, automatisk handling, så att en större andel av de mentala resurserna står till förfogande för en medvetet riktad uppmärksamhet på dataskärmen och de krävande processer som är relaterade till lärande.



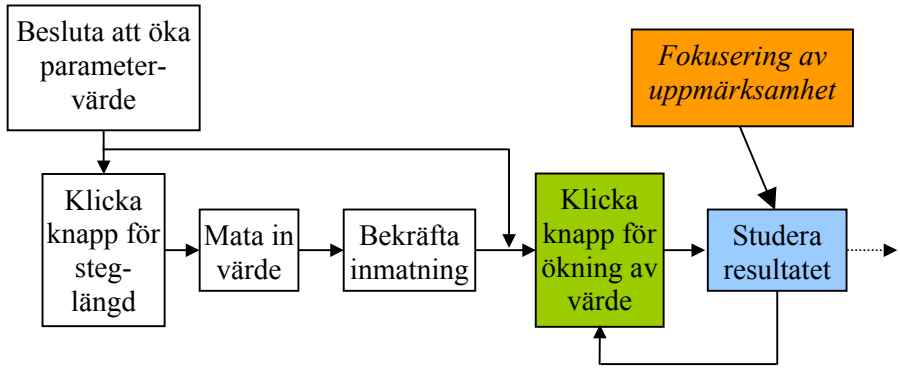
Figur 20. Inmatning i kalkylbladscell. Detaljstudie av en sekvens av behövliga steg vid ändring av ett parametervärde samt de aktiviteter (mörkare rutor) som fokuserar uppmärksamheten.

Den andra metoden består i att göra en parameterändring via en makroprocedur eller rullningslist. Makroproceduren kräver programmering i produktionsskedet, medan rullningslisten kräver en algoritm som omvandlar rullningslistens dragrörelse till ett parametervärde. För användaren innebär parameterändringen emellertid att han kan ”parkera” musmarkören på aktuell makroknapp och sedan bibehålla den medvetna uppmärksamheten på studieobjektet (t.ex. grafen i figur 21). Klickandet med musen på makroknappen förpassas till en simultan, automatisk process (se figur 22). Användaren behöver inte flytta bort blicken för

att göra ändringar utan kan koncentrera sig på de lärandeprocesser som är förknippade med den kognitiva aktiviteten. Ändringarna kan dessutom göras i den takt som han hinner följa med händelseförloppet på dataskärmen. Risken att överbelasta hjärnans arbetsminne minskar därmed. (Ändringsfrekvensen begränsas också av datorns räknekapacitet visavi kalkylblad.)



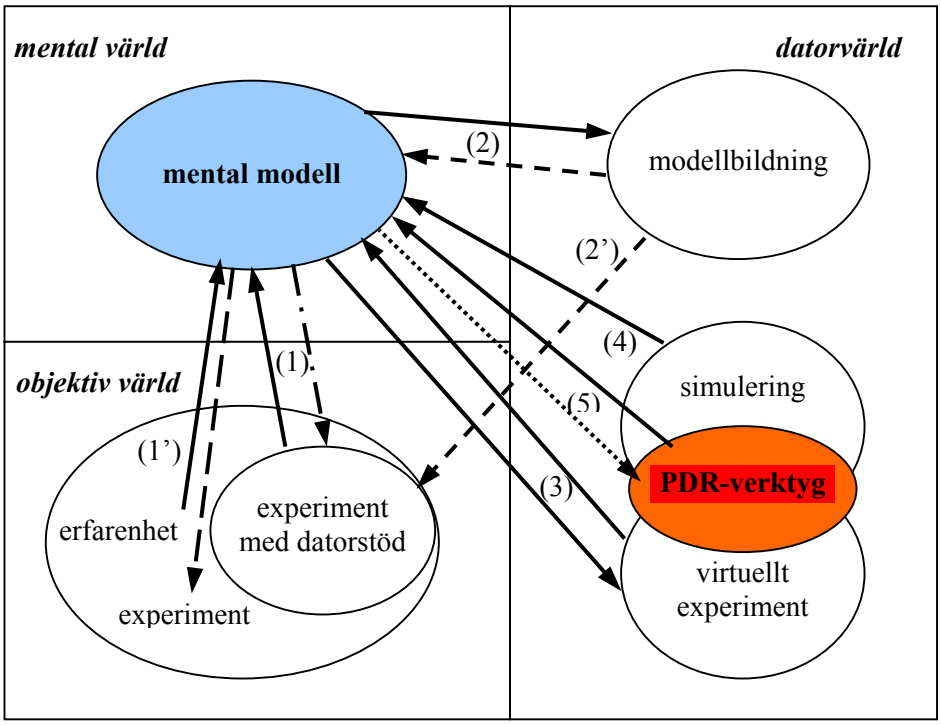
Figur 21. Detalj från PDRac-verktygets datadisplay. Exempel på dynamisk ändring av induktans med musmarkören (placerad på plusknappen) samtidigt som blicken är fokuserad på grafen och/eller numeriska värden, vilka förändras med induktansen.



Figur 22. Inmatning med hjälp av makroknappar (eller rullningslist med motsvarande funktion). Detaljstudie av en sekvens av behövliga steg vid ändring av parametervärde och aktiviteten (mörkare ruta) som är föremål för fokusering av uppmärksamheten.

Klassificering

Utgående från PDRac-verktygets egenskaper och funktion kan det inordnas i den av Heuer (1996) omnämnda klassificeringen av datorbaserade verktyg. PDRac-verktyget kan anses vara en hybrid av ett simuleringsverktyg och ett verktyg för virtuella experiment. Av simuleringsverktygen är symboliska process-simuleringar (jfr Gredler, 1996, s. 529) och PDRac-verktygets funktion närmast jämförbara. PDRac-verktyget tar således egenskaper från båda kategorierna av datorbaserade verktyg, symboliska processimuleringar och virtuella experiment (figur 23). Den allmänna kategorin av datorbaserade PDR-verktyg kan karakteriseras på följande sätt: De fysikaliska förloppen representeras av en intern modell, som inte är direkt tillgänglig för användaren. Simuleringen sätts igång och styrs av användaren efter att begynnelsevillkoren har bestämts.



Figur 23. Författarens PDR-verktyg och relationspilar (5) inplacerade i Heuers (1996, s. 10) relationsschema (jfr avsnitt 3.3).

I likhet med virtuella experiment kan användaren välja bland de tillbudsstående standardobjekten och utforma det experiment som ska ge svar på användarens frågeställningar. Utformningen bestämmer sedan de fysikaliska lagar som används. Eftersom antalet standardobjekt och variationen av utformningen är mycket begränsad är det inte fråga om ett äkta verktyg för virtuella experiment.

I likhet med simuleringsverktyg fungerar PDRac-verktyget med inbyggda, färdiga modeller som eleverna varken ska programmera eller nödvändigtvis behöver känna till. För att kunna använda verktyget behöver eleverna inte ha förkunskaper. Därmed kan man anse att verktyget förmedlar påståendekunskap om de processer som simuleras och framställningen kan i första hand tyckas vara presenterande och informerande. Emellertid kräver PDRac-verktyget att eleven är aktiv vid val av komponenter och storhetsparametrar, ändring av parametrar, bestämning av representationsformer och justering av skalor. Elevens aktivitet skapar den dynamiska visualisering av fakta som lyfter fram de strukturella sammanhangen. Den dynamiska interaktionen mellan eleven och PDRac-verktyget syftar till att eleven ska upptäcka fysikaliska principer, finna samband mellan storhetsvariabler och förklara händelser som är en följd av elevens aktivitet.

Likheten med virtuella experiment är att eleven, med vissa begränsningar, kan välja försöksuppställning och de komponenter som ska vara med i det virtuella försöket. På samma sätt som i ett fysikexperiment måste man skissera upp eller ha en idé om ändamålet med experimentet. I en verklig experimentsituation med exempelvis en RLC-krets skisserar man upp ett kopplingsschema, utför kopplingsarbetet av själva kretsen, ansluter analoga och/eller digitala instrument och ett oscilloskop till kretsen. I PDR-miljön, där PDRac-verktyget utgör motsvarigheten till experimentuppsättningen, finns ett färdigt kopplingsschema. Det virtuella kopplingsarbetet innebär att man väljer vilka komponenter som ska ingå. Anslutningen av mätinstrument motsvaras av att välja ut de numeriska (digitala instrument) och grafiska (oscilloskop) representationsformerna som åskådliggör experimentförloppet. I den aktuella versionen av PDRac är alla komponenterna i RLC-kretsen synliga oberoende av om de är inkopplade eller inte. I den kommande versionen ska endast de inkopplade komponenterna vara synliga, likaså ska digitala mätinstrument i ikonform kunna tas fram och placeras på dataskärmen.

I ett reellt experiment med växelströmskretsar och oscilloskop finns det även begränsningar. Med ett tvåkanalsoscilloskop kan man på samma gång mäta spänningen över två komponenter. Alternativt kan man mäta spänningen över en komponent och strömstyrkan i kretsen. (I praktiken innebär en mätning av strömstyrka med ett oscilloskop att man mäter spänningen över en resistor och utnyttjar att strömstyrkan är proportionell mot spänningen enligt Ohms lag.) Vid mätningen måste man beakta att en fasvändning måste göras på den ena kanalen för att graferna ska vara jämförbara. Mätningen kräver nämligen att oscilloskopets jordpunkt ligger mellan komponenterna med resultatet att den ena spänningen mäts med en halvperiods fasändring.

Det som skiljer PDRac från reella komponenter och instrument är att det är möjligt att placera in tecken för spänningspolaritet över komponenterna, visa strömmens riktning med pilar, mäta momentanvärden vid valbara tidpunkter,

sätta in tangenter till kurvor så att förändringar av storheter åskådliggörs samt att grafiskt visa spänningar över samtliga komponenter i rätt fas. Man kan således använda sig av ikoniska element som förstärker den visuella framställningen av detaljer i förloppet, ta fram representationer som integrerar fysikaliska storheter med matematiska eller markera punkter eller områden som intresset ska fokuseras på. Bildandet av elevens mentala modeller av försöksförloppet underlättas effektivt.

4.1.3 PDRac-verktyget i didaktiska situationer

I designprocessen ingår implementering av PDRac-verktyget i fysikundervisningen och anpassning av dess funktion i situationer, där det förväntas ha en didaktisk potential.

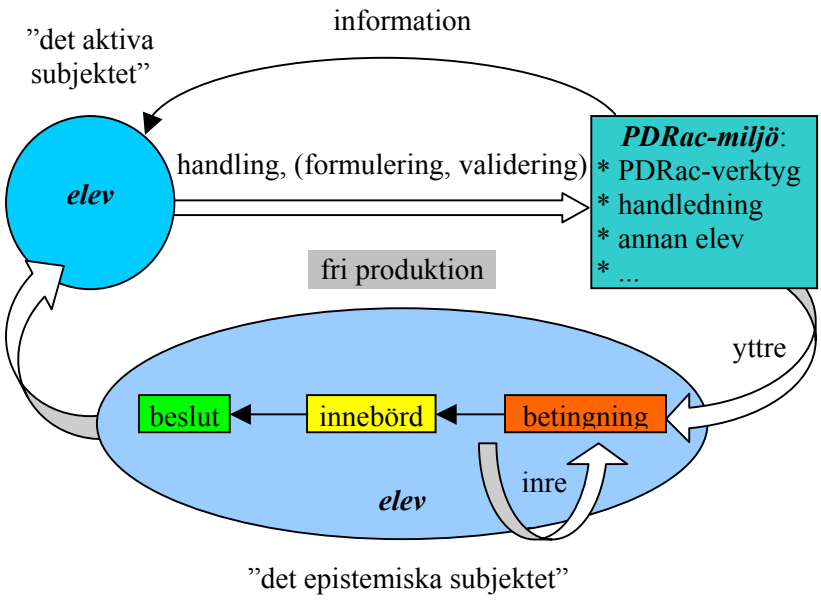
Organisering av en problemsituation

En undervisningsprincip i *didactique* är att läraren delegerar till eleven en adidaktiskt lämplig situation. Läraren kommunicerar inte kunskap utan arrangerar en didaktisk situation så att ett bra problem delegeras. Eleven träder in i ett spel, som är specifikt för kunskapen. Om eleven vinner spelet, kommer lärande att ske (Brousseau, 1997, s. 33). I avsnitt 2.1 presenteras relationerna mellan elementen i det spel som karakteriserar elevens interaktion med en adidaktisk miljö. Kunskapen fungerar som elevens fria produktion inom sin relation till den adidaktiska miljön. Brousseau definierar den fria produktionen som elevens respons på miljön, bestämd av en innebörd, dvs. av det som eleven kan sätta in mellan sin inre eller yttre betingning och sina beslut (se figur 24). Eleven har en verklig möjlighet att välja en av många vägar till intellektuellt resonemang och att personligen producera något (Brousseau, 1997, s. 229). Problemen ska få eleven att genom sin egen motivation handla, tala, tänka och gradvis utveckla ett svar.

I denna studie antas elevens adidaktiska miljö i huvudsak bestå av PDRac-verktyget, ett handlednings- och övningsmaterial och en eller flera andra elever.

Läraren kan också tillfälligt träda in i denna miljö, eftersom han har den sociala förpliktelsen att hjälpa eleven (Brousseau, 1997, s. 31) i kraft av det didaktiska kontraktet. I en adidaktisk situation uppstår det mellan eleven och miljön en interaktion eller enligt Brousseaus sätt att se det en dialektik (se avsnitt 2.1). Informationsflödet är riktat från eleven mot PDRac-verktyget då eleven genom sin aktiva handling vidtar åtgärder för att åstadkomma någon förändring i den information som verktyget ska producera (se figur 24). Exempelvis kan denna aktivitet bestå av inmatning eller ändring av värdet på en storhetsparameter. Denna förändring åstadkommer en respons från verktyget, en informationsmängd som eleven ska hantera. Informationsflödet är riktat mot eleven. Eleven, i egenskap av det epistemiska subjektet (Brousseau, 1997, s. 249), reagerar på

detta yttre incitament och använder sin kunskap, utvecklar denna genom (intellektuellt) resonemang och fattar beslut om lämplig form av produktion gentemot miljön, bestämd av innebörden i informationen.



Figur 24. Elevens fria produktion inom sin relation till en adidaktisk PDRac-miljö.

I egenskap av det aktiva subjektet a) verkar (handlar) eleven direkt på miljön, t.ex. genom att ändra någon storhets värde, b) delger (formulerar) information kodad i språklig form, t.ex. uttrycker hur ändringen av en storhets värde påverkar andra storheters värden i någon riktning, eller c) validerar ett påstående, t.ex. etablerar samband mellan två storheter. Miljön kan också förmedla direkt information (övre pilen i figuren) till den aktiva eleven, så att miljöns status kontinuerligt är bekant för honom. Denna information, som överförs i visuell form från PDRac-verktyget och handledningsmaterialet eller i auditiv form från exempelvis en annan elev, behöver inte vara föremål för någon reflektion från elevens sida. Då eleven tar emot informationen i egenskap av det epistemiska subjektet, tänker, resonerar, reflekterar, talar och handlar eleven enligt Brousseau utgående från sin kunskap eller producerar ett svar. Det pågår således en ständig interaktion mellan eleven och miljön, en miljö som i huvudsak karakteriseras av att material till kunskap representeras i form av numeriska och grafiska data parallellt och dynamiskt på dataskärmen. Eleven ges möjlighet att låta sin egen aktuella kunskap och sina strategier arbeta och utvecklas.

Analysinstrument för PDRac-verktygets funktion

I syfte att analysera PDRac-verktygets potentiella funktion i elevens interaktions- och begreppsbildningsprocess i adidaktiska situationer är det ändamålsenligt att konstruera ett analysinstrument. Instrumentet kan användas för att stegvis, i faser, analysera elevens förväntade spel med den i huvudsak adidaktiska miljön (se figur 2 avsnitt 2.1 och figur 24) i problemsituationer, där PDRac-verktyget förmedlar den information som eleven ska hantera för att bygga upp sin kunskap kring de fysikaliska begrepp och fenomen som är föremål för undervisning. Analysen strävar efter att förklara vilken slags kunskap, kvalitativt resonemang, förkvantifiering etc., som PDRac-verktyget understöder och vilka åtgärder som eleven förväntas vidta. I det följande analyseras den potentiella växelverkan mellan eleven och PDRac-verktyget och figur 25 illustrerar denna växelverkan. Modellen för växelverkan byggs upp på basis av Heuers (1996) framställning av relationen mellan elevens mentala värld och datorvärlden och på teorin om begreppsbildning och representationer, som presenteras i avsnitt 3.2. Analysen är indelad i numrerade faser, som också antyder en ordningsföljd. Interaktionsprocessen behöver emellertid inte strikt avancera i den föreslagna ordningsföljden. Processen kan vara cyklisk i flera faser och det kan språngvis ske övergångar mellan icke-successiva faser, faserna blandas (se även tabell 4).

Ett exempel, som behandlar en rent resistiv växelströmskrets, belyser stegen i processen (figur 25). Jag har medvetet valt ett enkelt exempel för att resonemanget kring exemplet inte ska överskugga det allmänna resonemanget kring interaktionerna.

Interaktionens grundfaser

Interaktionen mellan eleven och PDRac-verktyget initieras av eleven *(fas 1)*. I en didaktisk situation får eleven hjälp av handlednings- och övningsmaterialet eller läraren. Initieringen kan gälla val av utgångsparametrar, val av representationer, t.ex. vilka numeriska och grafiska representationer som är aktuella. I initieringsskedet kan eleven också fastställa skalor på graferna.

> Exemplets rent resistiva växelströmskrets får spänningen 25 V, frekvensen 50 Hz och resistansen 160 Ω. Numeriska utdata av intresse kan vara momentan- och effektivvärden eller storheter som växelströmsamplitud, impedans och fasförskjutning. En dubbelgraf med kretsens totalspänning och strömstyrka som funktion av tiden samt vid behov spänningen över resistorn placeras ut på skärmen. Här måste man göra en kompromiss. Då graffönstret med spänningen över resistorn placeras ut kommer det att täcka något fält för numeriska utdata. Man tar tillfälligt fram ifrågavarande graf och kan lätt konstatera att den inte är behövlig i fortsättningen. Spänningen över resistorn är den samma som totalspänningen i kretsen (det finns bara en komponent i kretsen). För att båda graferna tydligt ska framträda gör man en justering av strömgrafens skala så att enheten motsvarar 10 mA.

PDRac-verktyget svarar genom att presentera den information, som är resultatet av initieringen *(fas 2)*. Enligt en jämförelse med Brousseau (1997) skulle den första fasen motsvara en handlingssituation, i vilken elevens kunskap är av procedurtyp (se bilaga 1).

Representationerna skapar underlag för frågor *(fas 3)*, som eleven med hjälp av sin förkunskap, övningsmaterialet och andra elever (eller läraren) måste resonera sig fram till om den studerade fysikaliska situationen, och han måste fatta beslut om vilka åtgärder som är lämpliga *(fas 4)*. Frågorna som bestämmer elevens fortsatta handlingsmönster syftar till att få PDRac-verktyget att svara med den information som ska hjälpa eleven att lösa problemet, att studera den fysikaliska situationen eller att få ”fenomenets kvalitativa särdrag definierade” (Kurki-Suonio & Kurki-Suonio, 1994, s. 160).

> Huvudfrågeställningen kan t.ex. vara: Vilket samband finns det mellan spänning och strömstyrka i en rent resistiv växelströmskrets? Under vilka villkor gäller sambandet? Dessa frågor leder till mer konkreta, begränsade frågor: Vad ska jag ändra? Vilka effekter ska jag fokusera på? Antag att man vill undersöka sambandet vid olika tidpunkter och beslutar därför att välja några olika tidpunkter.

Genom elevens aktiva handling kommer PDRac-verktyget att ge respons i form av kvalitativa och halvkvantitativa parallellrepresentationer av data i numerisk och grafisk form av den fysikaliska situationen *(fas 5)*. Elevens hantering av den kvalitativa informationen består i att iaktta vad som förändras och vad som är konstant vid den aktiva handlingen. Den halvkvantitativa informationen anger riktning och ungefärlig storlek på förändringarna.

Forskare har fokuserat på begreppet halvkvantitativt resonemang. Näsäkkälä (1999, s. 55, egen övers.) skriver:

> Naturligt vardagstänkande faller ofta mellan det kvalitativa och kvantitativa. Ordnandet av en mängd genom att använda termer som ”stor” och ”liten”, ”ökning” och ”minskning” föredras framom storleksordning. Av denna orsak har formen som kallas halvkvantitativ utvecklats. Den inbegriper tänkande om system i termer av ungefärlig storlek på saker och riktning av effekter. Den kräver en förståelse av den riktning ett orsakssamband har (ökning eller minskning), men numeriska värden på matematiska samband behövs inte.

Grafen är en representationsform som är synnerligen användbar i kvalitativa och halvkvantitativa resonemang. Då eleven resonerar över den kvalitativa och halvkvantitativa informationen får han en föreställning om strukturella element i det skeende som studeras *(fas 6)*. Näsäkkälä (1999, s. 56) rapporterar både egna och andra forskares erfarenheter kring elevers resonerande då eleverna körde modeller som de själva hade gjort med hjälp av ett modellbildningsprogram på dator. Lärandeaktiviteterna bestod av explorativa och expressiva uppgifter. Icke-kausalt resonemang dominerade kommentarerna, men resonemanget var

beroende av uppgift. I explorativa uppgifter förekom det stora variationer i formen av resonemang: komplext kausalt resonemang, enkelt kausalt resonemang och icke-kausalt resonemang. Komplexa kausala resonemang var företrädda i lika hög grad som enkla kausala resonemang i de expressiva uppgifterna.

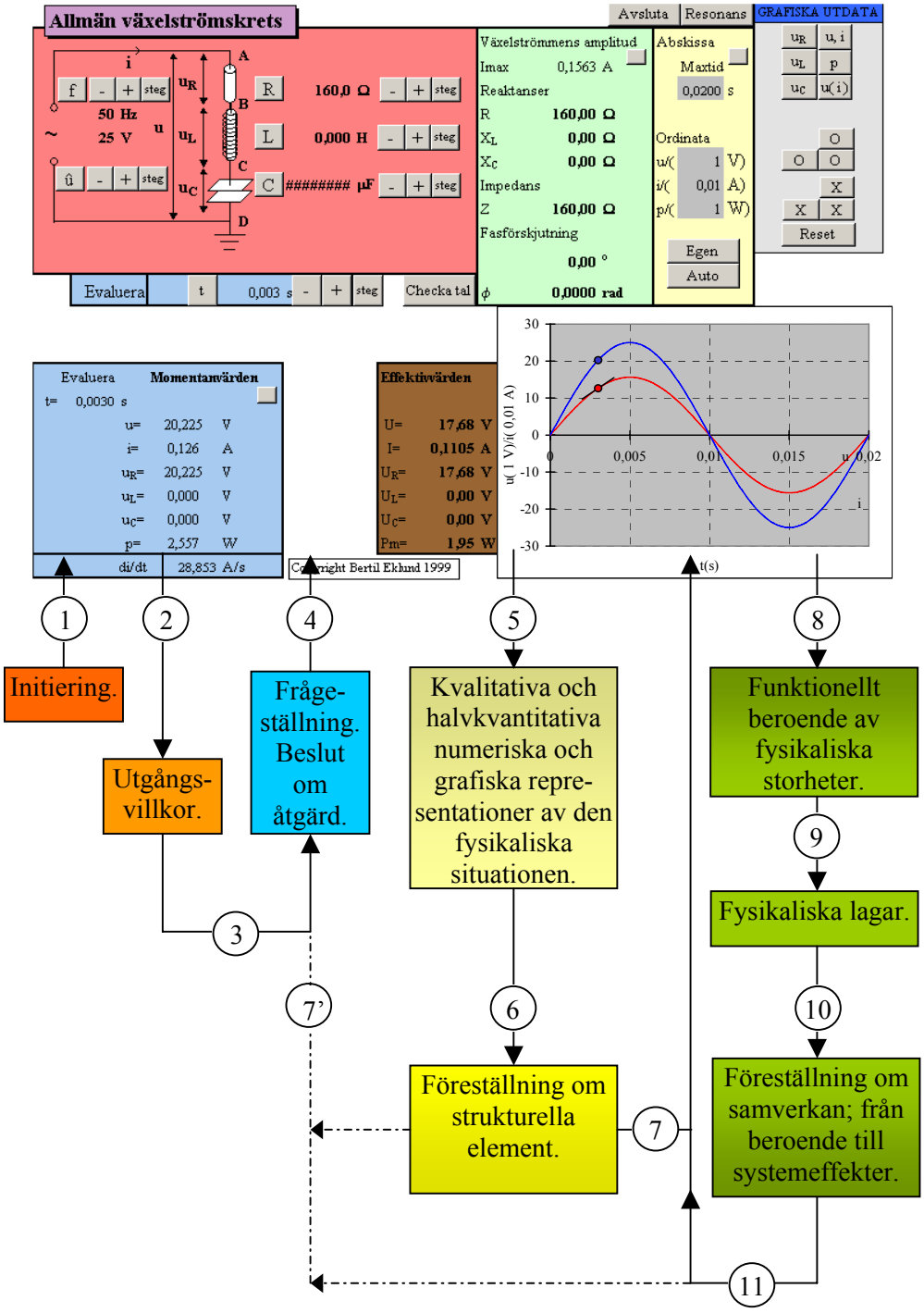
Man kan inte direkt utgå ifrån att variationerna och formerna av kausala resonemang uppvisar liknande fördelning och är överförbara till föreliggande kontext. PDRac-verktygets modeller existerar redan då verktyget tas i bruk, men är gömda för användaren. Eleverna har inte själva konstruerat dem, men de kan med fördel ha förkunskaper om de matematiska modellerna av de fysikaliska situationerna från tidigare undervisningssituationer. PDRac-verktyget kan snarare klassas som ett verktyg för symbolisk processimulering (jfr Gredler, 1996, s. 529). Elevens roll i relation till detta verktyg förliknas enligt Gredler (1996, s. 528) vid forskarens eller undersökarens. För att upptäcka samband, förklara eller förutsäga händelser manipulerar eleven olika variabler. Oberoende av om eleven själv har gjort (de korrekta) modellerna eller använt färdiga modeller kan framställningen av de resultat som modellerna representerar göras likvärdiga. Tolkningen av de framställda resultaten kan dock påverkas av det sätt på vilket man närmat sig resultaten. PDRac-verktyget antas ha en potential att befrämja kausala resonemang utan att ha explicita matematiska modeller till hjälp.

Elevens föreställning om fenomenet testas *(fas 7)* genom att dynamiskt förändra den valda parametern och föreställningen förstärks om loopen 5–6–7 utförs upprepade gånger.

> För de valda tidpunkterna kan man konstatera att då spänningen ökar (minskar), så ökar (minskar) strömstyrkan. Kvoten mellan värden ($\neq 0$) på spänning och strömstyrka är densamma; t.ex. vid $t = 3$ ms (figur 25) är $u = 20{,}225$ V och $i = 0{,}126$ A samt $u/i = 160$ V/A (ett värde som kan beräknas genom att utnyttja fler decimaler med hjälp av funktionen Checka tal). Man kan konstatera att $u \sim i$. Ytterligare kan man se att spänning och strömstyrka samtidigt uppnår sina toppvärden respektive nollställen. Storheterna har också alltid samma tecken.

Beroende på resultatet av resonemanget kan elevens fortsatta agerande gå tillbaka till nya frågeställningar *(fas 7')* för att testa en annan aspekt av situationen och få ytterligare hjälp med att skapa nya föreställningar om strukturella element.

> Man kan välja att variera resistansen R. En ökning (minskning) av R ger en minskning (ökning) av strömstyrkan i, dvs. $i \sim 1/R$. Strömstyrkan är omvänt proportionell mot resistansen i kretsen för samma polspänning.



Figur 25. Faser i ett antaget dubbelriktat informationsflöde mellan användaren (nedan) och PDRac-verktyget (ovan) (jfr Heuer, 1996). PDRac-verktyget representerar ett tillstånd i en RLC-krets.

Fas 7' väljs då situationen förändras t.ex. genom att byta parameter eller genom att byta fokus på det som studeras. Sekvensen av faserna 5–6–7 väljs då samma parameter ändras. Dessa sekvenser av faser kan upprepas tills eleven kvalitativt och halvkvantitativt har undersökt kretsens funktion genom variation av flera parametrar.

> Resonemanget beträffande proportionalitet gäller också för toppvärden och effektivvärden. Kretsens funktion kan ytterligare undersökas för varierande källspänningar och frekvenser.

Då eleven känner sig mogen att gå vidare kommer hans handlingar att bli mer strukturerade. Nästa fas i interaktionen innebär att elevens resonemang i kvalitativa och halvkvantitativa termer och elevens förkvantifiering övergår i kvantifiering av samband mellan storheter. Informationen från PDRac-verktyget *(fas 8)* skapar underlag för denna kvantifiering.

> En kombination av de proportionaliteter som härletts ovan ger sambandet $u = Ri$.

Upptäckten av funktionella beroenden mellan fysikaliska storheter leder till resonemang kring fysikaliska lagar, som representerar sambanden *(fas 9)*.

> Sambandet $u = Ri$ motsvarar Ohms lag för likströmskretsar, vilka har behandlats tidigare. För toppvärden och effektivvärden fås $\hat{u} = R\hat{i}$ respektive $U = RI$.

Genom att förena sambanden och lagarna får eleven en föreställning om en större struktur eller ett system där lagarna är giltiga *(fas 10)*. Parallellt med aktiva handlingar, som skapar dynamik i processerna, kan föreställningen om ett system följas av resonemang i både kvalitativ och kvantitativ form om nya lagar och samband *(fas 11)*.

> Ohms lag tycks gälla för en rent resistiv växelströmskrets oberoende av växelspänningens frekvens. Lagen gäller för momentanvärden (och därmed toppvärden) samt effektivvärden. I en rent resistiv växelströmskrets är totala impedansen lika med resistansen och fasförskjutningen är noll. Ytterligare kan konstateras att Kirchhoffs lag för en sluten växelströmskrets gäller för momentanspänningar.

Därmed har processen fortskridit från ett initieringsskede till en allmän slutsats om en rent resistiv växelströmskrets. Den beskrivna processen är visserligen teoretiskt konstruerad och kan följa varierande spår för varje enskild elev, men PDRac-verktyget gör det i varje fall möjligt för eleven att följa processen såsom den presenterats.

I tabell 4 sammanfattas faserna i elevens potentiella interaktion med PDRac-miljön. Analysinstrumentet kommer till användning vid presentationen av de lokala valen (avsnitt 4.2) där de didaktiska situationernas problemsituationer

skärskådas inom ramen för den lokala organisationen av det didaktiska ingenjörsarbetet. Det förutsätts att eleven i fråga är subjektet, den aktiva parten, i den manuella hanteringen av PDRac-verktyget. Andra elever som eventuellt finns med i lärandemiljön anges med kursiv stil. Det nämns inte explicit att övriga elever och läraren givetvis också kan få samma information från PDRac-verktyget.

Tabell 4. *PDRac-verktygets didaktiska funktion. Instrument för analys av faserna i elevens förväntade interaktion, eller spel med PDRac-miljön (jfr figur 25).*

Fas	Beskrivning av fasen	Informations-flödets riktning	Händelser (och begreppsbildning) i interaktionsprocessen
1	Initiering.	elev → PDRac	Eleven gör förberedelser, in-matningar av utgångsvärden; handlar mekaniskt enligt instruktioner eller på eget initiativ.
2	Utgångsvillkor.	PDRac → elev	PDRac-verktyget förmedlar information om utgångsläget för den kommande dynamiska (eller eventuellt statiska) processen. Eleven studerar utgångsdata.
3	Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.	eleven själv (elev ↔ *elev*) (elev ↔ lärare)	Representationerna utgör bas för elevens frågor och handlande. Detta sker i interaktion med elevens kunskap, handlednings- och övningsmaterialet, andra elever, läraren.
4	Frågeställning, åtgärdsbeslut.	elev → PDRac	Frågor ställs och beslut fattas om den egna aktiviteten i situationen. Besluten verkställs.
5	PDRac-verktygets respons.	PDRac → elev	PDRac-verktyget förmedlar åskådligt ett fysikaliskt förlopp med kvalitativa och halvkvantitativa parallellrepresentationer av data, vilket leder till att eleven får en kvalitativ föreställning om förloppet.
6	Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.	eleven själv (elev ↔ *elev*) (elev ↔ lärare)	Kvalitativa och halvkvantitativa föreställningar, som leder till att eleven bildar grundläggande strukturerande uppfattningar och utsagor om bekant faktaområde.

Tabell 4, forts.

7	Föreställningen om strukturella element testas.	elev → PDRac	Eleven testar de grundläggande strukturerande uppfattningar och utsagor han erhållit om faktaområdet genom att utnyttja PDRac-verktygets dynamik.
7’	Resonemang kring en ny aspekt av situationen.	eleven själv (elev ↔ *elev*) (elev ↔ lärare)	Eleven beslutar att testa situationen ur en annan aspekt, interagerar med handledningsmaterialet, sin kunskap, andra elever, läraren.
8	Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.	PDRac → elev	Eleven skaffar sig en preliminär, kvantitativ förståelse av och tillgång till funktionella samband mellan fysikaliska storheter med hjälp av parallellrepresentationer av data.
9	Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.	eleven själv (elev ↔ *elev*) (elev ↔ lärare)	Eleven känner igen och använder fysikaliska lagar och definitioner.
10	Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.	eleven själv (elev ↔ *elev*) (elev ↔ lärare)	Eleven förenar samband och lagar till en struktur, ett system eller till nya lagar både kvalitativt och kvantitativt.
11	Föreställning om samverkan testas.	elev → PDRac	Eleven testar ett system där lagarna gäller eller undersöker nya lagar både kvalitativt och kvantitativt med hjälp av dynamisk parallell-representation av data.

4.1.4 Handlednings- och övningsmaterial

I datorbaserade undervisningsmiljöer är det motiverat att parallellt med PDRac-verktyget använda ett handlednings- och övningsmaterial för att stöda elevernas lärandestrategier (och lärarens undervisning). Materialet ska ge användaren möjlighet att genom egen aktivitet och eget initiativ utforska och upptäcka samband i det komplexa dynamiska system som eleven ska kontrollera. Handledningsmaterialet behöver dock inte förse eleverna med detaljerad information som att ge färdiga svar på frågorna eller facit på övningsuppgifterna, men det ska antyda en målinriktning och ge fingervisningar om vilka moment eleven ska genomföra. Dahland (1993, s. 82) definierar en handledning för datorprogram som ”en stegvis upplagd och ofta mycket detaljerad beskrivning av hur vissa

moment genomförs vid arbete med ett program". En metodisk anvisning "vänder sig till lärare och avses ge tips om hur programmet används i undervisningen och integreras med andra läromedel". Arbetsformer och studieuppgifter kan beskrivas och pedagogiska anspråk redovisas med angivande av metodisk ansats.

Datorbaserade tillämpningar tillhandahåller en stor mängd information som elever kan hämta med hjälp av en stor uppsättning metoder. I en undervisningsmiljö, där sådana tillämpningar ingår, är det därför väsentligt att eleverna vid behov får en lämplig mängd relevant information i syfte att åstadkomma ett lärande som är framgångsrikt, målinriktat och utforskande. Man måste göra anspråk på att noggrant vägleda eleverna i att systematiskt hämta den information som ska bli till kunskap för att de inte ska drunkna i informationsmängden. Swaak, van Joolingen och de Jong (1998, s. 249) fann att anvisningar, som tillfogades en datorsimulering, hjälpte eleverna att i första hand förvärva intuitiv kunskap. I anvisningarna gavs förslag på olika sätt att få kunskap från simuleringsmiljön genom att hjälpa eleverna att urskilja relevanta variabler, tolka experimentresultaten och sätta upp mål för eleverna. Anvisningarna gick ut på att få eleverna att undersöka sambandet mellan två givna variabler (Swaak et al., 1998, s. 240) eller göra små övningar för att hjälpa dem att vidta en förnuftig åtgärd som kunde peka på specifika aspekter av simuleringsmodellen (de Jong et al., 1999, s. 600). Efter att ha manipulerat modellen uppmanades eleverna att ge en förklaring till fenomenet. En annan metod som föreslogs var att låta en modell stegvis utvecklas. Ämnesområdet delades in i ett antal nivåer som studerades en åt gången för att säkerställa att eleven inte fick för mycket information på en och samma gång. Metodens roll i att förbättra elevernas prestationer visade sig vara mindre klar (de Jong et al., 1999, s. 600).

Syftet med den undervisningsform som denna studie presenterar är att lärandesituationerna ska vara adidaktiska. Det betyder att läraren ger uppgifter i form av problem som eleverna ska lösa genom att anpassa sig till situationerna, använda sina kunskaper och utveckla dessa. Det kan emellertid vara svårt att hitta en lämplig jämvikt mellan detaljnoggrannheten och omfattningen av innehållet i handledningsmaterialet. En omfattande textinformation med detaljerade instruktioner vägleder visserligen eleverna stegvis genom materialet, men många elever läser inte gärna stora mängder text. Informationen ska inte ha formen av kokboksliknande recept. Eleverna vill gärna sätta igång med det praktiska arbetet genast. Alltför begränsad textinformation, å andra sidan, skapar osäkerhet med avseende på målsättningen med lärandet. En annan aspekt på materialets innehåll avser restriktioner på de förehavanden eleverna ska ägna sig åt i lärandesituationerna. Sådana restriktioner kan vara motiverade för att hindra dem från att göra innehållet alltför komplicerat eller att arbeta med stoff, som inte är relevant för lärandet. En god balans i mängden och i innehållet i textinformationen måste eftersträvas; det är dock inte en trivial uppgift.

Leutner (1993) undersökte de effekter variationer av undervisningsstödet hade på elevers kunskap i samband med undervisning med hjälp av datorbaserade simuleringar. Stödet omfattade information om relevanta systemvariabler: grundbegrepp, fakta, regler och principer. De kunskapsvariabler som mättes var funktionell kunskap (prestationsförmåga visavi kontrollen av det simulerade systemet), spelkunskap (verbal kunskap om variabler och parametrar inom ramen för det simulerade systemet) och faktakunskap inom området (verbal kunskap om huvudsakliga begrepp, fakta, regler och principer om realiteterna i det system som simulerades). De ena varianten av stöd bestod av skriftligt bakgrundsmaterial som var permanent tillgängligt invid datorn under experimentförloppet. Den andra varianten bestod av direkt on-linehjälp, som initierades av datorsystemet och som var avpassad för elevens behov i de specifika problemlösningssituationerna under simuleringsförloppet. Resultatet visade att den skriftliga informationen föreföll att befrämja förvärvandet av verbal kunskap, speciellt beträffande långtidseffekten på kunskapen, medan direkthjälpen hade starkare korttidseffekter. Den skriftliga bakgrunds-informationen var speciellt användbar då eleven, efter att ha läst den första gången, när som helst kunde referera till den och använda den för att lösa problem. Direkthjälpen krävde mindre personligt initiativ och eftersom systemet tillhandahöll hjälpen automatiskt kunde eleverna inte heller konsultera informationen då de behövde den.

Det fanns ingen signifikant skillnad mellan formerna av stöd beträffande den funktionella kunskapen. Elever som inte fick något stöd alls lärde sig hantera simuleringen (”spela spelet”), men de förvärvade endast ett minimum av verbal kunskap. Ytterligare kan nämnas att sidovariabeln ängslighet inverkade på så sätt att mindre ängsliga elever drog större nytta av den skriftliga bakgrunds-informationen. En tänkbar förklaring var att de mindre ängsliga eleverna tolkade datorsimuleringen som en ren spelsituation utan undervisningsavsikt. De ängsliga eleverna ansträngde sig mer för att lära sig i en miljö av institutionaliserat lärande, i vilken varje aktivitet förmodades ha en under-visningsavsikt.

Sammanfattningsvis kan man sluta sig till att då datorbaserade simuleringar används i syfte att förvärva verbal kunskap relaterad till begrepp, fakta, regler och principer, vilka går utanför själva spelet, är det fördelaktigt att den information som implicit är tillgänglig i systemet görs explicit genom ett lämpligt undervisningsstöd under utforskandet av systemet.

PDRac-verktygets handledningsmaterial för elever

Elevernas handlednings- och övningsmaterial (Eklund, 1999b) inleds med en orientering i PDRac-programvaran. Den består av en definition av programmets delar och funktioner och hur dessa styrs av knappar på dataskärmen. En detalj-information som avser specifika funktioner underlättar arbetet med PDRac-

verktyget. Ett exempel får illustrera detta. En krets är kortsluten då samtliga komponenter är ”bortplockade” ur kretsen. Intuitivt görs detta genom att komponenternas storhetsvärden (resistans, induktans och kapacitans) sätts lika med noll. Emellertid gäller detta inte för en kondensator. En krets som saknar kondensator har en i det närmaste oändligt stor kapacitans. Då en kondensator tas bort ur en krets måste man följaktligen ge kapacitansen ett stort värde. I PDRac-verktyget har detta realiserats så att om användaren rent rutinmässigt ger kapacitansen värdet noll, utan att reflektera över konsekvensen av detta, sköter en makroprocedur om att ett stort värde ($C = 10^{20}$ F) inmatas i stället. En varningsruta meddelar användaren att denna åtgärd genomförts.

Den sinusformade växelspänningen och -strömmen kan matematiskt sett ha positiva och negativa värden (och värdet noll). Därför måste teckenregler införas för dessa storheter. Beroende på den komponent som studeras kan spänningens tecken associeras till strömmens riktning eller riktningen på förändringen av strömstyrkan (strömstyrkans tidsderivata). För en resistor gäller att spänningen är positiv då strömmen har positiv riktning och tvärtom. Spänningen över en spole är positiv om strömstyrkans tidsderivata är positiv (och tvärtom). Spänningen över kondensatorn bestäms av kondensatorplattornas laddnings-fördelning. Potentialen i en punkt i kretsen beror av ovanstående faktorer och av jordningspunktens placering. Handledningshäftet tillhandahåller därför de regler som behövs för att fastställa strömstyrkans, spänningens och potentialens tecken.

Under handledningslektionen är målet för det första att eleverna tekniskt ska göra sig förtrogna med PDRac-verktygets funktion, öva sig att mata in och variera storhetsparametrar och studera olika representationsformer av numeriska och grafiska utdata. De flesta problemsituationer (som kan bestå av en övningsuppgift eller delar av den) i handledningshäftet startar med en initieringsfas, under vilken eleverna matar in utgångsvärden från en tabell. Eftersom den totala lektionstiden med PDRac-verktyget är mycket begränsad är syftet med detta att eleverna ska starta med adekvata värden som är relevanta för den fysikaliska situationen. Annars finns risken att eleverna godtyckligt börjar mata in värden i en lekfull anda utan bestämt syfte. Det andra målet i handledningsskedet är att eleverna ska studera aspekter på fysikaliska fenomen, i detta fall karakteristiska drag hos rent resistiva, induktiva och kapacitiva växel-strömskretsar med fokus på fasdifferensen mellan spänning och strömstyrka.

Tyngdpunkten i elevernas interaktiva process med miljön ska ligga på att förvärva sådan kunskap som förutsätts i undervisningsmålen. Avsikten är att eleverna ska studera fysikaliska förlopp, inte förvärva funktionell kunskap i betydelsen att behärska den tekniska hanteringen av PDRac-verktyget. Eleven befinner sig för det mesta i adidaktiska situationer, eftersom läraren kan överföra ansvaret på honom genom att hänvisa till handledningsmaterialet. För att frambringa ett kunskapsmoment med en given innebörd behövs flera adidaktiska situationer som tillsammans bildar en fundamental situation. För att bibehålla

innebörden i det fysikaliska resonemanget (jfr figur 24) lotsas eleven av handledningsmaterialet med frågor som får honom att fokusera på relevanta begrepp och samband.

De problemsituationer och fundamentala situationer som ingår i handledningsmaterialet analyseras i följande avsnitt och fördjupas därför inte i detta skede. Ett utdrag ur elevhandledningen får dock här exemplifiera en problemsituation (Eklund, 1999b, s. 13). Resonemanget nedan stöds grafiskt av figur 27 i avsnitt 4.2.2.

Kretsen som studeras är en rent induktiv växelströmskrets. Utgående från tabellen föreslås eleven mata in utgångsvärden. För att relevant information ska finnas på dataskärmen föreslås eleven ta fram två grafer inklusive ett numeriskt fält för momentanvärden. Alla andra fält är gömda för att minimera den informationsmängd som finns på dataskärmen. Eleven vägleds att studera sambandet mellan dels induktansen och strömstyrkans tidsderivata, dels induktansen och spänningen över spolen. Induktansen fungerar i båda fallen som en förändlig, oberoende variabel. Det visar sig att då induktansen ökar så minskar strömstyrkans tidsderivata (och tvärtom), medan spänningen är konstant.

Uppgift 4. Självinduktion. Lenz' lag.

Utgångsläge

f	50	Maxtid	0,02		Ta fram	Egen skala
û	25	*u*-skala	1	u_R		
R	0	*i*-skala	0,01	u_L	Ja	50
L	0,2	*p*-skala	1	u_C		
C	∞			*u, i*	Ja	50
				p		
				u(*i*)		

Ta fram momentanvärdena. Sätt t = 0,003 s. Ändra induktansen. *Jämför hur strömstyrkekurvans lutning (strömstyrkans ändringshastighet eller strömstyrkans tidsderivata* di/d*t) ändras med induktansen vid den givna tidpunkten. Hur är det med spänningen över spolen?*
Öka evalueringstiden med 0,001 s åt gången för L = 0,2 H. *Jämför hur strömstyrkekurvans lutning och spänningen över spolen ändras vid konstant induktans.*
Hur kan du förklara självinduktionsfenomenet i spolen och fasförskjutningen med stöd av dina iakttagelser ovan?

Därefter ska eleven fokusera på hur strömstyrkans tidsderivata och spänningen beror av tiden. Resultatet visar att dessa beroende variabler ökar och minskar samtidigt med tiden och har samma tecken. Eleven instrueras genom en slutfråga att fokusera på fenomenet självinduktion. Eleven förväntas associera detta resultat med självinduktionens egenskaper som bland annat innebär att

spänningen över spolen är produkten av induktansen och strömstyrkans tidsderivata. Om en spole har hög induktans kan strömstyrkan i den (vid en godtycklig tidpunkt) inte förändras lika starkt som i en spole med låg induktans för en given spänning över spolen. En aspekt är också att då strömstyrkan förändras kraftigt induceras det en hög spänning i spolen, eller att då strömstyrkan inte förändras alls induceras det inte någon spänning. Man kan också se att spänningen över spolen är som allra störst vid en tidpunkt då det inte går någon elektrisk ström genom den, eller att spänningen är noll då strömstyrkan har sitt maximala värde! Induktionsspänningen associeras således mer till förändringen av strömstyrkan än till själva strömstyrkan. En konsekvens av detta är att graferna är tidsförskjutna en kvarts period. Av spänningens tecken att döma kan man konstatera att spolen *motarbetar* strömmen i kretsen genom att induktionsspänningen strävar efter att driva en ström i motsatt riktning och att denna effekt är kraftig då induktansen är stor. Det finns således många aspekter kring vilka eleven kan resonera och bygga upp sin kunskap kring (själv)induktionsfenomenet och vad Lenz' lag föreskriver.

PDRac-verktygets handledningsmaterial för lärare

Handledningsmaterialet (Eklund, 1999a) introducerar läraren i PDRac-verktygets syfte:

> Syftet med *PDRac* är att eleverna genom ett kvalitativt (och delvis kvantitativt) resonemang ska närma sig förståelse av funktionen hos en enkel seriekopplad RLC-krets med sinusformade växelströmmar genom att utnyttja visuella, dynamiska och parallella representationer i numerisk och grafisk form av de ingående storheterna (s. 1).

Lärarhandledningen fortsätter därefter med en analys av sex varianter av seriekopplade växelströmskretsar: 1) resistorn i en växelströmskrets, 2) spolen i en växelströmskrets, 3) kondensatorn i en växelströmskrets, 4) RL-kretsen, 5) RC-kretsen och 6) RLC-kretsen. Nedan ges ett utdrag ur denna analys (Eklund, 1999a, s. 6–8). Analysen följer de fyra första stegen i det grundschema som Kurki-Suonio och Kurki-Suonio (1994, s. 287ff.) har presenterat. Det femte steget är ett tillägg som i denna kontext syftar till att vägleda läraren i hur PDRac-verktyget ska tillämpas för att läraren också ska kunna resonera sig fram till lagbundenheterna i fenomenen eller som Kurki-Suonio och Kurki-Suonio (1994) skriver:

> Opettajan on hyödyllistä tutkia omia vakiintuneita esitystapojaan, oppilaidensa, käyttämiensä oppikirjojen sekä muiden kirjallisten lähteiden esityksiä selvittämällä niihin sisältyvien päättelyiden asemaa ja suuntaa kaaviossa. Tällainen erittely voi auttaa painottamaan opetuksessa rohkeammin ymmärtämisen ensimmäisiä portaita ja harkitsemaan, miten korkealle tavoitetasolle eri yhteyksissä on perusteltua edetä. Voidakseen opettaa aihetta tietyllä käsittelyn tasolla opettajan on itse oltava siihen liittyvän tietorakenteen hallinnassa ainakin "yksi kierros edellä" (s. 288).

Läraren måste själv kunna se de logiska konsekvenserna av att givna storhetsparametrar varieras i en viss riktning och vara beredd att ge eleverna vägledning i deras resonemang. Det didaktiska kontraktet, som behandlas i följande avsnitt, föreskriver att läraren har den sociala förpliktelsen att hjälpa eleven, då han stöter på svårigheter. Utdraget nedan ger läraren tips om hur man kan resonera sig fram till samband på ett kvalitativt sätt, något som normalt inte är brukligt i läroböcker och traditionell undervisning.

2. Spolen i en växelströmskrets.

Fenomen. I en spole, som är seriekopplad med en växelspänningskälla, går en varierande elektrisk ström som byter riktning. Spolen kommer då att generera ett magnetfält som också byter riktning. Spolen förses ofta med en järnkärna.

Storheter. Storheternas, spänningens och strömstyrkans, momentanvärden vid en given tidpunkt betecknas u_L respektive i, och deras maximala värden, toppvärden, betecknas $\hat{u}_L$ respektive $\hat{\imath}$. Tidsgraferna av spänning och strömstyrka kan upptas med ett oscilloskop, medan spänningens och strömstyrkans effektivvärden mäts med analoga eller digitala mätinstrument. Spolens egenskaper karakteriseras av dess induktans L, som tillsammans med frekvensen inverkar på spolens induktiva reaktans X_L. En spole påverkar tidsförskjutningen mellan spänning och strömstyrka, de ligger inte i fas. Fasförskjutningen mäts i vinkelstorheter.

Lagar. (Se härledningar av de fysikaliska sambanden i bilaga 2, rent induktiv växelströmskrets.) I en rent induktiv krets är medeleffektutvecklingen noll. Växelströmskällans energi går till att bygga upp ett magnetfält i spolen, men detta magnetfälts energi återförs tillbaka till strömkällan. Spolen blir en ”aktiv” komponent i kretsen med avseende på energiöverföring.

Teorier. Enligt Lenz' lag kommer spolen att motverka varje ändring i strömstyrkan genom att inducera ett motriktat magnetfält, som i sin tur producerar en induktionsström. Faradays induktionslag förklarar att den inducerade spänningen, som uppstår i en spole, är proportionell mot ändringen av magnetiska flödet i spolen med avseende på tid. Vid självinduktion är förändringen av magnetiska flödet relaterat till förändringen av strömstyrkan genom spolen.

Tillämpning med PDRac. Ändringshastigheten på strömstyrkan (eller strömstyrkans tidsderivata) $\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ är proportionell mot momentanspänningen över spolen. För konstant L kan man skriva

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \sim u_L. \qquad (4)$$

För en växelspänning med konstant amplitud över spolen med induktansen L gäller vid en given tidpunkt att

$$\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} \sim \frac{1}{L}\ . \qquad (5)$$

En kombination av (4) och (5) ger ekvationen

$$u_{\mathrm{L}} = L \cdot \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}, \qquad (6)$$

som kan konstateras numeriskt (på dataskärmen) och härledas ur Faradays induktionslag.

Genom att variera tidpunkten (dynamiskt) kan man studera sambandet (4) både grafiskt och numeriskt samtidigt. En variation av induktansen L ger sambandet (5). Då induktansen och ändringen i strömstyrka multipliceras fås sambandet (6).
Fasförskjutningen kan man förklara genom att kombinera samband (4) (via de grafiska och numeriska representationerna på dataskärmen) med Lenz' lag: Till exempel då $i = 0$ är $\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t}$ störst (minst) och därmed är u_{L} störst (minst). Spänningen över spolen har en sådan polaritet att den motverkar strömstyrkans ökning eller minskning. I övrigt kan man visuellt studera sambandet mellan spänningens polaritet över spolen och strömmens riktning.

Övriga centrala proportionaliteter och samband ges nedan:

$$X_{\mathrm{L}} \sim L, \qquad (7)$$

$$X_{\mathrm{L}} \sim f, \qquad (8)$$

$$\hat{\imath} \sim \frac{1}{L}, \qquad (9)$$

$$\hat{\imath} \sim \frac{1}{f}, \qquad (10)$$

Växelströmmen flyter lättare i kretsen, då spolen har liten induktans och frekvensen är lägre. Numeriskt kan man konstatera att

$$X_{\mathrm{L}} = 2\pi f L, \qquad (11)$$

$$\hat{u} = X_{\mathrm{L}}\, \hat{\imath}. \qquad (12)$$

Observera att sambandet (12) INTE gäller för momentanvärden!

Ett fasdiagram över spänningen som funktion av strömstyrkan åskådliggör fasförskjutningen +90º mellan spänning och ström. Effektöverföringarna från strömkälla ($p > 0$) till spole och från spole till strömkälla ($p < 0$) , som sker varje kvartsperiod, studeras med hjälp av effektens tidsgraf. Genom att kombinera data från olika grafer och numeriska representationer kan man studera samband mellan storheter.

Den härmed beskrivna globala organisationen av ingenjörsarbetet inbegriper således arrangerandet av en undervisnings-lärandemiljö som omfattar de makrodidaktiska variablerna att utnyttja datorutrustning i fysikundervisningen, att använda ett kalkylbaserat PDRac-verktyg och att använda stödande handlednings- och övningsmaterial.

4.2 Lokala val

Den lokala organisationen av det didaktiska ingenjörsarbetet innebär att man måste göra mikrodidaktiska val, vilka omfattar organisationen av didaktiska situationer. Man väljer *mikrodidaktiska variabler*. Dessa situationer beror av det didaktiska innehåll som är föremål för undervisning. Jag har valt att arrangera undervisningen i tre olika former av didaktiska situationer: *övning, begreppsintroduktion* och *utvärdering*. De didaktiska situationerna är uppbyggda på liknande sätt, men de har olika mål. De nämnda didaktiska situationerna föregås av situationen *handledning*, vars syfte är att göra eleverna förtrogna med PDRac-verktyget och dess funktionsidé. Under denna förberedelse studeras de rent resistiva, induktiva och kapacitiva grundkretsarna.

4.2.1 Didaktiska situationer med PDRac-verktyget

Den didaktiska situationen *övning* syftar till att som en fortsättning på klassundervisningen studera grundbegrepp och fenomen i växelströmsläran (se bilaga 3). Innehållet är bekant för eleven eftersom den didaktiska situationen föregås av ett antal teorilektioner (se bilaga 2), demonstrationer och laborationer, i vilka begreppen, storheterna och fenomenen har introducerats. De viktigaste av dessa är självinduktion, tillämpningar av Lenz' lag, momentanspänning och -potential samt impedans och effektivvärden. Eleven ska genom övningar med PDRac-verktyget repetera och fördjupa förståelsen av det nämnda stoffet. I lärandeaktiviteterna utnyttjar eleverna PDRac-verktygets multipla representationer och tillämpar kvalitativa resonemang kring problemsituationer i växelströmsläran.

Den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* innehåller en fas av lärande genom utforskning, vilket betyder att eleverna själva ska försöka identifiera ett nytt fenomen och kvalitativt beskriva fenomenets karakteristiska drag (se bilaga 4). Det specifika målet med denna didaktiska situation är att eleverna ska introduceras i det för dem obekanta begreppet *serieresonans*. Detta fenomen har inte tagits upp under föregående lektioner, utan syftet är att eleverna nu ska upptäcka förutsättningarna för resonansfenomenets uppkomst och identifiera dess karakteristiska egenskaper. Situationen inleds med studier av fasförskjutningar, som förorsakas av varierande kombinationer av växelströmskomponenter, dvs. RL-, RC- och RLC-kretsar. Därutöver studeras spänningar över respektive komponent och strömstyrkan i kretsen. Elevernas uppgift är att småningom upptäcka villkoren för resonans genom att studera de unika dragen i de grafiska och numeriska representationerna. Denna didaktiska situation efterföljs av en eller flera lektioner, där resonansfenomenet studeras genom fysikexperiment med hjälp av en RLC-krets och ett oscilloskop. Resonansfenomenet behandlas sedan teoretiskt, varvid en matematisk modell härleds.

I den didaktiska situationen *utvärdering* är syftet att utvärdera elevernas kunskaper om processer i RLC-kretsar med tyngdpunkt på problemlösning

genom kvalitativa resonemang (se bilaga 5). Kontexten avviker från de två föregående didaktiska situationerna till vissa delar. För det första har några restriktioner införts i PDRac-verktyget. De numeriska fälten för momentan- och effektivvärden samt övriga numeriska utdata, med undantag av det numeriska värdet på strömstyrkans tidsderivata, har gömts för att eleven ska fokusera på de grafiska representationerna. En knappsats för att spara resultat har också placerats in. För det andra är eleven ensam i ett spel med den adidaktiska miljön, som nu enbart består av PDRac-verktyget. Eftersom situationen är en provsituation ska eleven arbeta självständigt med de problem som föreläggs. Dessa problem består bland annat av att identifiera växelströmskomponenter med hjälp av motsvarande storheters grafiska representationer, utnyttja komponenternas egenskaper och analysera fysikaliska fenomen. Uppgifterna kan i första hand verka triviala, men utvärderingssituationen är ny och annorlunda för eleven, likaså provuppgifternas innehåll och uppläggning. Den begränsade provtiden sätter också sin prägel på de uppgiftstyper som är gångbara.

I undervisningen av de didaktiska situationerna med PDRac-verktyget har läraren (och i detta fall forskaren) klara intentioner om vilken kunskap eleverna ska tillägna sig och att de kan använda denna kunskap i andra situationer som hör ihop med växelströmsfenomen och generellt med elektromagnetiska fenomen. Konstruktionen av kunskap blir möjlig om eleverna själva är aktiva i sin lärandesituation. Efter att läraren har delegerat ett problem till eleverna förväntas de göra sitt bästa för att lösa det med hjälp av sina kunskaper och de hjälpmedel som står till förfogande. Denna relation mellan läraren och eleverna, det didaktiska kontraktet, ställer upp ramarna för samspelet mellan de nämnda parterna, men också eleverna sinsemellan (se Brousseau, 1997; Blomhøj, 1994). Inom ramen för de didaktiska situationerna med PDRac-verktyget kan man allmänt karakterisera innehållet i det didaktiska kontraktet i följande punkter:

På läraren ankommer att

- följa den uppgjorda lektionsplanen med teoretiska avsnitt, demonstrationer och laborationer så att eleverna har den förkunskap som behövs för att delta i didaktiska situationer med PDRac
- demonstrera PDRac-verktyget och gå igenom dess funktion och egenskaper för att eleverna snabbt ska bli förtrogna med hanteringen av verktyget och sedan kunna fokusera på det som verktyget har att erbjuda i kognitiv bemärkelse
- i var och en av de didaktiska situationerna presentera vilka uppgifter i övningsmaterialet som ska gås igenom och vilka eleverna ska prioritera eftersom det föreligger en risk att det uppstår tidsbrist
- informera om hur den didaktiska situationen ska genomföras:
  - att eleverna startar PDRac-verktygsprogrammet i en given mapp i datornätverket
  - att eleverna går genom de uppgifter som har presenterats

  - att uppgifterna är öppna, dvs. att eleverna undersöker fenomenen enligt instruktionen i kompendiet och att det inte finns något explicit facit till uppgifterna
  - att eleverna samarbetar parvis
  - att elevparet arbetar självständigt men att läraren står till tjänst med hjälp vid behov
  - att eleverna genom resonemang försöker ge svar på frågorna
- meddela eleverna att de kommer att delta i en särskild utvärderingssituation under vilken
  - deras kunskaper och färdigheter bedöms i ett datorbaserat prov
  - de arbetar självständigt, en elev per dator
  - de måste lösa första uppgiften för att kunna fortsätta till nästa
  - de vid behov kan begära hjälp av läraren för att få första uppgiften löst (hjälpen kostar eleven några poäng i provet)

På eleverna ankommer att

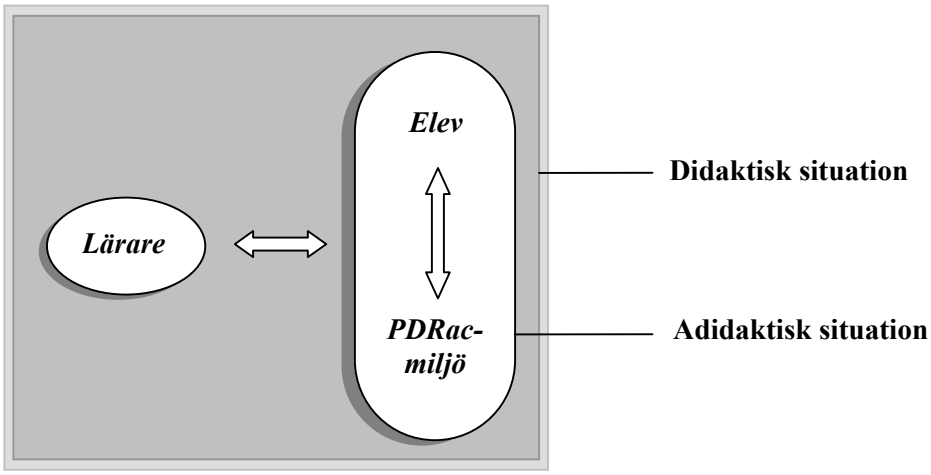
- ta på sig ansvaret att genomföra de förelagda uppgifterna
- försöka fördela den tillbudsstående tiden mellan uppgifterna
- besvara frågorna (inom arbetsparet) efter bästa förmåga på basis av det de ser på datorskärmen och sina tidigare kunskaper om begreppen och fenomenen
- arbeta med PDRac-verktyget och inte med andra datorprogram
- delta i en särskild utvärderingssituation

Efter att läraren har delegerat ansvaret för lärandet till eleverna försätts de i adidaktiska situationer där de får glömma, åtminstone för någon stund i taget, att de uppgifter de ska lösa har givna mål visavi lärande. Läraren har i denna situation en underordnad roll. Elevernas övningsmaterial innehåller ett antal problemsituationer, där eleverna får stegvis vägledning. Denna vägledning hjälper eleverna att fokusera på delproblemen i uppgifterna och att associera till tidigare kunskaper. Elevernas interaktioner med PDRac-miljön inklusive den andra eleven i arbetsparet och elevernas egna förkunskaper förutsätts stöda en lärandeprocess. Denna process förväntas resultera i ett kunskapsförvärvande som sker genom ett kvalitativt resonemang kring växelströmsfenomen. Emellertid finns det inte garantier för att eleverna självständigt kan förvärva de åsyftade kunskaperna. Läraren kan då träda in i situationen och hjälpa dem. Enligt Artigue (2000) är anpassningsprocesserna som utvecklas av eleverna en subtil blandning av adidaktiska och didaktiska processer. En elev kan lära sig att bete sig som en god elev utan att lära sig den fysik[2] som är avsikten, men ett fundamentalt antagande i teorin för didaktiska situationer är att någon nivå av adidaktisk fas är nödvändig för lärande. Figur 26 visar implicit den interaktiva dynamiken mellan eleven och miljön i den adidaktiska situationen och mellan

[2] Artigue talar visserligen om matematik, men resonemanget är överförbart på fysik (omnämnt i avsnitt 2.2).

läraren och eleven respektive miljön i den didaktiska situationen. Den adidaktiska situationen sätter eleven i relation till miljön, dvs. PDRac-miljön och parkamraten, medan den didaktiska situationen också inkluderar läraren, som står i en växelverkan med eleven och miljön (jfr figur 2 i avsnitt 2.1 och figur 24 i avsnitt 4.1.3).

Elevernas interaktioner i den adidaktiska PDRac-miljön består i huvudsak av ett dubbelriktat informationsflöde mellan eleven och PDRac-verktyget. I en detaljerad analys av problemsituationerna, som jag gör i de tre följande avsnitten är det lämpligt att använda det instrument som jag har utarbetat i avsnitt 4.1.3. Faserna i texten anger ett förväntat innehåll i informationsflödet i interaktionen mellan eleven och verktyget. Detta är givetvis ett fiktivt scenario; det handlar närmast om de premisser som jag har gett på var och en av de didaktiska situationerna och de syften jag har. Scenariot kan utvecklas mycket individuellt från elev till elev. Numreringen av faserna följer samma numrering som figur 25. I de fall en sekvens genomförs flera gånger i följd har numret på fasen markerats med indexen 1, 2, 3, osv. Denna indexering ger information om vilken gång i ordningen sekvensen genomlöps. Exempelvis betyder 5_2 att fas 5 genomlöps andra gången. Genom indexeringen antyds de viktigaste huvudstråken i elevernas tänkta interaktion med PDRac-verktyget. I praktiken kommer faserna nog att genomlöpas fler gånger än vad indexet anger i de problemsituationer som analyseras.



Figur 26. Den adidaktiska och den didaktiska situationen i PDRac-miljön.

4.2.2 Den didaktiska situationen *övning*

I detta avsnitt analyseras problemsituationerna[3] och *PDRac*-verktygets didaktiska funktion såsom syftet är med den didaktiska situationen *övning* sedd ur lärarens synvinkel. Innehållet i problemsituationerna härrör från ett häfte med handlednings- och övningsmaterial för elever (se avsnitt 4.1.4) och finns också i bilaga 3. Frågetexter ur övningshäftet är kursiverade. Den första problemsituationen genomgås på ett relativt detaljerat sätt, men i de följande utelämnas detaljer som kan betraktas som självklara för att undvika alltför mycket av tråkiga upprepningar. Analysen av problemsituationerna 2a, 2b och 3 är förlagda till bilaga 6.

Problemsituation 1: Självinduktion. Faradays induktionslag. Lenz' lag.

Syfte: Att eleven ska undersöka en rent induktiv växelströmskrets och relatera kretsens egenskaper och funktion till självinduktionsfenomenet och dess lagar.

Fas 1. *Initiering.*

Parametrar:	$f = 50$ Hz, $\hat{u} = 25$ V, $R = 0\ \Omega$, $L = 0{,}2$ H, $C = \infty$[4]
Skalor:	maxtid på t-axeln = 0,02 s, spänningsskala = 1 V, strömstyrkeskala = 10 mA, effektskala = 1 W
Grafer:	$u_L(t)$, $u(t)$, $i(t)$, maximalspänning 50 V, fast skala
Övriga inställningar:	Graferna placeras i högra halvan av skärmen, fältet med momentanvärden tas fram. Tiden $t = 0{,}003$ s väljs

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
En rent induktiv växelströmskrets med parametrar, grafer och numeriska utdata enligt tabellen ovan utgör utgångsläget för undersökningen av kretsen. I fortsättningen hänvisas till figur 27.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven reflekterar över sina kunskaper om den fysikaliska situation som är för handen, konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför hur strömstyrkekurvans lutning (*förändringen* di/dt *av strömstyrkan*) *ändras med induktansen vid den givna tidpunkten. Hur är det med spänningen över spolen?* (Anm. I fortsättningen använder jag, för korthets skull,

[3] I alla analyser i avsnitten (4.2.2–4.2.4) används termen *problemsituation* i stället för termen *uppgift,* som används i elevhandledningen (bilaga 3, 4, 5).

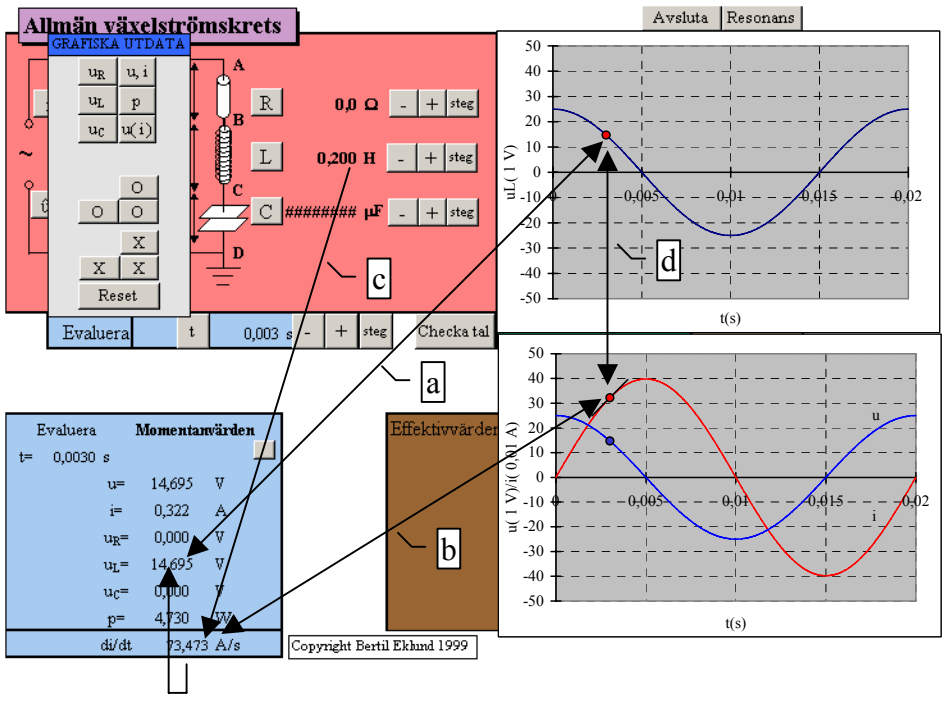
[4] En växelströmskrets som saknar kondensator kan teoretiskt anses ha oändligt stor kapacitans, ty den kapacitiva reaktansen $X_C = \dfrac{1}{\omega C} \rightarrow 0$, då $C \rightarrow \infty$.

beteckningen d*i*/d*t* för strömstyrkans tidsderivata eller hastigheten på förändringen av strömstyrkan.) Eleven ska först välja steglängden på ändringen av induktansen och därefter lämpligen öka induktansen genom att klicka med musmarkören på + -tangenten invid induktansen *L* och studera effekterna av sina åtgärder.

Fas 5$_1$. *PDRac-verktygets respons.*

Eleven kan studera 1) den numeriska representationen, 2) den grafiska representationen eller 3) flytta blicken mellan de båda representationerna och konstatera att en ökning av induktansen (*L*) leder till

* att momentanspänningen u_L över spolen bibehåller sitt värde oförändrat under operationen (dubbelpil a).
* en minskning av det numeriska värdet av d*i*/d*t*, dvs. en minskning av lutningen på tangenten till strömstyrkekurvan (dubbelpil b).
* en minskning av strömstyrkekurvans amplitud samt momentana strömstyrkan vid t = 0,003 s. (Denna information är redundant för uppgiftens syfte.)



Figur 27. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 1 i den didaktiska situationen *övning*. Pilarna antyder hur användaren kan flytta blicken mellan de numeriska och grafiska representationerna av en situation i en växelströmskrets.

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Från tidigare är det bekant att induktansen L är en storhet som beror av spolens egenskaper och geometri. **En ökning av induktansen ser ut att försvåra ändringen (med tiden) av strömstyrkan med resultatet att di/dt minskar.**

Fas 7_1. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Upprepade ökningar av induktansens värde skapar en dynamisk process på dataskärmen. Eftersom en ökning av parametern L leder till en minskning av di/dt, kan produkten av dem då vara konstant? En numerisk kontroll av produkten av L och di/dt ger samma numeriska värde som u_L (pil c).

Fas 7'$_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven undersöker om ändringsprocessen är reversibel.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Hur är det om man minskar induktansen? Induktansen minskas genom att man klickar med musmarkören på [–]-tangenten.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
En minskning av induktansen åstadkommer en ökning av det numeriska värdet av di/dt och en ökning av lutningen på tangenten till strömstyrkekurvan. Den momentana strömstyrkan genom spolen ökar medan momentanspänningen över spolen bibehåller sitt värde oförändrat under operationen (dubbelpilarna a respektive b).

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
En minskning av induktansen ser ut att underlätta förändringen av strömstyrkan så att den ökar.

Fas 7_2. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Upprepade minskningar av induktansens värde skapar en omvänd (i förhållande till 7_1) dynamisk process på dataskärmen. Eftersom en minskning av parametern L leder till en ökning av di/dt, kan produkten av dem då vara konstant? En numerisk kontroll av produkten av L och di/dt ger samma numeriska värde som u_L (pil c).

Fas 7'$_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven väljer tiden som variabel.

Fas 4_3. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför hur strömstyrkekurvans lutning och spänningen över spolen ändras med tiden vid konstant induktans. Eleven väljer L = 0,2 H och ökar (evaluerings)tiden med 0,001 s åt gången.

Fas 5_3. *PDRac-verktygets respons.*
Då t ökas flyttas (evaluerings)punkten på graferna, inklusive tangenten, mot höger och eleven kan konstatera att

* momentanspänningen sjunker samtidigt som den momentana strömstyrkan stiger och di/dt är positiv (dubbelpilarna a, b och d).
* momentanspänningen är noll samtidigt som den momentana strömstyrkan uppnår sitt positiva toppvärde och di/dt = 0.
* momentanspänningen blir negativ, dess absolutvärde stiger, då strömstyrkan sjunker och di/dt blir negativ.
* momentanspänningen når sitt negativa toppvärde samtidigt som den momentana strömstyrkan blir noll och di/dt är negativ.
* tangenten är stigande och dess riktningskoefficient > 0 (eller di/dt > 0) samtidigt som $u_L > 0$ (dubbelpilen d). På samma sätt ses att negativa värden följs åt.
* strömstyrkan är positiv under första halvperioden och negativ under andra halvperioden.
* kurvorna $u(t)$ och $u_L(t)$ ser ut att vara identiskt lika.

Fas 6_3. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
En sammanfattning av fas 5_3 visar att

* **spänningen över spolen och di/dt har samma tecken**
* **då strömstyrkan har sitt positiva eller negativa toppvärde är spänningen noll och di/dt = 0**
* **då strömstyrkan är noll har spänningen respektive di/dt sitt (till absolutbeloppet) största positiva eller negativa värde**
* **spänningen når sitt toppvärde före strömstyrkan ⇒ det föreligger en fasförskjutning mellan spänning och ström**
* **samma spänning ligger över spänningskällan och spolen.**

Fas 7_3. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Testerna, som skapar dynamik i händelserna på dataskärmen, bekräftar föreställningarna i 6_3. Testerna ger möjlighet att parallellt titta på de numeriska och grafiska framställningarna (eller egentligen att flytta blicken fram och tillbaka mellan dem).

Fas 8. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*
Hur kan man förklara självinduktionsfenomenet i spolen och fasförskjutningen på basis av iakttagelserna? En kvantitativ sammanfattning av de föregående faserna visar att

* de numeriska värdena på u_L och di/dt ändras samtidigt så att u_L är proportionell mot di/dt.
* tecknet på u_L och di/dt gäller samtidigt.
* produkten av L och di/dt är lika med u_L.

Eleven kan således konstatera att ekvationen $u_L = L \cdot$ di/dt gäller numeriskt, vilket leder till följande resonemang:

* Spänningen över spolen är proportionell mot strömstyrkans tidsderivata och har samma tecken. Man måste observera att kretsen är jordad i punkten D.
* En ökning av induktansen ger en minskning av strömstyrkans tidsderivata, och vice versa, eftersom spänningen över spolen är konstant lika med källspänningen. Induktansen, som för en given spole är en konstant, beror bara av spolens egenskaper och geometri. En ökning av induktansen leder till att dels strömstyrkan, dels absolutvärdet av di/dt ($\neq 0$) minskar och vice versa.

* *Första kvartsperioden.* Välj $t = 0$. Då är strömstyrkan $i = 0$, men di/dt har sitt största positiva värde. Denna förändring av strömstyrkan inducerar en motriktad elektromotorisk spänning (ems), som i B har högre potential än i C (punkterna hänvisar till RLC-kretsen som är avbildad på dataskärmen). Då t ökar kommer strömstyrkan i att öka till sitt maximivärde (vid $t = T/4$, T = perioden), medan di/dt minskar och blir noll. Samtidigt minskar u_L också till noll. Spänningen sjunker från ett toppvärde till noll samtidigt som strömstyrkan stiger från noll till ett toppvärde. Således löper spänningen 90° före strömmen.

* *Andra kvartsperioden.* Strömstyrkan sjunker och di/dt är negativ. Ändringshastigheten di/dt på strömstyrkan går mot allt större negativa värden, en inducerad ems med en högre potential i C än i B, motverkar minskningen av strömstyrkan varför u_L går mot allt större negativa värden. Ett minimum nås då di/dt har sitt största negativa värde och strömstyrkan är noll. Spänningen löper även nu 90° före strömmen.
* Ett liknande resonemang kan göras för de två återstående kvartsperioderna.

Fas 9. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Självinduktionen i spolen motverkar således ändringen av strömstyrkan genom att en motriktad elektromotorisk spänning i varje ögonblick uppstår i en rent induktiv växelströmskrets enligt Lenz' lag. Enligt Faradays induktionslag, tillämpad på en spole i en enkel, rent induktiv växelströmskrets, fås $u_L = L \cdot di/dt$. Kirchhoffs lag för en sluten strömkrets ger $u - u_L = 0$. Då $i = \hat{\imath} \sin\omega t$ får man $u_L = L \cdot \mathrm{d}i/\mathrm{d}t = \omega L \hat{\imath} \cos\omega t = \omega L \hat{\imath} \sin(\omega t + \pi/2)$.

Fas 10. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Fasen innehåller en noggrannare analys av ett tidsförlopp, en period, i en rent induktiv krets, som matas med en sinusformad växelspänning. Denna spänning ger upphov till en likaledes sinusformad växelström. Analysen är en fortsättning och utvidgning av fas 8 och 9.

* *Första kvartsperioden.* Strömstyrkan i kretsen ökar. Ökningen av strömstyrkan är störst i början av intervallet och minskar sedan för att bli noll vid $t = T/4$. Enligt Lenz' lag motverkar spolens induktans ökningen av strömstyrkan och en elektromotorisk spänning induceras i en riktning som i

punkten B ger högre potential än i punkten C. Man får $V_B > V_C$. Potentialen $V_C = 0$ eftersom D är jordad och kondensator saknas i kretsen. Således är C också jordad. Emellertid stiger inte strömstyrkan linjärt utan ändringshastigheten på strömstyrkan minskar med tiden till noll, vilket innebär att den inducerade spänningen sjunker och blir 0. I fas 9 har konstaterats att den inducerade spänningen u_L är produkten av induktansen L och ändringshastigheten di/dt. Fasförskjutningen är 90°, spänningen löper före strömmen.

* *Andra kvartsperioden.* Då strömstyrkan genom spolen *minskar* kommer spolens induktans att motverka minskningen av strömstyrkan och det induceras en negativ elektromotorisk spänning, vars absoluta värde ökar. Den negativa ändringshastigheten på strömstyrkan är (till sitt absolutbelopp) liten i början och får sitt största negativa värde vid $t = T/2$. Den inducerade spänningen går därför från noll till sitt största negativa värde. I detta fall är potentialen i C större än i B och $V_B < V_C$, vilket medför att spolen fungerar som en strömkälla och driver en ström i samma riktning som i första kvartsperioden. Fasförskjutningen är även här 90°.

* *Tredje kvartsperioden.* Strömriktningen har ändrat. Strömstyrkan ökar i negativ riktning och en negativ elektromotorisk spänning induceras. Den har högre potential i C än i B, dvs. $V_B < V_C$. Eftersom ändringen i strömstyrka går mot noll (då $t \to 3T/4$) går även den inducerade spänningen mot noll. Resonemanget är likadant som vid första kvartsperioden, riktningar och tecken är emellertid omvända.

* *Fjärde kvartsperioden.* Den negativa strömstyrkans värde går mot noll, vilket inducerar en spänning, som hindrar att totalströmstyrkan minskar. Man får $V_B > V_C$. Resonemanget är likadant som vid andra kvartsperioden, riktningar och tecken är omvända. Vid varje tidpunkt kommer spänningen över spolen att *motverka ändringen* av strömstyrkan i kretsen i enlighet med Lenz' lag. I en del litteratur definierar man den inducerade elektromotoriska spänningen e för en spole som potentialskillnaden $V_C - V_B$ (se t.ex. Brunt, 1998, s. 249; Halliday, Resnick & Krane, 1992, s. 822), varför man får $e = V_C - V_B = -L \cdot \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$. För första halvperioden gäller att då i ökar är $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t > 0$ och $e = V_C - V_B = -(V_B - V_C) = -u_L < 0$, eftersom $V_B > V_C$. Då i minskar är $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t < 0$ och $e = V_C - V_B = -u_L > 0$. Man får således $u_L = V_B - V_C = -e$. Ett likadant resonemang kan göras för de övriga halvperioderna. Ekvationen $u_L = L \cdot \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$ skiljer sig endast med ett tecken från ekvationen $e = -L \cdot \mathrm{d}i/\mathrm{d}t$, som är en härledning av Faradays induktionslag tillämpad på en spole i en enkel, rent induktiv växelströmskrets. Enligt givna regler i elevhandledningens introduktionsdel definieras spänningen u_L som potentialskillnaden $V_B - V_C$, eftersom punkten C är jordad (kondensator och resistor saknas i kretsen). Enligt Kirchhoffs lag för slutna strömkretsar gäller $u - u_L = 0$, dvs. $u = u_L$.

Fas 11. *Föreställning om samverkan testas.*
Genom att kvalitativt och kvantitativt testa ovanstående resonemang vid olika tidpunkter under en hel period kan man dra slutsatsen att för de testade tidpunkterna gäller att **en stationär, rent induktiv växelströmskrets fungerar i enlighet med Lenz' lag och Faradays induktionslag.**

4.2.3 Den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*

I detta avsnitt analyseras problemsituationerna och *PDRac*-verktygets didaktiska funktion såsom syftet är med den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* sedd ur lärarens synvinkel. Innehållet i problemsituationerna härrör från ett handlednings- och övningshäfte för elever (se avsnitt 4.1.4) och finns också i bilaga 4. Frågetexter ur övningshäftet är kursiverade. Analysen av problemsituationerna 1b och 3 är förlagda till bilaga 7.

Problemsituation 1a: Fasförskjutning och komponentspänningar i en RL-krets.

Syfte: Att eleven ska undersöka egenskaperna och funktionen hos en seriekopplad RL-krets med avseende på fasförskjutning och fördelning av spänning över resistor och spole.

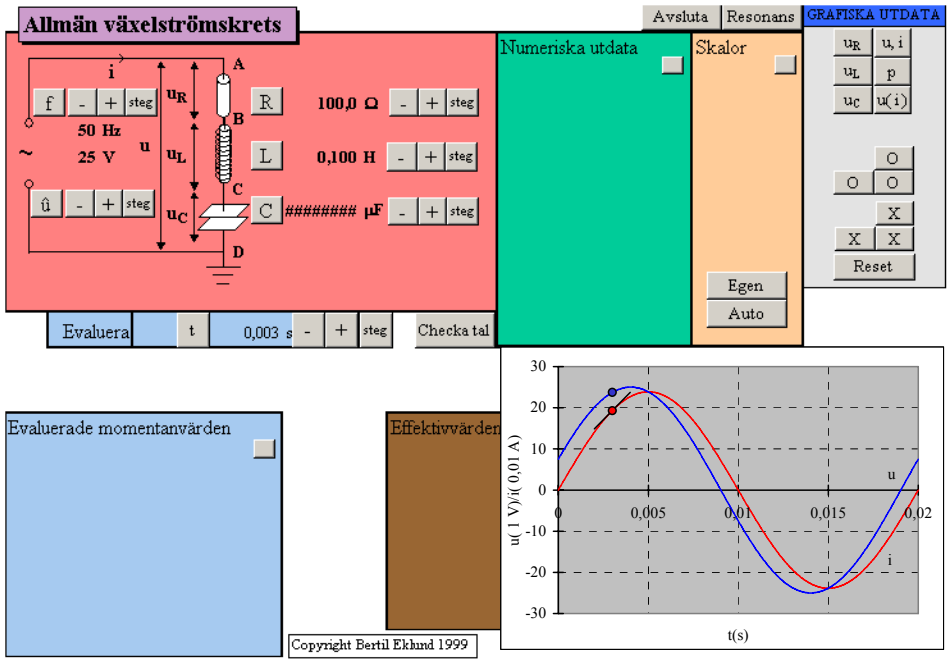
Fas 1. *Initiering.*

Parametrar:	$f = 50$ Hz, $\hat{u} = 25$ V, $R = 100\ \Omega$, $L = 0{,}1$ H, C stort, steglängden för L sätts till 0,1 H
Skalor:	maxtid på t-axeln = 0,02 s, spänningsskala = 1 V, strömstyrkeskala = 10 mA, effektskala = 1 W
Grafer:	$u(t)$, $i(t)$, maximalspänning 30 V, fast skala

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
En RL-krets med parametrar enligt uppräkningen ovan och en $u(t)$, $i(t)$-graf utgör utgångsläget för undersökningen av kretsen. I fortsättningen hänvisas till figur 28.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven reflekterar över sina kunskaper om den fysikaliska situationen, konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Vilket av spänningens och strömstyrkans toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då L ändras? Eleven beslutar att öka induktansen L i steg om 0,1 H. Grafen iakttas vid induktansändringen.



Figur 28. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 1a i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningens toppvärde ligger före strömstyrkans. Spänningskurvan förskjuts åt vänster. Strömstyrkekurvans amplitud minskar.

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks öka då L ökar och R är konstant.

Fas 7_1. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka induktansen L. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_1 och resonemanget i 6_1 bekräftas. Vid minskning av L visas att processen är reversibel.

Fas $7'_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven studerar hur övningen fortsätter och återställer parametervärdena till de i elevhandledningen föreslagna: R = 100 Ω, L = 1 H. Steglängden vid ändringen av R sätts till 50 Ω.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Vilken av spänningens och strömstyrkans toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då

R ändras? Eleven beslutar att öka resistansen R i steg om 50 Ω. Grafen iakttas vid resistansändringen.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts åt höger. Strömstyrkekurvans amplitud minskar.

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks minska då R ökar och L är konstant.

Fas 7_2. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka resistansen R. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_2 och resonemanget i 6_2 bekräftas. Vid minskning av R visas att processen är reversibel.

Fas 7'$_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
I fortsättningen studeras u_R- respektive u_L-graferna.

Fas 4_3. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Hur är det med fasförskjutningen mellan a) *spänningen u_R och strömstyrkan, b*) *spänningen u_L och strömstyrkan?* De aktuella graferna tas fram och studeras.

Fas 5_3. *PDRac-verktygets respons.*
RL-kretsen representeras av graferna $u_R(t)$, $u_L(t)$, $u(t)$ och $i(t)$. Spänningen $u_R(t)$ och strömstyrkan $i(t)$ ligger i samma fas. Spänningen $u_L(t)$ ligger 90° före strömstyrkan $i(t)$.

Fas 6_3. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Fasförskjutningarna mellan spänning och ström är för de enskilda komponenterna invarianta. Fasförskjutningen mellan kretsens totalspänning och ström varierar däremot då L och R varierar.

Fas 7'$_3$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
I fortsättningen studeras u_R-, u_L-, u- samt i-graferna. Spänningsskalorna fixeras till 25 V för att man inte ska få en flytande skala då amplituden ändras. Vid behov tas numeriska data, reaktanser och effektivvärden fram. I det följande sker resonemanget i termer av effektivvärden.

Fas 4_4. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Vad kan man upptäcka och hur förklaras förändringarna i andra storheter då L varieras?
R = 100 Ω hålls konstant och L ökas/minskas i steg om 0,1 H.

Fas 5_4. *PDRac-verktygets respons.*
Då L ökar sker följande: fasförskjutningen φ ökar, strömstyrkan I minskar, spänningen U_R minskar, spänningen U_L ökar.

Fas 6_4. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Följande iakttagelser och deras orsaker refereras kvalitativt:

* L ökar $\Rightarrow$ X_L ökar $\Rightarrow$ φ ökar
* X_L ökar $\Rightarrow$ Z ökar $\Rightarrow$ I minskar, ty U är konstant
* I minskar $\Rightarrow$ U_R minskar, ty R är konstant
* U_L ökar trots att I minskar, vilket verkar paradoxalt. Kan kanske förklaras av att X_L ökar?

Fas 7_4. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka induktansen L. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_4 och resonemanget i 6_4 bekräftas. Vid minskning av L visas att processen är reversibel.

Fas 8_1. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*

* Vid konstant frekvens är X_L proportionell mot L, ty $X_L = 2\pi fL$. Från tidigare är det även bekant att $\tan\phi = \frac{X_L}{R}$. En ökning av X_L medför en ökning av φ (ty tan φ är en strängt växande funktion för vinklarna $-\frac{\pi}{2} < \varphi < \frac{\pi}{2}$) och omvänt.
* Eftersom $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L^2}$, medför en ökning av X_L också en ökning av Z samt en minskning av I, då U är konstant. Det omvända gäller.
* U_R är proportionell mot I då R är konstant, dvs. $U_R = RI$.
* $U_L = X_L I$ gäller för konstanta värden på X_L. I ovanstående simulering förändras X_L. Hur förklarar detta variationer i spänning och strömstyrka? (Se fas 10_1.)

Fas 9_1. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Ohms lag i generaliserad form gäller för effektivvärden i en växelströmskrets: $U = ZI$, $U_R = RI$, $U_L = X_L I$.

Fas 10_1. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Då X_L ökar så att $X_L >> R$ blir spolen en alltmer ”dominerande” komponent i kretsen. En allt större del av totalspänningen kommer då att ligga över spolen. Vid ett försumbart värde på R i förhållande till X_L gäller att $U_L \approx U$, medan $U_R \approx 0$. Sammanfattningsvis gäller att, då X_L ökar kommer Z att öka och I att minska. U_R minskar eftersom I minskar och R är konstant. Däremot kommer U_L att öka, enligt resonemanget ovan, trots att I minskar. Denna

spänningsökning möjliggörs dels av att X_L ökar, dels av att fasförskjutningen mellan totalspänning och ström ökar och att U_L går mot totalspänningen U.

Fas 11_1. *Föreställning om samverkan testas.*
Kan ovanstående resonemang bekräftas? Eleven fortsätter att öka respektive minska induktansen L för att fastställa systemeffekterna.

Fas $7'_4$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
I fortsättningen är L konstant (= 1H) och R varieras.

Fas 4_5. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Vad kan man upptäcka och hur förklaras förändringarna i andra storheter då R varieras?
L = 1 H hålls konstant och R ökas/minskas i steg om 50 Ω.

Fas 5_5. *PDRac-verktygets respons.*
Då R ökar sker följande: fasförskjutningen φ minskar, strömstyrkan I minskar, spänningen U_L minskar, spänningen U_R ökar.

Fas 6_5. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Följande iakttagelser och deras orsaker refereras kvalitativt:
* R ökar $\Rightarrow$ φ minskar
* R ökar $\Rightarrow$ Z ökar $\Rightarrow$ I minskar, ty U är konstant
* I minskar $\Rightarrow$ U_L minskar, ty L och f är konstanta
* U_R ökar trots att I minskar, vilket verkar paradoxalt. Kan kanske förklaras av att R ökar?

Fas 7_5. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka resistansen R. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_5 och resonemanget i 6_5 bekräftas. Vid minskning av R visas att processen är reversibel.

Fas 8_2. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*
* Från tidigare är det bekant att tan $\varphi = \frac{X_L}{R}$. En ökning av R medför en minskning av φ samt omvänt.
* Eftersom $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_L{}^2}$, medför en ökning av R också en ökning av Z samt en minskning av I, då U är konstant. Det omvända gäller.
* U_L är proportionell mot I då L och f är konstanta, ty $U_L = 2\pi fLI = X_L I$.
* $U_R = RI$ gäller för konstanta värden på R. I ovanstående simulering förändras R. Hur förklarar detta variationer i spänning och strömstyrka? (Se fas 10_2)

Fas 9_2. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Ohms lag i generaliserad form gäller för effektivvärden i en växelströmskrets: $U = ZI$, $U_R = RI$, $U_L = X_L I$.

Fas 10_2. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Då R ökar så att $R >> X_L$ blir resistorn en alltmer ”dominerande” komponent i kretsen. En allt större del av totalspänningen kommer då att ligga över resistorn. Vid ett försumbart värde på X_L i förhållande till R gäller att $U_R \approx U$, medan $U_L \approx 0$. Sammanfattningsvis gäller att då R ökar kommer Z att öka och I att minska. U_L minskar eftersom I minskar och X_L är konstant. Däremot kommer U_R att öka, enligt resonemanget ovan, trots att I minskar. Denna spänningsökning möjliggörs dels av att R ökar, dels av att fasförskjutningen mellan totalspänning och ström minskar och att U_R går mot totalspänningen U.

Fas 11_2. *Föreställning om samverkan testas.*
Kan ovanstående resonemang bekräftas? Eleven fortsätter att öka respektive minska resistansen R för att fastställa systemeffekterna.

Problemsituation 2: Serieresonans.

Syfte: Att eleven ska undersöka egenskaperna och funktionen hos en seriekopplad RLC-krets med avseende på fasförskjutning och undersöka serieresonansfenomenets kvalitativa egenskaper.

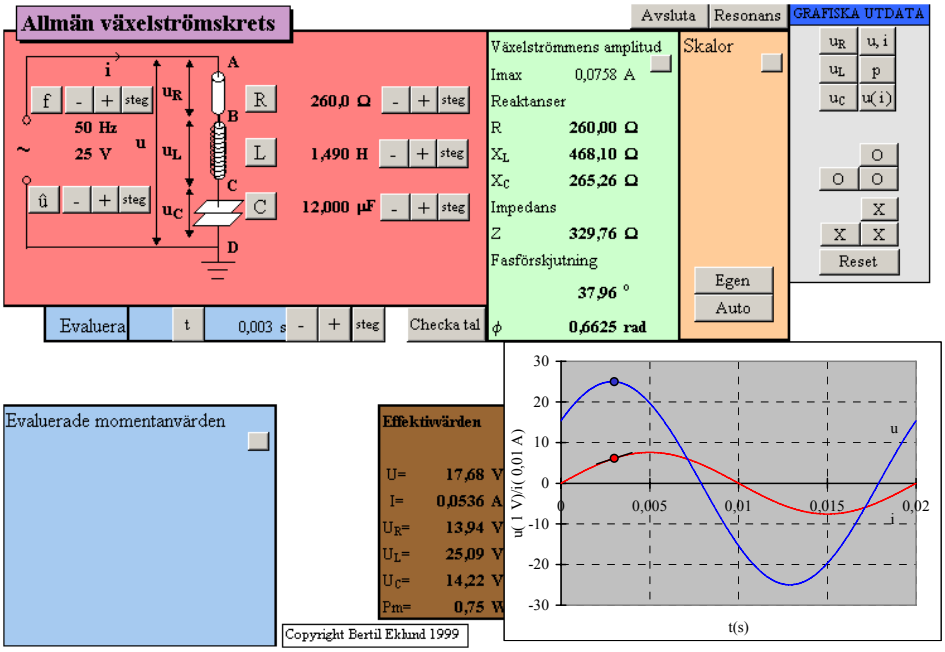
Fas 1. *Initiering.*

Parametrar:	$f = 50$ Hz, $\hat{u} = 25$ V, $R = 100\ \Omega$, $L = 1$ H, $C = 20\ \mu$F
Skalor:	maxtid på t-axeln = 0,02 s, spänningsskala = 1 V, strömstyrkeskala = 10 mA, effektskala = 1 W
Grafer:	$u(t)$, $i(t)$, maximalspänning 25 V, fast skala

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
En RLC-krets med parametrar enligt tabellen ovan och en $u(t)$, $i(t)$-graf utgör utgångsläget för undersökningen av kretsen. I fortsättningen hänvisas till figur 29.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven reflekterar över sina kunskaper om den fysikaliska situationen, konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Eleven beslutar att öka resistansen R i steg om 50 Ω. Grafen iakttas vid resistansändringen.



Figur 29. Spolen ”dominerar” i RLC-kretsen. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 2 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningens toppvärde ligger före strömstyrkans. Spänningskurvan förskjuts åt höger. Strömstyrkekurvans amplitud minskar. De numeriska värdena på impedansen ökar. (Övriga förändringar negligeras i denna situation.)

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Den positiva fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks minska då R ökar och L och C är konstanta. Z ökar och I minskar då R ökar. X_L har större värde än X_C.

Fas 7_1. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka resistansen R. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_1 och resonemanget i 6_1 bekräftas. Vid minskning av R visas att processen är reversibel.

Fas $7'_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven studerar hur övningen fortsätter och återställer parametervärdena till de i elevhandledningen föreslagna: R = 100 Ω, L = 1 H, C = 20 µF. Steglängden vid ändringen av L sätts till 0,2 H.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Eleven beslutar att öka induktansen L i steg om 0,2 H. R och C hålls konstanta. Grafen iakttas vid induktansändringen.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts åt vänster. Strömstyrkekurvans amplitud minskar. De numeriska värdena på den induktiva reaktansen och impedansen ökar.

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Den positiva fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks öka då L ökar och R och C hålls konstanta. X_L och Z ökar och I minskar då L ökar. X_L har större värde än X_C.

Fas 7_2. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka induktansen L. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_2 och resonemanget i 6_2 bekräftas. Vid minskning av L visas att processen är reversibel.

Fas $7'_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven studerar hur övningen fortsätter och återställer parametervärdena till de i elevhandledningen föreslagna: R = 100 Ω, L = 1 H, C = 20 μF. Steglängden vid ändringen av C sätts till 5 μF.

Fas 4_3. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Eleven beslutar att öka kapacitansen C i steg om 5 μF. R och L hålls konstanta. Grafen iakttas vid kapacitansändringen.

Fas 5_3. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts åt vänster. Strömstyrkekurvans amplitud minskar. De numeriska värdena på den kapacitiva reaktansen X_C minskar men impedansen Z ökar!

Fas 6_3. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Den positiva fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks öka då C ökar och R och L är konstanta. X_C minskar, Z ökar och I minskar då C ökar. X_C har mindre värde än X_L.

Fas 7_3. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka kapacitansen C. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_3 och resonemanget i 6_3 bekräftas.

Fas 7'$_3$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven konsulterar handledningen.

Fas 4$_4$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Eleven beslutar att minska kapacitansen C i steg om 5 μF. R och L hålls konstanta. Grafen iakttas vid kapacitansändringen.

Fas 5$_4$. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts åt höger. Strömstyrkekurvans amplitud ökar. De numeriska värdena på den kapacitiva reaktansen ökar men impedansen minskar!

Fas 6$_4$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Den positiva fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks minska då C minskar och R och L är konstanta. X_C ökar, Z minskar och I ökar då C minskar. X_C har mindre värde än X_L.

Fas 7$_4$. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att minska kapacitansen C. Sekvensen 5–6–7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5$_4$ och resonemanget i 6$_4$ bekräftas till en början.

Fas 5$_5$. *PDRac-verktygets respons.*
Vid C = 10 μF sammanfaller spännings- och strömstyrkekurvorna i stort sett.

Fas 6$_5$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks ligga nära noll (något negativ) då C minskar till 10 μF och R och L är konstanta. X_C har ökat och Z minskat till ett värde av ca 100 Ω. X_C har något större värde än X_L.

Fas 7$_5$. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Hur fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att minska kapacitansen C (figur 30).

Fas 5$_6$. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts ytterligare åt höger. Strömstyrkekurvans amplitud minskar. De numeriska värdena på den kapacitiva reaktansen ökar men impedansen ökar på nytt!

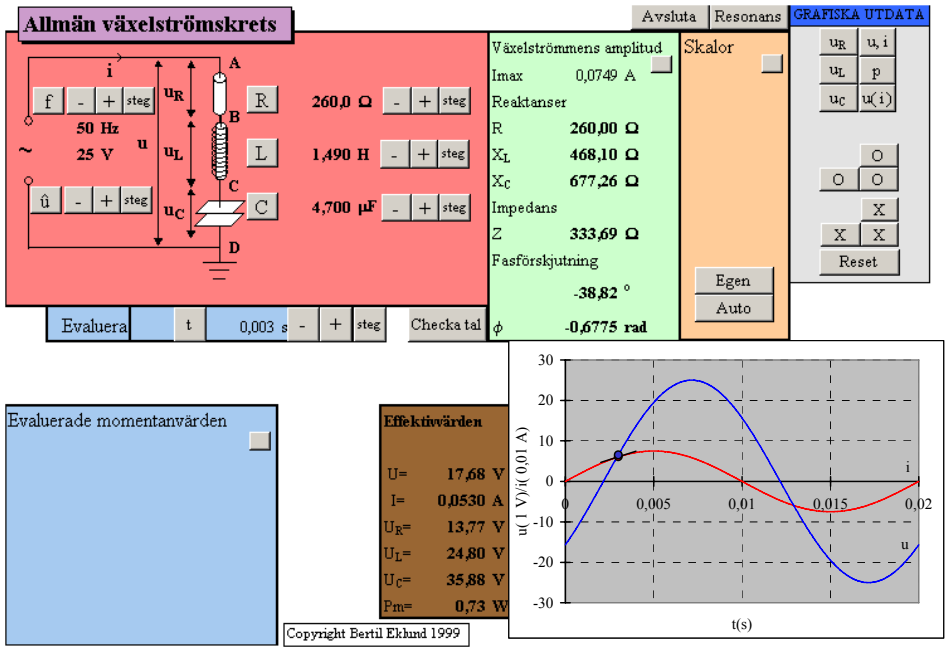
Fas 6$_6$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Den negativa fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks öka igen då C minskar och R och L är konstanta. X_C ökar och Z ökar och I minskar då C minskar. X_C är större än X_L.
Då C minskar från ett stort värde (20 μF) till ett litet (5 μF) sker följande:

* fasförskjutningen ändras från ett positivt till ett negativt värde och måste ha passerat värdet noll
* impedansen har minskat och därefter ökat igen, dvs. ett minimum har passerats
* strömstyrkan *I* har ökat och därefter minskat, dvs. ett maximum har passerats

Fas 7'$_4$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven konsulterar handledningen och återställer parametervärdena:
$R = 100\ \Omega$, $L = 1$ H, $C = 20\ \mu$F.

Fas 4$_7$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Eleven beslutar att minska *L* i steg om 0,2 H.

Fas 5$_7$. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts åt höger. Strömstyrkans amplitud ökar för att sedan minska.



Figur 30. Kondensatorn ”dominerar” i RLC-kretsen. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 2 i den didaktiska situationen *begrepps-introduktion*.

Fas 6$_7$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Då L minskar (exempelvis) från värdet 1 H till värdet 0,2 H sker följande:
* fasförskjutningen ändras från ett positivt till ett negativt värde och måste ha passerat värdet noll
* impedansen har minskat och därefter ökat igen, dvs. ett minimum har passerats
* strömstyrkan I har ökat och därefter minskat, dvs. ett maximum har passerats

Slutsats: Samma fenomen kan åstadkommas genom att variera L.

Fas 7'$_5$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven återställer parametervärdena: R = 100 Ω, L = 1 H, C = 20 μF.

Fas 4$_8$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Eleven beslutar att öka resistansen R i steg om 50 Ω. C och L hålls konstanta. Grafen iakttas vid resistansändringen.

Fas 5$_8$. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts åt höger. Strömstyrkekurvans amplitud minskar. De numeriska värdena på impedansen ökar.

Fas 6$_8$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Den positiva fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks gå mot noll då R ökar och C och L är konstanta. Z ökar och I minskar då R ökar. X_C har mindre värde än X_L.

Fas 7$_8$. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Trots en mycket kraftig ökning av R kommer inte fasförskjutningen att få värdet noll eller byta tecken.

Fas 7'$_6$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven återställer parametervärdena till R = 100 Ω, L = 0,2 H, C = 20 μF.

Fas 4$_9$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Eleven beslutar att öka resistansen R i steg om 50 Ω. C och L hålls konstanta. Grafen iakttas vid resistansändringen.

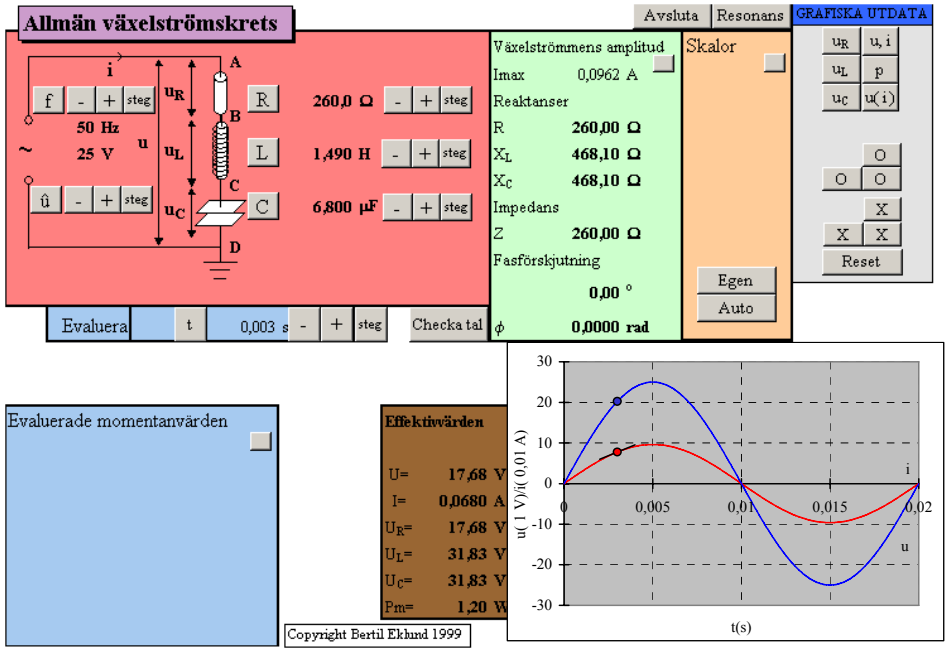
Fas 5$_9$. *PDRac-verktygets respons.*
Fasförskjutningen är nu negativ. Spänningskurvan förskjuts åt vänster. Strömstyrkekurvans amplitud minskar. De numeriska värdena på impedansen ökar.

Fas 6$_9$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Den negativa fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks gå mot noll då R ökar och C och L är konstanta. Z ökar och I minskar då R ökar. X_C har större värde än X_L.

Fas 7$_9$. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Trots en mycket kraftig ökning av R kommer inte fasförskjutningen att få värdet noll eller byta tecken.

Fas 7'$_7$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven försöker finjustera parametervärdena så att fasförskjutningen är noll.

Fas 4$_{10}$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Vilka är de värdepar (L, C) *för vilka* $\varphi = 0$*? Har värdet på* R *någon betydelse?* En finjustering av L och/eller C (t.ex. L = 1,49 H och C = 6,8 µF) kan åstadkomma att fasförskjutningen blir noll. R varieras fritt. Grafen iakttas vid resistansändringen (figur 31).



Figur 31. Serieresonans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 2 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Fas 5_{10}. *PDRac-verktygets respons.*
Strömstyrkans och spänningens grafer har sina toppvärden och nollställen samtidigt. De numeriska värdena på impedans och resistans är lika. De numeriska värdena på induktiv och kapacitiv reaktans är lika. En ökning av resistansen ökar impedansen och minskar strömstyrkan, och omvänt.

Fas 6_{10}. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Slutsats:
* Då den kapacitiva reaktansen är större än den induktiva, dvs. kondensatorn ”dominerar”, är fasförskjutningen negativ.
* Då den induktiva reaktansen är större än den kapacitiva, dvs. spolen ”dominerar”, är fasförskjutningen positiv.
* Ökning av resistansen minskar fasförskjutningen, och omvänt.

Fas 7_{10}. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Finjustera L- och/eller C-värdet vid behov. De olika storheternas parametervärden förändras och effekterna iakttas.

Fas 8_{10}. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*
Då de induktiva och kapacitiva reaktanserna är lika är fasförskjutningen noll i RLC-kretsen.

Fas 9_{10}. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Ur ekvationen $X_L = X_C$ fås $2\pi fL = \dfrac{1}{2\pi fC}$, dvs. $LC = \dfrac{1}{(2\pi f)^2}$. Då ekvationen löses med avseende på f fås resonansfrekvensen $f = \dfrac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Fas 10_{10}. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Vilka är dina slutsatser?
Serieresonansvillkor i en RLC-krets:
* Fasförskjutningen är noll.
* De induktiva och kapacitiva reaktanserna är lika stora.
* Impedansen har ett minimum och strömstyrkan ett maximum då fasförskjutningen är noll. Impedansens värde är samma som resistansens.
* Ändring av resistansen påverkar inte serieresonanstillståndet.
* Det finns oändligt många värdepar (L, C) som åstadkommer serieresonans i en RLC-krets.
* Resonansfrekvensen beror av kretsens induktans och kapacitans.

Fas 11_{10}. *Föreställning om samverkan testas.*
Alla RLC-kretsar kan försättas i resonanstillstånd med en bestämd resonansfrekvens genom att välja lämpliga värden på spolens induktans och kondensatorns kapacitans.

4.2.4 Den didaktiska situationen *utvärdering*

I detta avsnitt analyseras problemsituationerna och *PDRac*-verktygets didaktiska funktion såsom syftet är med den didaktiska situationen *utvärdering* sedd ur lärarens synvinkel. Innehållet i problemsituationerna finns i bilaga 5. Frågetexter i provet är kursiverade. Analysen av problemsituationerna 2, 3, 4 och 5 är förlagd till bilaga 8.

Verktyget *PDRac_eval* för utvärderingsändamål har en annorlunda skärmlayout och är försedd med några restriktioner i jämförelse med det tidigare omnämnda PDRac-verktyget. Knapparna ***a***, ***b***, ***c***, ***d***, ***e*** utgör inmatningsknappar för de fysikaliska storheterna (eller parametrarna) $\boldsymbol{\hat{u}}$, ***f***, ***R***, ***L***, ***C***, dock inte i denna ordningsföljd. Knapparna har slumpmässigt tilldelats de nämnda storheterna (figur 32). Eleven har tillgång till grafiska utdata, men inte andra numeriska utdata än strömstyrkans tidsderivata d*i*/d*t*. Tyngdpunkten i denna didaktiska situation ligger på tolkning av grafiska utdata. Det finns ytterligare en knappsats bestående av tio knappar. Dessa används då eleven ska spara de parameterinställningar som utgör elevens svar på frågor i uppgifterna.

Problemsituation 1. Storheter och grafer i en växelströmskrets.

Syfte: Att eleven med hjälp av ett logiskt, fysikaliskt resonemang ska identifiera storheter genom att studera hur en ändring av en storhet inverkar på förändringen av grafers utseende.

Fas 1. *Initiering.*
Den information som eleven får på provpappret är att storheterna $\hat{u}$, R och L har värdet 0, f har ett positivt värde och $C = 10^{20}$ µF. Dubbelgrafen $u(t)/i(t)$ tas fram.

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
Texten **Kortslutning!!** på skärmen indikerar att ingen av komponenterna resistor, spole eller kondensator ännu är inkopplad. Således gäller att $R = 0$, $L = 0$ och C har ett stort värde. Ingen graf är synlig, dels beroende på att kretsen inte matas av någon spänning, dels på att den är kortsluten.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven resonerar kring en strategi för det fortsatta arbetet med uppgiften. En lämplig initialstrategi, som föreslås i provpappret, är att systematiskt öka värdena på ”storheterna” a, b, c, d, e i successiv ordning och iaktta resultatet av

åtgärderna. Ökningen sker genom att klicka på plusknappen för var och en av storheterna. Det kan vara informativt att dessutom kontrollera det inmatade standardvärdet (= 1) på steglängden för varje knapp. (Denna sekvens av faser är trivial och behandlas inte här.)

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Öka värdet på storheten *a.*

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Ingen förändring iakttas på dataskärmen.

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Storheten *a* kan inte vara *R* eller *L*, eftersom kretsen fortfarande är kortsluten. Om *a* motsvarar kapacitansen *C* kommer en ändring i små steg (t.ex. steglängden 1–1000) inte nämnvärt att ändra på kapacitansen, så kretsen kan fortfarande betraktas kortsluten. Förändringen syns därför inte i grafen. Då måste *a* vara *û*, *f* eller *C*. (Enligt den överenskomna strategin görs inte inmatning med knapparna *a*–*e* utan endast ökning med hjälp av plusknappen.)

Fas 7'$_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Den föreslagna strategin innebär att storheten *b* ska ändras.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Värdet på *b* ökas.

Fas 5_2. PDRac-verktygets respons.
Ingen ändring sker på dataskärmen.

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Storheten *b* kan inte vara *R* eller *L* eftersom kretsen fortfarande är kortsluten. Då måste *b* vara *û*, *f* eller *C*.

Fas 7'$_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven beslutar att ändra storheten *c* enligt den föreslagna strategin.

Fas 4_3. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Eleven ökar värdet på storheten *c.*

Fas 5_3. *PDRac-verktygets respons.*
Skylten **Kortslutning!!** släcks på skärmen. Ingen annan förändring inträffar.

Fas 6_3. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Storheten *c* måste vara *R* eller *L*. Eftersom ingen graf uppenbarar sig kan man inte koppla på spänningen med *a* eller *b*.

Fas 7'$_3$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven beslutar att ändra storheten *d* enligt den föreslagna strategin.

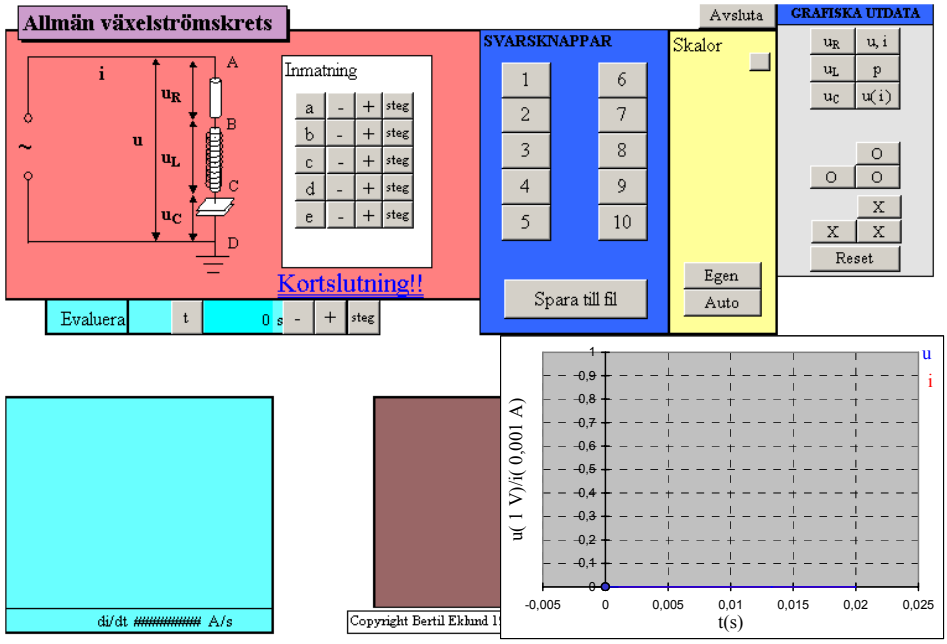
Fas 4$_4$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Öka värdet på storheten *d*.

Fas 5$_4$. *PDRac-verktygets respons.*
Ingen ny förändring inträffar. Ingen graf har ännu uppenbarat sig.

Fas 6$_4$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Storheten *d* kan vara *R* eller *L*. Ingen graf har tills vidare uppenbarat sig. Då kan inte *a* eller *b* vara spänningen $\hat{u}$, utan *f* och *C*. Eftersom en resistor och en spole i detta skede har inkopplats i kretsen (jfr fas 6$_3$), men ingen graf ännu har uppenbarat sig, så måste den sista knappen *e*, enligt uteslutningsmetoden, vara toppspänningen $\hat{u}$.

Fas 7'$_4$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
En knapp återstår.

Fas 4$_5$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Eleven ökar värdet på storheten *e*.



Figur 32. Verktyget *PDRac_eval* avsett för utvärdering. Utgångsläget i problemsituation 1 i den didaktiska situationen *utvärdering*.

Fas 5_5. *PDRac-verktygets respons.*
En graf uppenbarar sig. Beroende på inställningar av axlarnas skalvärden kan den ha ett ”onaturligt” utseende, dvs. sakna likhet med en växelströmsgraf.

Fas 6_5. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Storheten *e* kan konstateras vara toppspänningen $\hat{u}$. Knapparna *c* och *d* måste enligt tidigare vara *R* och *L*, dock inte nödvändigtvis i denna ordningsföljd.

Fas 7'$_5$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Grafen måste vara sinusformad, eftersom kretsen nu matas med en växelspänning och minst två komponenter har kopplats in. Skaländring kan åtgärda en oläslig graf.

Fas 4_6. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Eleven beslutar att ändra skalan på axlarna. Maximitiden 1 s kan vara ett lämpligt värde på tidsaxeln. På ordinatan kan man pröva med 1 V och 1 A.

Fas 5_6. *PDRac-verktygets respons.*
En korrekt växelströmsgraf uppenbarar sig.

Fas 6_6. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
En obestämd, men positiv fasförskjutning kan avläsas ur grafen. Orsaken kan sökas i att en spole är inkopplad.

Fas 7'$_6$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven resonerar kring möjligheten att bestämma knapparna för *R* respektive *L*.

Fas 4_7. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Eleven beslutar att nollställa exempelvis storheten *c*.

Fas 5_7. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningsgrafen tycks löpa 90° före strömmen.

Fas 6_7. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Knappen *d* antas således vara induktansen *L*.

Fas 7'$_7$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Granska knappen *c*.

Fas 4_8. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Eleven beslutar att nollställa exempelvis storheten *d*. Storheten *c* ges ett värde.

Fas 5_8. *PDRac-verktygets respons.*
Spännings- och strömstyrkegrafen tycks löpa samtidigt. Ingen fasförskjutning.

Fas 6_8. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Knappen *c* måste vara resistansen *R*. Sammanfattningsvis kan konstateras att knapparna *c, d, e* har identifierats som inmatningsknappar för storheterna *R*, *L* respektive *û*. Knapparna *a* och *b* måste då motsvara storheterna *f* och *C*, vilket hypotetiserats tidigare.

Fas 7'$_8$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Granska knappen *a*.

Fas 4_9. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Öka värdet på storheten *a.*

Fas 5_9. *PDRac-verktygets respons.*
Spännings- och strömstyrkegrafen tycks ”tryckas ihop”, dvs. tidsintervallet mellan nollställena minskar.

Fas 6_9. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Knappen *a* motsvaras då av frekvensen.

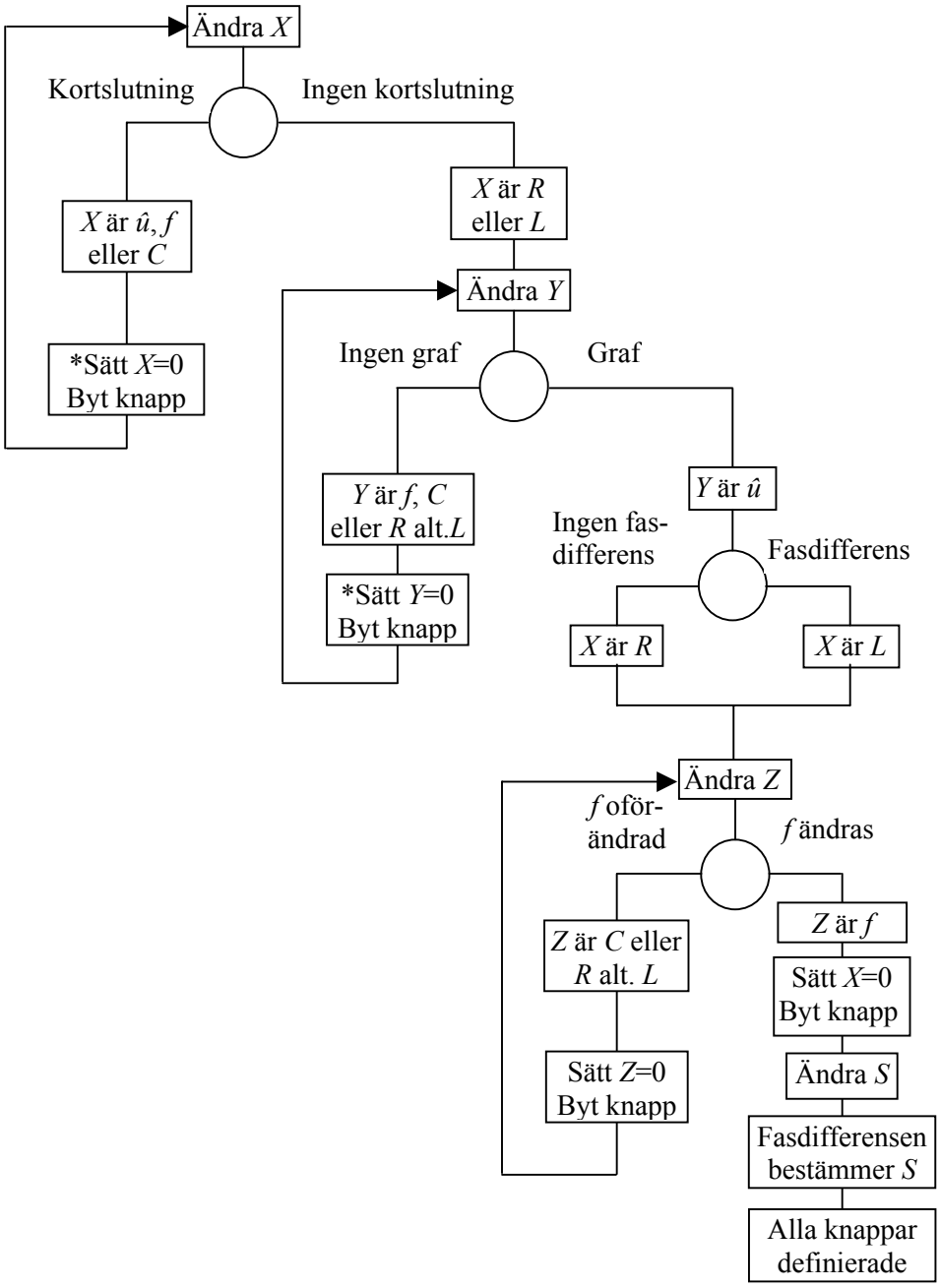
Fas 7'$_9$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Granska knappen *b*.

Fas 4_{10}. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Eleven måste klicka på knappen *b* för att ge storheten ett värde. Storheterna *c* och *d* nollställs.

Fas 5_{10}. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningsgrafen tycks löpa 90° efter strömstyrkegrafen.

Fas 6_{10}. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Knappen *b* motsvaras då av kapacitans. Därmed har samtliga knappar *a, b, c, d, e* relaterats till storheterna *f*, *C*, *R*, *L* respektive *û* i nämnd ordningsföljd.

I figur 33 belyses den logiska struktur som ligger bakom problemsituation 1. De premisser som gäller i kretsen är att frekvensen är större än noll och att kondensatorns utgångsvärde är stort, 10^{20} μF. Analysen börjar genom att eleven försöker hitta den knapp som sätter in en växelströmskomponent i kretsen. Genom att successivt ändra värdet (med +/– knapparna) på växelströmsstorheterna, som ligger bakom knapparna, påträffas den knapp (kalla den *X*) som sätter in en resistor eller en spole i kretsen. Detta indikeras av att en skylt med texten **Kortslutning** släcks på skärmen. (Ifall inmatning sker direkt genom att klicka på storhetsknappen kan även en kondensator komma ifråga. En ändring av kapacitansen i små steg har nämligen ingen betydelse för kretsen, eftersom kapacitansen från början har ett stort värde.)



Figur 33. Flödesschema över bestämningen av knapparnas motsvarande storheter i PDRac-verktygets utvärderingsversion. *X*, *Y*, *Z* och *S* är benämningar på knappar. Kursiverade bokstäver anger storheter. (* = denna åtgärd inte nödvändig, men hjälper till att strukturera lösningen av problemet.)

Nästa steg är att hitta den knapp (*Y*) som kopplar in en spänning över kretsen. En inkopplad spänning i kretsen indikeras av att en graf blir synlig i graffönstret, dvs. att spänningen och strömstyrkans amplituder är större än noll. Genom att justera axlarnas skalor får eleven fram de sinusformade kurvorna. Om fasdifferensen mellan spänning och ström visar sig vara noll har en resistor anslutits i serie med spänningskällan, i annat fall är det fråga om en spole (eller en kondensator). Eftersom en frekvensändring i spänningskällan tydligt återges i grafen är följande logiska steg att hitta frekvensknappen (*Z*). Då denna har verifierats återstår att bestämma de tre komponenterna resistor, spole och kondensator genom att nollställa de tre övriga knapparna och successivt ge värden åt storheterna och med grafens hjälp studera de fasdifferenser som uppstår.

En elev förutsätts inte kunna följa denna stränga logik, utan han kan komma till gynnsamt resultat med alternativa metoder. I varje fall måste metoderna åtföljas av resonemang som liknar det ovan presenterade.

4.3 Utformningen av de empiriska undersökningarna

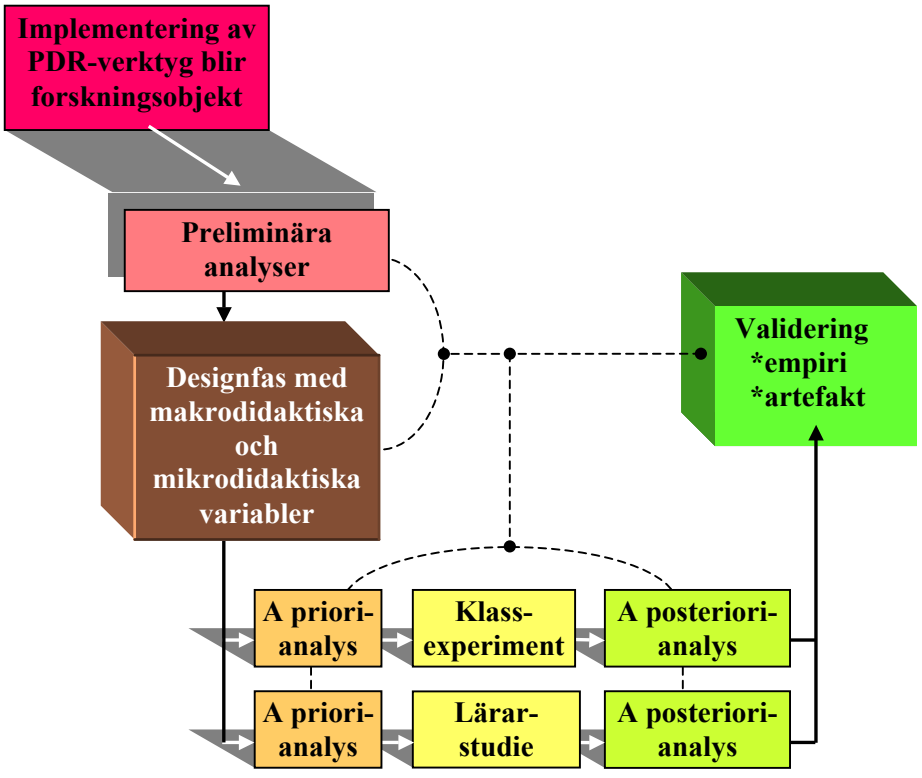
I avsnitt 3.6 har forskningens syften specificerats. Den första forskningsfrågan handlar om att designa och producera ett datorbaserat PDRac-verktyg med en didaktisk potential. Detta ingår som en av de *makrodidaktiska variablerna* och har behandlats i samband med de globala valen (avsnitt 4.1). Den andra forskningsfrågan handlar om att implementera verktyget i undervisningen. Denna fråga har analyserats på en *mikrodidaktisk nivå* i avsnittet om lokala val (avsnitt 4.2). De lokala valen är underordnade de globala och måste vara i överensstämmelse med dem (Artigue, 1994, s. 34). På denna nivå implementeras det datorbaserade PDRac-verktyget inklusive handlednings- och övningsmaterialet. Teorin för didaktiska situationer (avsnitt 2.1) tillämpas i de tre situationerna *övning*, *begreppsintroduktion* och *utvärdering*. Dessa s.k. situationsvariabler utgör variationer av *didaktiska situationer*. Dessa består i sin tur av ett antal problemsituationer, vars faser är analyserade i avsnitt 4.2.2–4.2.4. Den tredje forskningsfrågan handlar om vilka effekter PDRac-verktyget och dess implementering i undervisningen har på elever och lärare, närmare bestämt på deras *uppfattning av effektivitet* i lärandeprocessen.

Att strukturera ett forskningsobjekt är en delikat uppgift. Den empiriska undersökningen måste utarbetas, omformas och förbättras i flera omgångar. En första undersökningsuppläggning har tidigare utvärderats i ett pilotexperiment där gymnasieelever medverkade. Den feedback som experimentet gav har varit till stor hjälp för att utveckla uppläggningen av denna studie. Den tredje forskningsfrågan leder således till utformningen av en empirisk undersökning. Denna undersökning görs tudelad, en undersökning med gymnasieelever i form av ett klassexperiment och en undersökning med gymnasielärare som försöksdeltagare.

En strukturering av hela den aktuella forskningsprocessen, vilket sker inom ramen för didaktisk ingenjörskonst, illustreras i figur 34.

4.3.1 Operationella definitioner av variabler

I en experimentell undersökning försöker man fastställa huruvida det finns ett samband mellan en oberoende och en beroende variabel. Den experimentella operationella definitionen av den oberoende variabeln *didaktiska situationer* ger uttryck åt detaljerna (eller operationerna) av forskarens manipulation av variabeln (jfr Kerlinger, 1986, s. 29), vilket görs genom beskrivningen av de didaktiska situationerna *övning, begreppsintroduktion* och *utvärdering* (avsnitt 4.2.2–4.2.4). Eleverna deltar i var och en av dessa didaktiska situationer. I de två första samarbetar eleverna parvis vid datorn, medan de i den tredje arbetar individuellt.



Figur 34. Forskningsprocessens steg i den aktuella studien (pilar) och objekten för valideringen (streckade linjer).

Lärardelen av studien inbegriper inte någon specifik lokal organisation. Lärarna gör sig bekanta med PDRac-verktyget så att de globala valen, dvs. datorteknologi i fysikundervisningen, PDRac-verktygets egenskaper och dess didaktiska potential, beskrivningen av verktyget, lärarhandledningen, elevhandledningen och övningarna, är makrodidaktiska variabler som påverkar lärarnas ställningstagande. Elevövningarna är de facto involverade i den lokala organisationen av det didaktiska ingenjörsarbetet, vilket betyder att lärarna också gör sig bekanta med innehållet i de tre nämnda didaktiska situationerna, dvs. de mikrodidaktiska variablerna.

En operationell definition av den beroende variabeln, *uppfattning av effektivt lärande*, innebär att man tilldelar den mening genom att specificera de aktiviteter eller operationer som är nödvändiga för att mäta den (jfr Kerlinger, 1986, s. 28). I det följande klargör jag vad jag avser med denna variabel.

Begreppet *effektivitet* handlar om förmågan att uppnå ett önskat mål. Elever med personlig effektivitet vet att de som individer kontrollerar det som de lär sig, baserat på en övertygelse om sin förmåga att anstränga sig och nå ett mål (Barell, 1995).

Det krävs mer än bara faktakunskap och förmåga till resonemang om en människa vill fungera effektivt i intellektuella sammanhang. Självprocesser är starkt kopplade till människans val och konstruktion av omgivningen och bestämmer hennes motivation, emotion (*affect*) och handling. En centralt verkande kraft är hennes uppfattning om sin förmåga att kunna kontrollera den nivå där hon fungerar och de händelser som påverkar hennes liv. Denna uppfattning av effektivitet påverkar hennes känslor, tankar, motivationer och beteenden. Uppfattningen av självefffektivitet (upplevd självförmåga) är kopplad till kognitiva och affektiva processer samt motivations- och urvalsprocesser (Bandura, 1993, ss. 117–118).

McCombs (1991) hävdar att sambandet mellan tankar, sinnesstämning och beteende är grundvalen för effektivt lärande. När elever är motiverade att lära sig och när man kan underlätta utvecklandet av goda lärandestrategier och skicklighet i att tänka höjs effektiviteten i lärandet (s. 119). I nya lärandesituationer är elevers begåvning och tidigare erfarenheter till hjälp då de gör en inledande bedömning av sin självefffektivitet med hänsyn till lärande (Schunk, 1991, s. 223). Elevernas aktiviteter i klassen har inte enbart kognitiva aspekter utan eleverna förväntas också klara av sociala och emotionella utmaningar. Lehtinen, Vauras, Salonen, Olkinuora och Kinnunen (1995) har visat att det alltid föreligger en komplicerad växelverkan mellan kognitiva, motivationsrelaterade, sociala och situationsbundna tolkningar som borde beaktas i lärandeprocessen. Om detta skriver också Shuell (1993):

> In the real world of education, however, cognitive processes do not operate in isolation. Affective, motivational, metacognitive, developmental, and social

> factors combine in contributing to students' achievement in academic settings. Students function as whole individuals, and they bring more than prior knowledge and learning skills with them when they begin an instructional task (s. 302).

PDRac-verktygets egenskaper, dess didaktiska potential och dess funktion i didaktiska situationer samt de tre olika didaktiska situationernas karakteristiska drag åstadkommer effekter på en beroende variabel, som relateras till elevernas beteenden i de olika situationerna. Till beroende variabel har därför valts *effektivt lärande* utgående från elevernas och lärarnas *egna uppfattningar*. Vad eleverna beträffar vill jag med andra ord mäta vad de anser om effektiviteten i lärandeprocessen i de olika didaktiska situationerna, som var och en har olika kännetecken. I lärarstudien mäts hur PDRac-verktygets egenskaper, dess didaktiska potential och dess funktion i (för lärarna tänkta) didaktiska situationer påverkar lärarnas uppfattningar om effektivitet i lärandeprocessen. Lärarna baserar sina uppfattningar på de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna vid en tänkt implementering av PDRac-miljön.

Termen *effektivitet* täcker inte helt innebörden av den effekt som jag förväntar mig att implementeringen av PDRac-verktyget har på aktörerna, dvs. eleverna och lärarna. Termer som utvidgar och tydliggör "innebördsfältet" är *ändamåls-enlighet*, *verkan* (jfr ordet *efficacy* i engelskan); man kan också tala om att lärandeprocessen blir mer *rationell*, får en större *verkningskraft*. Om man i ordet effektivitet införlivar dessa dimensioner är innebörden av ordet i denna studie klarare definierad. Effektivt lärande handlar alltså om i vilken mån den definierade miljön påverkar, effektiverar lärandeprocessen och gör den ändamålsenlig.

Hur mäter man då uppfattning av effektivt lärande? Termen *indikator* (*indicant* i Kerlinger, 1986, s. 396) används för att avse något som pekar på någonting annat. Då man mäter ting betyder det i själva verket att man mäter indikatorer på egenskaper hos tingen. Att man kan identifiera ett specifikt beteende hos exempelvis en person innebär att man har en indikator på en underliggande egenskap. Indikatorer, från vilka man drar slutsatser om egenskaper, specificeras genom operationella definitioner. Dessa definitioner specificerar de aktiviteter eller "operationer" som är nödvändiga för att mäta variabler eller *konstruktioner* (*constructs*[5] i Kerlinger, 1986, s. 396–397). I undervisningssammanhang är indikatorer sådana begrepp som är användbara i forskning på fenomen som karakteriserar undervisningen. Indikatorerna reflekterar undervisningens tillstånd och kan potentiellt användas som observerade komponenter av andra variabler (s. 458). Kerlinger definierar en konstruktion som ett begrepp med den kompletterande betydelsen att konstruktionen "efter moget övervägande och

[5] *construct* kan lämpligen översättas med *konstruktion* (e-postdiskussion med Ylva Forsblom-Nyberg, Svenska språkbyrån)

medvetet har uppfunnits eller upptagits för ett speciellt vetenskapligt syfte" (s. 27).

Referensramen i denna studie bygger på ett antal sådana indikatorer som i litteraturen associeras till begreppet effektivitet, dvs. faktorer i undervisningen som "bär fram" eleven, stöder läraren i undervisningen, befrämjar samspelet mellan eleven och läraren och påskyndar den process som leder till lärande. Dessa indikatorer kan visserligen inte på ett uttömmande och definitivt sätt beskriva alla aspekter på begreppet effektivt lärande. En begränsning måste göras. För att operationalisera begreppet effektivt lärande har jag valt sju indikatorer. Det är ett antal som dels täcker en väsentlig del av variabeln med beaktande av syftet med den aktuella studien, dels är tillräckligt begränsat inom den begränsade kontext som studien omfattar. I studiens elevdel har jag definierat variabeln *uppfattning av effektivt lärande* med hjälp av indikatorerna *motivation, attityd och intresse, ansvar, kontroll, prestation, förståelse* och *tillfredsställelse*. I lärardelen används indikatorerna *motivation, engagerat lärande, interaktivitet, rolldefiniering, investering i tid, prestation* och *förståelse*.

Enligt Kerlinger kan en konstruktion vara en mellanliggande (*intervening*) variabel. Han förklarar att en sådan variabel är "en term, som uppfunnits för att tjäna som förklaring till inre och inte direkt iakttagbara psykologiska processer, vilka i sin tur förklarar beteende" (s. 37). Ett mer generellt och tillämpbart uttryck är latent variabel eller icke-observerbar variabel. Kerlinger exemplifierar:

> Scientists, ..., are aware that they are talking about invented constructs the "reality" of which has been inferred from behavior. If they want to study the effects of different kinds of motivation, they must know that "motivation" is a latent variable, a construct invented to account for presumably "motivated" behavior. They must know that its "reality" is only a postulated reality. They can only judge that youngsters are motivated or not motivated by observing their behavior. Still, in order to study motivation, they must measure it or manipulate it. But they cannot measure it directly because it is an "in-the-head" variable, an unobservable entity, a latent variable, in short. The construct was invented for "something" *presumed to be* inside individuals, "something" prompting them to behave in such-and-such manners. This means that researchers must always measure presumed indicants of motivation and not motivation itself. They must, in other words, always measure some kind of behavior, be it marks on paper, spoken words, or meaningful gestures, and then make inferences about presumed characteristics – or latent variables (s. 37).

Enligt ett liknande resonemang kan man betrakta *effektivt lärande* som en konstruktion, ett "uppfunnet" begrepp, som förklaras med hjälp av andra konstruktioner, såsom motivation, förståelse och prestation, vilka relateras till effektivitet enligt de teorier som presenterats i avsnitt 3.5. Dessa "subkonstruktioner", eller indikatorer på effektivitet i lärandeprocessen, är i sig inte

heller direkt mätbara utan fungerar som latenta variabler, som förklarar t.ex. en elevs beteende.

Vad ligger bakom det personliga valet av dessa konstruktioner (eller sub-konstruktioner)? Låt mig motivera ställningstagandet med ett analogt resonemang om forskning angående självefffektivitet (*self-efficacy*). Enligt Bandura (1997, s. 39) förlitar man sig ofta på samlingstest (*omnibus tests*) i ansträngningarna att komma underfund med personliga faktorer som på ett avgörande sätt bidrar till psykosocialt fungerande. Testen, som omfattar personliga attribut utformade för att tjäna olikartade syften, har dekontextualiserade test-uppgifter (*items*), raderade på information om de situationer som hanteras. De är ofta generella och har liten relevans för de funktionssfärer som är av intresse; respondenterna måste gissa vilka de ospecificerade omständigheterna kunde vara.

> It is unrealistic to expect personality measures cast in generalities to shed much light on the contribution of personal factors to psychosocial functioning in different task domains and contexts and under diverse circumstances. Efficacy beliefs in the scholastic domain are a good case in point. An all-purpose test of perceived self-efficacy would be phrased in terms of people's general belief that they can make things happen, without specifying what those things are. Such a measure would most likely be a weak predictor of attainments in a particular scholastic domain, such as mathematics (Bandura, 1997, s. 40).

Genom att välja sådana konstruktioner som forskaren anser vara relevanta i sammanhanget och göra testfrågor som är anpassade för de specifika didaktiska situationerna är det sannolikare att de kan fånga elevernas uppfattningar i anslutning till själva situationerna. Bandura skriver:

> But major progress in understanding how personal factors operate in causal structures requires explicit measurement of the particular personal determinants that are germane to given spheres of functioning (s. 41).

De indikatorer som har valts för elev- och lärarstudien kan sammanföras till tre grupper, som kan associeras till affektiva aspekter, växelverkans- eller samspelsaspekter och kognitiva aspekter av undervisnings-lärandeprocessen. Indelningen grundar sig på faktorer som verkar på flera nivåer i strukturering en av den didaktiska miljön, i elevens spel med den adidaktiska miljön och i lärarens organisation av dessa spel. De är faktorer som verkar i de meta-didaktiska, didaktiska och adidaktiska situationerna (jfr figurerna 1 och 26 i avsnitt 2.1 respektive 4.2.1). Indikatorerna *motivation, attityd och intresse* och *engagerat lärande* kan associeras till inre, affektiva aspekter. Via association till yttre, didaktiska, organisatoriska, situationsbundna eller aktivitetsreglerande faktorer, gemensamt kallade samspelsfaktorer, samlas indikatorerna *interaktivitet, rolldefiniering, ansvar, kontroll* och *investering i tid* till en och samma grupp. Indikatorerna *prestation, förståelse* och *tillfredsställelse*

associeras till yttre kognitiva men också inre, affektiva aspekter. I avsnitt 3.5 har indikatorerna ifråga behandlats ur teoretiskt perspektiv. Man kan inte dra tydliga gränser mellan indikatorgrupperna. Avsikten är här bara att åstadkomma en strukturering på grund av det relativt stora antalet indikatorer och tudelningen av studien i en elev- och lärardel. Grupperna sammanfattas i tabell 5.

Tabell 5. *Strukturering av indikatorerna i den beroende variabeln "uppfattning av effektivt lärande".*

	Indikatorer	
	Elevstudie	Lärarstudie
Affektiv aspekt	*motivation* *attityd och intresse*	*motivation* *engagerat lärande*
Samspelsaspekt	*ansvar* *kontroll*	*interaktivitet* *rolldefiniering* *investering i tid*
Kognitiv aspekt	*prestation* *förståelse* *tillfredsställelse*	*prestation* *förståelse*

4.3.2 Kvasiexperimentell uppläggning

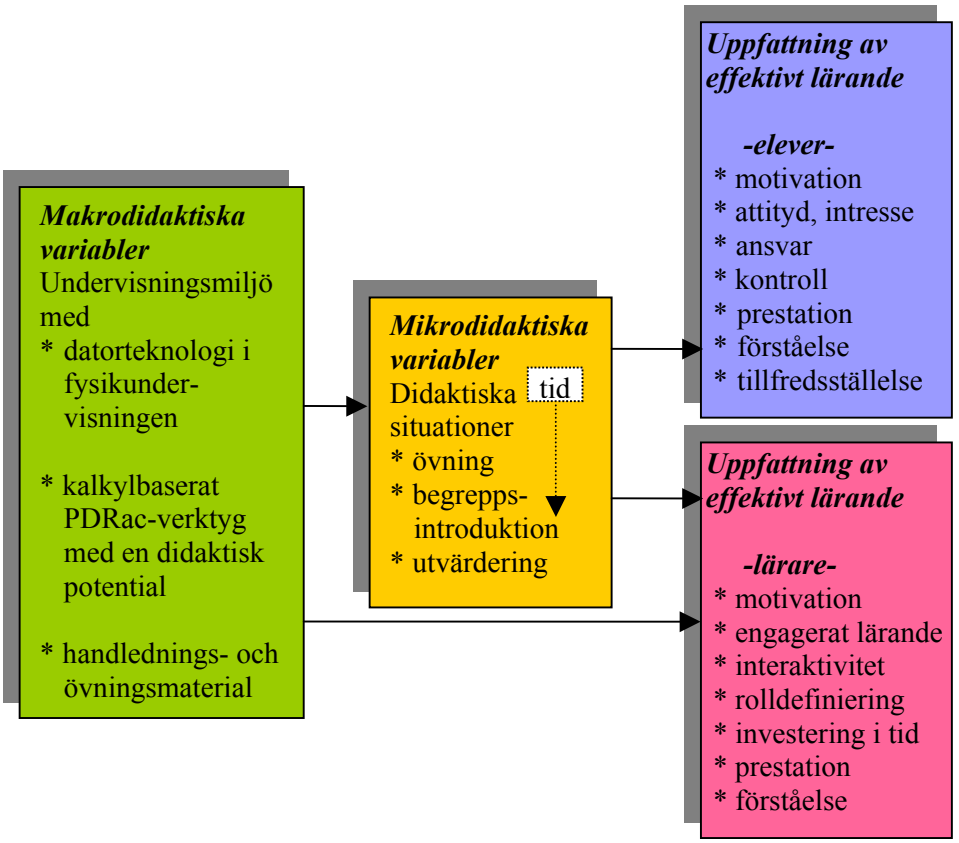
Figur 35 illustrerar den empiriska undersökningens utformning med den globala och lokala organisationen av det didaktiska ingenjörsarbetet, dvs. de makro- och mikrodidaktiska variablerna och deras samband med variabeln *uppfattning av effektivt lärande*.

Då forskning görs i undervisningssammanhang är det i många fall naturligt att som försökspersoner använda en kohort (N i diagrammet nedan), dvs. en grupp personer (elever) som följs åt genom någon formell institution, t.ex. skola (jfr Cook & Campbell, 1979, s. 127). Uppläggningen blir då av nödtvång kvasi-experimentell och är i denna studie en modifierad version av den som Cook och Campbell (1979, s. 222) kallar avbrutna tidsserier med multipla upprepningar (*interrupted time series with multiple replications*). En term som också används är upprepade mätningar.[6]

[6] Sheskin (2000, s. 31) beskriver denna design på följande sätt: "In a **within-subjects design** (also referred to as a **repeated-measures design, dependent samples design**, and **correlated samples design**), each subject serves in all of the experimental conditions."

De tre didaktiska situationerna motsvarar schemalagda ”behandlingar”, som är av olika slag. De betecknas med X_1, X_2 respektive X_3 i nedanstående diagram. Dessa behandlingar, dvs. de didaktiska situationerna i PDRac-miljön (se avsnitt 4.2), följs genast av mätningar av elevernas uppfattningar av effektivt lärande (O_1–O_3) i enkätform. En tid efter behandlingarna intervjuas sedan eleverna muntligt (O_4) och skriftligt i enkätform (O_5).

N	X_1 O_1	X_2 O_2	X_3 O_3	O_4	O_5



Figur 35. Den empiriska undersökningens design med makrodidaktiska och mikrodidaktiska variabler och den beroende variabeln uppfattning av effektivt lärande.

Lärarstudiens motsvarande kvasiexperimentella uppläggning visas i diagrammet nedan. I den motsvaras X_1 av att ett antal lärare (N) gör sig bekanta med PDRac-verktyget för att få en uppfattning om verktygets didaktiska potential. Därefter görs mätningen av deras uppfattningar av effektivt lärande (O_1). I X_2 går lärarna igenom övningarna i de didaktiska situationerna och besvarar motsvarande del av enkäten (O_2). I lärarstudien är innehållet i O_3 identiskt med elevernas O_5.

N	X_1 O_1	X_2 O_2	O_3

En precisering av genomförandet av klassexperimentet och lärarundersökningen presenteras i kapitel 5. De empiriska undersökningarnas placering i forskningsprocessen visas i figur 34. Klassexperimentet och undersökningen bland lärarna är oberoende av varandra och genomförs inte tidsmässigt samtidigt. Figuren anger endast vilka steg som ingår, givetvis med en viss tidsordning.

4.3.3 Validitet och etik i de empiriska undersökningarna

Begreppet validitet avser enligt Cook & Campbell (1979, s. 37) den bäst tillgängliga approximationen av sanningsenligheten i påståenden, inklusive påståenden om orsak. Enligt andra forskare anger validitet hur väl en datainsamlingsmetod mäter den variabel som man avser att mäta (Carlsson, 1997, s. 145) eller i vilken grad ett test eller ett forskningsinstrument verkligen mäter det som det förutsätts mäta (Wellington, 2000, s. 30). Validitet indelas i fyra slag: extern validitet, begreppsvaliditet, intern eller inre validitet och slutledningsvaliditet. Av validitetskategorierna diskuteras inte extern validitet eftersom valideringsprocessen i denna studie i huvudsak avser inre validitet och är en konfrontation mellan a priori- och a posteriori-analysen (se avsnitt 2.2). Den förberedande diskussionen om validitet baseras på Cook och Campbell (1979) och Trochim (2000). Särskilda hänvisningar görs inte överallt i texten förutom några undantag. Ordningsföljden på validitetskategorierna bestäms av i vilket skede kategorierna aktualiseras. Begreppsvaliditet handlar om operationalisering av den oberoende och den beroende variabeln, inre validitet är associerad till forskningens design och slutledningsvaliditet till analysprocessen.

Definition av begreppsvaliditet

Begreppsvaliditet[7] hos förmodade orsaker eller effekter avser den approximativa validiteten med vilken man kan göra generaliseringar om konstruktioner av högre ordning utgående från forskningsoperationer. Termen kan användas för att dra slutsatser om huruvida konstruktionerna anpassar operationer och begreppsdefinitioner till varanadra, dvs. huruvida man kan generalisera från en mängd operationer till referentkonstruktionen (Cook & Campbell, 1979, s. 38–39). Då man t.ex. hävdar att ett datorprogram eller mätningar som hänför sig till studiet

[7] Härnqvists (1966) och Carlssons (1997) översättning av ”construct validity”.

av dess funktion har begreppsvaliditet, vill man som forskare göra gällande att man förstår hur programmets och mätningarnas konstruktioner fungerar i teorin och vill göra anspråk på att kunna verifiera att de i praktiken beter sig på det sätt som man tror att de borde (Trochim, 2000). Begreppsvaliditet handlar om att det man gjorde i en studie är det som man ville göra och det som man observerade är det som man önskade observera. Begreppsvaliditet tillämpas på både den oberoende och den beroende variabeln.

Begreppsvaliditet kan enligt Trochim (2000) indelas i två huvudkategorier: översättningsvaliditet och kriterierelaterad validitet. Dessa innehåller i sin tur underkategorier. Översättningsvaliditet fokuserar på huruvida operationaliseringen reflekterar begreppen på ett bra sätt, vilket förutsätter att man har en detaljerad definition av begreppet och att man kan kontrollera operationaliseringen mot denna. Till denna validitetskategori hör omedelbar validitet[8] som handlar om huruvida operationaliseringen till det yttre ser ut att vara en god översättning av begreppet. Den andra underkategorin är innehållsvaliditet, som inbegriper att man kontrollerar operationaliseringen mot begreppets innehållsdomän. Detta förutsätter att man har en detaljerad beskrivning av innehållsdomänen. I den kriterierelaterade validiteten kontrollerar man operationaliseringens utförande mot något kriterium, dvs. hur operationaliseringen kommer att fungera på ett effektivt sätt baserad på den teori man har för begreppet. Underkategorier är prognostisk validitet, samtidig validitet, konvergerande validitet och diskriminerande validitet. Den prognostiska validiteten utvärderar operationaliseringens förmåga att förutse något som den teoretiskt borde kunna förutse. I samtidig validitet utvärderas operationaliseringens förmåga att skilja mellan grupper som den teoretiskt borde kunna skilja på. I konvergerande validitet undersöker man i vilken grad operationaliseringen är likadan som (konvergerar mot) andra operationaliseringar, som den teoretiskt borde likna. Slutligen undersöker man i diskriminerande validitet i vilken grad operationaliseringen inte är likadan som (dvs. divergerar från) andra operationaliseringar, som den teoretiskt inte borde likna.

Hot mot begreppsvaliditet

Ett hot mot begreppsvaliditet innebär att man vid operationaliseringen inte tillräckligt exakt har beskrivit och förklarat de väsentliga dragen i begreppet på ett sådant sätt att det tillåter forskaren att skräddarsy manipulationer och mätningar utgående från begreppsdefinitionen (*inadequate preoperational explication of constructs*) (Cook & Campbell, 1979, s. 64–68; Trochim, 2000). Man har inte gjort en tillräckligt bra operationell definition av begreppet. Ett annat hot har att göra med den oberoende variabeln, dvs. att man t.ex. använder en enda version av ett program på en enda plats vid en enda tidpunkt i stället för att variera programmet i antal och versioner (*mono-operation bias*). Ett liknande hot

[8] Översättning av ”face validity” enligt Bjereld, Demker och Hinnfors (2002).

(*mono-method bias*) gäller den beroende variabeln. Det är fördelaktigt att använda fler än en operationell representation av ett begrepp och att implementera multipla mätningar av ett nyckelbegrepp.

Människor deltar inte i ett forskningsprojekt på ett passivt sätt. De har ett intresse av att gissa sig till forskarens intentioner och baserar sitt beteende på en gissning av vad forskaren vill lära sig av sin forskning (*hypothesis-guessing within experimental conditions*), vilket då också blir ett hot. I de fall respondenter är ängsliga då de utsätts för utvärdering eller har en tendens att vilja göra ett fördelaktigt intryck kommer detta att inblandas i själva behandlingen (*evaluation apprehension*). Forskarens förväntningar, medvetna eller omedvetna, kan också vara en faktor som snedvrider resultatet av en studie (*experimenter expectancies*). I sådana fall förblir det oklart om det är behandlingen (manipulationen), såsom den är definierad, eller om det är forskarens förväntningar som är orsaken till de uppmätta effekterna.

Ett hot som kan vara svårt att kontrollera handlar om att diskreta nivåer av den oberoende variabeln påverkar den beroende variabeln på olika sätt, speciellt då manipulationerna har svag inverkan (*confounding constructs and levels of constructs*). Ett annat hot mot begreppsvaliditet uppstår i sådana fall där effekten av en given behandling i själva verket kan visa sig vara effekten av en kombination av flera behandlingar (*interaction of different treatments*). Också en upprepning av mätningar kan göra respondenterna mer känsliga och mottagliga för behandlingen och därmed påverka resultatet (*interaction of testing and treatment*). Slutligen finns ett hot mot begreppsvaliditet som innebär att behandlingarna påverkar de beroende variablerna på olika sätt, vilket innebär en positiv effekt på något begrepp och en oavsiktlig negativ effekt på ett annat (*restricted generalizability across constructs*).

Definition av inre validitet

Inre validitet avser den approximativa validiteten med vilken man kan dra slutsatsen att ett samband mellan två variabler är orsaksmässig eller att frånvaro av samband innebär frånvaro av orsak (Cook & Campbell, 1979, s. 37). En viktig fråga i sammanhanget är enligt Campbell och Stanley (1966, s. 5) följande: Gjorde den experimentella behandlingen i själva verket någon skillnad i detta specifika experiment? Inre validitet är relevant endast för den specifika studien i fråga och innebär att man har belägg för att det som man gjorde i studien framkallade det som man observerade (dvs. utfallet). Nyckelfrågan i inre validitet handlar om huruvida man kan fastställa ett orsakssamband i det aktuella projektet. Tre kriterier måste därför uppfyllas. För det första måste man vara medveten om en tidsordning, dvs. man måste visa att den förmodade orsaken inträffade före den förmodade effekten. Hur detta kriterium uppfylls behandlas i avsnitt 5.1 och 5.2. Det andra kriteriet handlar om att påvisa att man har någon form av samband, dvs. att två variabler samvarierar. Slutligen måste det tredje och svå-

raste kriteriet uppfyllas, dvs. att man kan påvisa att det inte finns alternativa förklaringar. Det får alltså inte finnas någon annan faktor eller variabel som bär ansvaret för förändringarna i utfallet och äventyrar den förmodade orsak-verkan-sambandet (Cook & Campbell, 1979; Trochim, 2000).

Hot mot inre validitet

Historia är ett hot som innebär att en observerad effekt beror av någon specifik händelse som inträffar mellan de olika testsituationerna. Ett annat hot är mognad, som innebär att en observerad effekt beror på att respondenten blir äldre, klokare, mer erfaren under tiden mellan testsituationerna. Det handlar om en effekt som härrör från alla de händelser som typiskt äger rum i livet under en tidsperiod, inte de händelser där man själv aktivt är den verksamma personen (detta syftar på hotet historia). Ett hot som hör ihop med själva testningen är att effekten föranleds av att deltagarnas respons mäts flera gånger i följd. Bekantskapen med ett test kan ibland förstärka utförandet eftersom testfrågor och felrespons har större sannolikhet att ihågkommas vid senare testtillfällen.

Mätinstrumentet utgör ett hot mot inre validitet om instrumentet förändras mellan testsituationerna. Det kan handla om en alternativ form av instrumentet, en förändring av skalor eller att en mänsklig observatör blir trött eller uttråkad, vilket försämrar observationerna – eller tvärtom – att observatören tack vare mer övning blir skickligare i att observera. Mortalitetshotet innebär i sin tur att försökspersoner faller bort under experimentets gång. Slutligen finns det ett hot som angår enkla, inte slumpmässigt valda försöksgrupper och som kallas statistisk regression mot medelvärdet. Detta statistiska fenomen innebär att det sker en ökning av poängvärdena från test 1 till test 2 för personer som i test 1 har låga poängvärden och en minskning av poängvärdena för dem som i test 1 har höga poängvärden. Detta fenomen är ett gruppfenomen, det är ett relativt fenomen och det kan inträffa vid successiva eller samtidiga mätningar av två variabler. Ju mer extrem försöksgruppen är och ju mindre korrelationen mellan variablerna är desto större är regressionen mot medelvärdet.

Vid design av experiment med kvasiexperimentella grupper måste forskaren göra varje hot explicit och utesluta dem ett och ett då inferenser görs om orsakssamband.

Definition av slutledningsvaliditet

Slutledningsvaliditet handlar om huruvida det finns ett samband mellan variabler och i vilken grad man kan komma till en rimlig slutledning om sambandet på basis av upptagna data. Då ett experiment utvärderas måste man fatta tre beslut angående samvariation (Cook & Campbell, 1979, s. 39) med hjälp av tillgängliga data: 1) Är studien tillräckligt känslig för att tillåta rimliga framställningar om samvariation? 2) Om den är tillräckligt känslig, finns det

något rimligt belägg för att man ska kunna dra slutsatsen att den förmodade orsaken och effekten samvarierar? 3) Om det finns ett sådant belägg, hur stark är samvariationen mellan de två variablerna? Vid utvärderingen av ett undervisningsprogram kan man t.ex. dra slutsatsen att det finns ett positivt samband mellan programmet och testresultatet. Slutledningsvaliditet betonar mer den statistiska signifikansen eftersom avgöranden om huruvida den förmodade orsaken och effekten samvarierar föregår avgöranden om styrkan i samvariationen (Cook och Campbell, 1979, s. 41). Slutledningsvaliditeten är väsentlig i diskussionen om huruvida sambandet är rimligt eller inte då data är givna, i synnerhet om sambandet är svagt (Trochim, 2000). I sådana fall förespråkar Cook och Campbell betydelsen av att använda analys av statistisk styrka (*statistical power analysis*) för att illustrera styrkan av den effekt som kan spåras för den givna sampelstorleken, den erhållna variansen och den valda signifikansnivån.

Hot mot slutledningsvaliditet

Brister i slutledningsvaliditeten kan leda till att man kommer till en felaktig slutledning om samband mellan de observationer man har. Man kan göra sig skyldig till två slags fel angående samband:

- man drar slutsatsen att det inte finns något samband fastän det finns (man missade den eller såg det inte)
- man drar slutsatsen att det finns ett samband fastän det i själva verket inte finns (man ser saker som inte finns där)

Enligt Trochim (2000) har de flesta hoten mot slutledningsvaliditet att göra med det första problemet (man missar nålen i höstacken). Det är ett problem som har att göra med ”signal–brusförhållandet”. Signalen är det samband som man försöker se och bruset består av alla de faktorer som gör det svårt att se sambandet. Ett exempel på en sådan faktor är låg reliabilitet i mätningen. Det handlar då om bristfälligheter i mätningens kvalitet såsom vaga formuleringar av frågor, illa gjord design eller layout på mätinstrumentet, oläsliga anteckningar eller slumpmässiga fel som t.ex. hör ihop med försökspersonernas humör vid testtillfället. Ett annat hot är svag reliabilitet i implementeringen av behandlingen. Det kan då handla om att behandlingen (eller programmet) inte följer föreskrivna procedurer eller är inkonsekvent genomförd. Ett hot som har att göra med t.ex. olika slag av störande faktorer vid experimenttillfället går under benämningen slumpmässiga irrelevanser i experimentuppsättningen. Slumpmässig heterogenitet bland respondenter är ett hot som har att göra med individuella differenser mellan de personer som deltar i experimentet. Hotet har inte direkt att göra med det observerade sambandet. Ett hot som har att göra med själva ”signalen”, dvs. sambandets styrka, är huruvida det har låg statistisk styrka. Sannolikheten att dra en oriktig slutsats om ”icke-skillnad” (ett fel av typ

II) ökar när sampelstorleken är liten och signifikansnivån är satt till ett lågt värde (Cook & Campbell, 1979, s. 42).

Ett hot som är associerat till det andra problemet ovan, att man drar slutsatsen att ett samband existerar fast det inte gör det (ett fel av typ I), består i att man gärna vill ”fiska” efter specifika resultat som stöder eller bekräftar hypoteserna. Hotet ökar om man gör en mångfald jämförelser av differenser av medelvärden. Slutligen föreligger ett hot om man bryter mot de antaganden som gäller statistiska test. Exempelvis kan man felaktigt anta att data är normalfördelade.

Validitet och etik i kvalitativa fallundersökningar

Validitet i kvalitativa metoder beror i stor utsträckning på forskarens skicklighet, kompetens och noggrannhet eftersom observatören själv är instrumentet. Också en intervjusituation involverar observationer, som består i att forskaren kan läsa icke-verbala budskap, är känslig för hur intervjusituationen kan påverka vad som sägs och omsorgsfullt anpassar sig till nyanserna i interaktionen mellan intervjuaren och intervjupersonen (Patton, 1987, s. 12–13). Enligt Kvale (1997, s. 214) avser validiteten ”tillförlitligheten hos intervjupersonens rapporter och kvaliteten hos själva intervjuandet, i vilket bör ingå att ifrågasätta meningen i det som sägs och ständigt kontrollera den erhållna informationen”. Vid kvalitativa fallundersökningar inom det pedagogiska området måste forskaren kunna ”presentera resultat och insikter som verkar vara riktiga för läsaren, andra forskare och lärare” (Merriam, 1994, s. 174). Detta fungerar bäst genom att studera undersökningens komponenter och vara uppmärksam på de ”grundläggande begreppen i undersökningen och på hur man samlat in, analyserat och tolkat informationen” (Merriam, 1994, s. 175). Enligt Patton (1987) finns det två aspekter på frågan om att ha tilltro till analysen av data:

> First, the evaluators analyzing the data must determine how much confidence to place in their own analysis. Second, the data analysis must be presented to stakeholders in such a way that they can verify and validate the findings for themselves (p. 159).

Slutledningsvaliditet har ursprungligen varit en fråga om statistisk inferens, men är enligt Trochim (2000) också relevant i kvalitativ forskning. Slutledningen måste i detta fall helt och hållet dras utgående från data som baserats på egna intryck, men man måste ändå fråga sig huruvida det är en rimlig slutledning att det förekommer ett samband på basis av observationerna. Till exempel kan en intervjuare förutsätta att respondenten fritt kan säga det som han önskar. Om respondenten känner ett indirekt tryck på sig att svara på ett visst sätt kan man i responsen felaktigt se sådana samband som inte finns där eller gå miste om dem som verkligen finns (Trochim, 2000).

Beträffande säkerställandet av den inre validiteten finns det enligt Merriam (1994, s. 179–180) ett antal grundläggande strategier. Den första handlar om

triangulering, som innebär att flera forskare, flera informationskällor eller flera metoder används för att bekräfta resultaten. En annan strategi innebär att man kontrollerar sina tolkningar med undersökningspersonerna eller att de själva får granska materialet. Validiteten i resultaten ökar också om forskaren observerar situationen eller miljön under en längre tid eller upprepar observationer av samma företeelse. Slutligen kan man låta kolleger kommentera och ge synpunkter på resultaten. Forskaren kan själv försöka komma underfund med vilka skevheter han riskerar att föra in i undersökningen.

Wolming (1998) hävdar att validitet numera har blivit ett mer komplext och övergripande begrepp. Från att tidigare ha fokuserat på ”enkla och okomplicerade korrelationer mellan prediktor- och kriterievariabler” (s. 81) har man nu börjat fokusera mer på ”hur mätningarna kan förklara och skapa förståelse för det som mäts” (s. 96). Validering har mer blivit en fråga om att ”kritiskt granska de resultat man erhåller i samband med mätningen” (s. 92). Wolming, som baserar sin översikt av validitetsbegreppets utveckling på relevant och representativ psykometrisk litteratur, vill visa att begreppet är giltigt för både kvantitativ och kvalitativ forskning. Exempelvis kan intervjuer förtydliga och stöda tolkningar i samband med kvantitativa mätningar (s. 98).

Forskning måste genomföras på ett etiskt acceptabelt sätt, så att forskaren tar ansvaret ”från det att man formulerar en frågeställning till att man publicerar resultaten” (Merriam, 1994, s. 194). Sådana frågor gäller forskarens engagemang i frågeställningar och den studerade situationen, huruvida forskningen görs konfidentiellt och hur anonymitet och offentliggörande av resultaten verkställs (s. 189–190). I en intervjusituation måste den intervjuade ha klart för sig att tystnadsplikt råder. Vid intervjun uppstår en tillfällig gruppsituation, som innebär att den intervjuade känner att det är oartigt att inte svara, trots att han också har rätt att låta bli. Vid redovisning av data och analys är det självklart att den görs konfidentiellt. Den intervjuade och dennes integritet måste respekteras (Trost, 1997, s. 93–95). Enligt Trost vållar det inget problem om den intervjuade känner igen sig själv, men andra ska inte kunna känna igen den intervjuade.

Validitetsfrågor i föreliggande studie

Begreppsvaliditet handlar i denna studie om att generalisera dels från PDRac-verktyget och implementeringarna i de didaktiska situationerna, dels från mätningarna, dvs. av uppfattningarna av effektivt lärande, till motsvarande referentkonstruktioner. I denna studie tillämpas begreppsvaliditet på operationaliseringen av både den oberoende och den beroende variabeln. En pilotstudie är ett viktigt steg i utvecklingen av begreppskonstruktionerna så att definitionerna är klara och i överensstämmelse med allmän förståelse av de ord som används. Den pilotstudie som har föregått denna studie har därför på ett avgörande sätt förenklat, förbättrat, specificerat och fokuserat innehållet i påståendena i klass-

experimentets enkät. Samma sak gäller preciseringen av operationerna i de didaktiska situationerna och utvecklingen av handledningsinstruktionerna.

För att undvika hotet *mono-operation bias* kan man introducera multipla versioner av programmet. Hur variationen i PDRac-verktyget, handledningsmaterialet och utformningen av *de didaktiska situationerna* (den oberoende variabeln) genomförs har presenterats i avsnitt 4.2. För att undvika hotet *mono-method bias* borde man använda flera metoder för att titta på ett specifikt begrepp. Genom att implementera multipla mätningar av nyckelkonstruktionen *uppfattning av effektivt lärande* (den beroende variabeln), som består av sju indikatorer i såväl klassexperimentet som lärarstudien (se avsnitt 3.5 och 4.3.1), kan man åstadkomma högre begreppsvaliditet. De operationaliserade påståendena ska fånga upp det som finns inom eleven eller läraren i relation till de valda indikatorerna (subkonstruktionerna). Att som forskare besluta sig för ett test med en egen repertoar av variabler och indikatorer ger ingen garanti för att respondenterna klarar av att komma underfund med vad som egentligen frågas efter. Resultatet kan bli en gissning och kan dessutom påverkas av andra faktorer än dem som forskaren försöker inringa.

Interaktionshotet handlar för det första om interaktion mellan olika behandlingar, dvs. att eleverna deltar i andra aktiviteter som kunde påverka resultatet. Det kan då gälla att elever ofta sitter vid datorer och har allmän förtrogenhet med dem eller att vissa elever passar på att öva extra med PDRac-verktyget. För det andra handlar det om interaktion mellan testning och behandling. Om eleverna får ett pre-test ökar det medvetenheten och känsligheten. Handledningssituationen, som behövs för att introducera PDRac-verktyget för eleverna, och efterföljande testning (som inte ingår som del i denna studie) kan göra eleverna känsligare och mottagligare för de tre följande didaktiska situationerna.

De sociala hoten mot begreppsvaliditeten gäller t.ex. intervjuerna. Eleverna, som är bekanta med forskaren (deras lärare), kan försöka komma underfund med vad forskningen handlar om, så att de baserar sitt beteende på gissningar om syftet med studien. Andra kan vara känsliga för att bli intervjuade, vilket gör att de presterar sämre än normalt. En ovan intervjuare kan själv också på många sätt åstadkomma skevheter i resultatet.

I det följande behandlas frågor som gäller inre validitet. Det hot som kan knytas till historia kan bestå i att en del av eleverna övar på PDRac-verktyget mellan de didaktiska situationerna och därmed skaffar sig en större vana i att använda verktyget jämfört med de elever som inte avsätter extra tid på det. Mognad kan bli ett hot och påverka elevernas respons ifall det förflyter en lång tid mellan de enskilda didaktiska situationerna eller mellan klassexperimentet och intervjusituationen. Testningshotet, dvs. att en didaktisk situation påverkar mätresultatet i den följande, kan motverkas genom att frågetexten varieras så att eleverna inte

känner igen påståendena från föregående test. Man kan införa variationer i påståendena genom att t.ex. använda olika ordalydelser, negationer, olika ordningsföljd och blanda påståendena för de olika indikatorerna med varandra. Denna förändring i mätinstrumentet kan i sig också vara ett problem i den meningen att en negation av ett påstående eller en dåligt formulerad text kan missuppfattas.

Trötthet efter en stor koncentration i de didaktiska situationerna och kort tid för ifyllande av frågeformuläret kan vara ett validitetshot. Mortalitetshotet kan motverkas genom att poängtera betydelsen av att alla elever deltar i samtliga didaktiska situationer. Den statistiska regressionen mot medelvärdet sker alltid då man har två mätningar som korrelerar ofullständigt (Trochim, 2000). Denna effekt kan vara betydande i studien eftersom eleverna först deltar i en handledningssituation och därefter i tre till experimentet hörande didaktiska situationer, alla med efterföljande mätningar av elevernas uppfattning av effektivt lärande.

Trianguleringen, som tenderar att förstärka den inre validiteten, består i denna studie av att elevernas uppfattningar mäts dels genom enkät, dels genom intervju. Ett hot som avser intervjusituationen består i att intervjuaren med tiden blir vanare och utvecklar sin intervjuteknik så att han får ut mer ur de sista intervjuerna jämfört med de första. Forskaren medverkar dessutom som deltagande observatör i klassexperimentet, dvs. ”forskarens aktiviteter som observatör är kända för gruppen”, men ”forskarens delaktighet i gruppen är sekundär i förhållande till uppgiften att samla in information” (Merriam, 1994, s. 106). En central komponent i designen är lärarstudien, vars resultat kan användas för validering av elevstudien och vice versa. Dessa parallellstudier kompletterar varandra.

Samvariation mellan den oberoende och den beroende variabeln är ett nödvändigt villkor för att kunna dra slutsatser om sambandet mellan orsak och verkan. En viktig fråga i denna studie är alltså huruvida man kan upptäcka ett orsakssamband från variabeln didaktiska situationer (den manipulerade variabeln) till variabeln uppfattning av effektivt lärande (den uppmätta variabeln) och utesluta andra orsaker till sambandet. Det finns förebyggande åtgärder som kan öka validiteten i studien. En sådan åtgärd består i att variera svårighetsgraden på de tre didaktiska situationerna (den oberoende variabeln), dvs. man förstärker ”signalen”. Implementeringen ska göras på ett bra sätt, bland annat genom att ”standardisera protokollen för administrering av programmet” (Trochim, 2000). I avsnitt 4.2.2–4.2.4 redogörs för den oberoende variabeln. Det framkommer att svårighetsgraden ökar från en didaktisk situation till följande. Det som emellertid skiljer implementeringarna från varandra är att eleverna i de två första didaktiska situationerna jobbar parvis, medan de i den sista jobbar enskilt. Dessutom är verktyget i den sista didaktiska situationen, utvärderingssituationen, en modifierad version av det som används i de två

första. Detta kan förorsaka en ökning av variansen och minska möjligheterna att påvisa verkliga skillnader. En del av eleverna kan bli mer påverkade av testsituationen än andra. Exempelvis kan olikheter i elevernas datorkunskap, ängslan för att göra fel vid datorhanteringen eller ointresse för datorer fokusera eleven på andra faktorer än den fysik som representeras av PDRac-verktyget. Ytterligare kan förmåga eller intresse att samarbeta i elevparen påverka möjligheterna att dra slutsatser.

Beträffande själva mätningen av uppfattningen av effektivt lärande (den beroende variabeln) kan man öka reliabiliteten genom att konstruera ett bra mätinstrument, ha ett stort antal frågor och minska situationsdistraktioner i mätkontexten. Slutligen kan man öka risken för fel av typ I. Ett större värde än $\alpha = 0{,}05$ är dock inte att föredra (jfr Cook & Campbell, 1979, s. 42–44; Trochim, 2000). I klassexperimentet måste man acceptera att samplet är litet, eftersom den undervisade gruppen har en fastställd storlek. I lärarstudien kan man däremot försöka motivera lärarna att verkligen genomföra testningen av PDRac-verktyget och bredvidmaterialet på föreskrivet sätt och fylla i enkäten. Genom att skicka nya påminnelser kan man eventuellt öka antalet respondenter bland lärarna.

4.4 A priori-analys och hypoteser

Efter att de globala och lokala valen har gjorts kommer det didaktiska ingenjörsarbetet in i ett skede som kallas a priori-analys. Syftet med a priori-analysen av didaktiska situationer är att förutse hur eleven reagerar på situationerna. I forskningen fokuseras analysen vanligen på de adidaktiska komponenterna av den didaktiska situationen. Analysen omfattar en deskriptiv del, som presenterar situationens syfte, de didaktiska val som gjorts på den lokala nivån (i allmänhet sammankopplade med globala val) och situationens resulterande karakteristika. Sedan följer en prediktiv del, där man i enlighet med beskrivna karakteristika försöker klarlägga de utfall som situationen framkallar för eleven, de slag av beteenden som förväntas uppstå och den betydelse som kan ges åt dem (Artigue & Perrin-Glorian, 1991, s. 14). Essensen av dessa prediktioner sammanfattas slutligen och framläggs som hypotes. Artigue (1992) beskriver a priori-analysen så:

> The aim of the a priori analysis is thus to determine in what way the choices made permit one to control the behaviour of the pupils and their senses. In order to do this, the analysis is founded on hypotheses and it is these hypotheses whose validation will be indirectly at stake ... in the confrontation between a priori and a posteriori analysis.
>
> Traditionally this analysis which comprises a descriptive and a predictive part is an analysis centred on the characteristics of an “a-didactic” situation which we wish to constitute and whose devolution we will try to leave to the pupils:

> – we describe the choices made at the local level (possibly later relating them to global choices) and the characteristics of the "a-didactic" situation which ensues.
> – we analyse what may perhaps be at stake in this situation for the pupil, as a function in particular of the possibilities of action, of choice, of decision, of control and of validation at his/her command, once the devolution has occurred, in a situation almost independent of the teacher;
> – we predict the range of possible behaviours and we try to show in what way the analysis carried out allows us to control their meaning and to ensure, in particular, that the expected behaviours, if they occur, are the results of the workings of the knowledge which is the target of the learning (s. 52)

Ovanstående tillvägagångssätt tillämpat på elev- och lärarstudien innebär följande:

- De lokala valen har i detalj beskrivits i avsnitt 4.2. En precisering och analys av de olika didaktiska situationerna, som består av ett antal problemsituationer och för elevernas del innehåller adidaktiska situationer, har gjorts i avsnitt 4.2.2–4.2.4. I analysen, som gjorts med hjälp av ett didaktiskt analysverktyg, karakteriseras de faser som eleven står inför (se avsnitt 4.1.3, tabell 4 och figur 25).
- I den deskriptiva delen av följande avsnitt (4.4.1) analyseras sedan dessa situationer sammanfattningsvis med beaktande av vilka möjligheter PDRac-verktyget ger eleverna i fråga om att handla och att välja, besluta om, kontrollera och validera åtgärder.
- I den prediktiva delen av avsnittet förutses elevernas beteende i termer av indikatorer på effektivt lärande som beskrivits i avsnitt 3.5 (se också avsnitt 4.3). Med andra ord försöker jag förutse vilka elevernas förväntade beteenden är, då de är verksamma i de olika adidaktiska situationerna i växelverkan med PDRac-verktyget och den miljö de befinner sig i under lärandeprocessen. Dessa förväntade beteenden sammanfattas i hypoteser, som inte ska betraktas som sådana i sträng bemärkelse. De ska betraktas som antaganden som uttrycker motiverade förväntningar.
- Lärarna måste i sin verksamhet ta ställning till frågor på den makrodidaktiska nivån i huvudsak. De globala valen som behandlats i avsnitten 4.1.1–4.1.4 utgör därför utgångspunkt för lärarnas ställningstagande visavi uppfattning om effektivitet i lärandeprocessen. Eftersom de också gör sig bekanta med de didaktiska situationerna på mikrodidaktisk nivå i form av elevernas övningsmaterial kommer detta att påverka deras uppfattningar. I avsnitt 4.4.2 görs den a priori-analys som är kopplad till lärarstudien.

4.4.1 PDRac-verktyget i didaktiska situationer och elevers uppfattning av effektivt lärande

Utgångsläget för eleverna är att de har tillgång till ett PDRac-verktyg som har en potential att hjälpa dem att närmare undersöka en RLC-krets, variera fysikaliska

parametrar i kretsen och förstå de förlopp som sker. Elevens handlingsschema (se avsnitt 2.1) bygger upp den didaktiska situationen[9]. Utgående från designen av PDRac-verktyget och den aktuella frågeställningen kan elevens handlingsschema byggas upp av faser, som beskriver interaktionen med miljön. I denna miljö spelar PDRac-verktyget en väsentlig roll och hjälper honom att konstruera en representation av situationen. Elevens föreställningar och kunskaper kan påverkas av den kvalitativa och kvantitativa representationen av kunskap.

A priori-analysens deskriptiva del i den didaktiska situationen ***övning***

Syftet med övningssituationen är att *eleverna ska studera kända begrepp och fenomen i växelströmsläran med hjälp av PDRac-verktyget och göra sig bekanta med ett mer kvalitativt angreppssätt i lärandeprocessen.* Eleverna befinner sig i problemsituationer, där de aktuella fenomenen och begreppen nu ses i ett delvis nytt perspektiv jämfört med undervisningen i klass. De olika problemsituationerna har grundligt analyserats i avsnitt 4.2.2 (se också bilaga 3 och 6). Det är viktigt att framhålla att de beskrivna faserna och deras ordningsföljd i de olika problemsituationerna är en hypotetisk väg genom övningsmaterialet ur elevens synvinkel sett. Faserna beskriver i varje enskilt fall *en* möjlig väg genom den didaktiska situationen och grundar sig på det syfte jag har med produktionen av PDRac-verktyget. Trots att eleverna inte nödvändigtvis går igenom alla faser eller tar faserna i den ordningsföljd som beskrivits kommer dock instruktionsmaterialet att styra eleven genom de flesta av dem. I denna a priori-analys behandlas den första problemsituationen mer detaljerat, medan resten beskrivs kort utgående från kärnpunkterna i situationen. Detta förfarande har valts för att undvika upprepningar.

Problemsituation 1. Syftet med denna situation är att *eleven ska undersöka en rent induktiv växelströmskrets och relatera kretsens egenskaper och funktion till självinduktionsfenomenet och dess lagar.*
De tre första faserna utgör inledningen till interaktionen mellan eleven och PDRac. Inmatningen av utgångsdata från övningsmaterialet och studium av utgångsläget som resultat av inmatningen ger grunden för fortsatt handlande. Efter dessa inledande faser följer en sekvens av faser, som upprepas tre gånger, varje gång med ett något förändrat perspektiv. Första sekvensen, från fas 4 till fas 7, baseras på en fråga i handledningsmaterialet, som också ger indikation om vad som ska göras, dvs. att ändra induktansen. Eftersom induktansen är inställd till ett lågt värde är det sannolikt att eleven *ökar* värdet ett antal gånger i följd.

[9] Ordet *situation* har olika betydelser i texten. Eleven befinner sig i en *didaktisk situation* eller, i vidare bemärkelse, en kombination av omständigheter eller tillstånd, som har initierats av läraren i avsikt att undervisa. I detta fall omfattar det en lektion, som har ett specifikt syfte. Denna didaktiska situation är uppdelad i ett antal *problemsituationer*, 1, 2, osv. När dessa situationer genomarbetas av eleverna, kommer de att hamna i *adidaktiska situationer*, i vilka läraren avstår från att ingripa och från att antyda den kunskap som läraren önskar se uppenbara sig (jfr Brousseau, 1997).

PDRac svarar på elevens handling genom att förändra numeriska och grafiska utdata parallellt. Denna visuella respons ger eleven möjligheter till kvalitativa föreställningar om vad som inträffar och varför, och han kan eventuellt dra de första slutsatserna om induktansens inverkan på strömstyrkans tidsderivata och spänningen över spolen.

I detta skede kan eleven själv besluta om fortsättningen. Ska han gå vidare i handledningen eller ändra på induktansen i motsatt riktning, dvs. minska den? I scenariot beskrivs det senare alternativet i faserna 4_2–7_2. Eleven får i detta fall en bekräftelse på att förloppet är reversibelt, eller de storheters värden, som i faserna 4_1–7_1 ökade kommer nu att minska och vice versa.

I faserna 4_3–7_3 har eleven avancerat framåt i handledningen och står inför en ny frågeställning, vars avsikt är att komplettera uppgiftens första frågeställning och elevens egna frågeställningar. Då eleven har gått igenom dessa faser har hans begreppsbildning kring induktans, den hastighet varmed strömstyrkan ändras och spänning över spolen förhoppningsvis klarnat i ett kvalitativt perspektiv och han är mogen att gå vidare till kvantitativa aspekter av den studerade situationen. I fas $4_1 \rightarrow 7_1$, fas $4_2 \rightarrow 7_2$ respektive fas $4_3 \rightarrow 7_3$ förväntas elevens handling gå från procedurkunskap via en implicit modell av val och beslut till en formulering som innehåller en relativt detaljerad beskrivning av strukturella element (jfr bilaga 1).

Frågan, som inleder fas 8, fokuserar på situationens syfte: att förklara självinduktionsfenomenet i en rent induktiv växelströmskrets utgående från elevens tidigare kunskaper om självinduktion i en spole samt de inledande faserna i interaktionen med PDRac. De kvalitativa föreställningarna leder till en kvantisering i form av en ekvation, som ger sambandet mellan induktans, strömstyrkans tidsderivata och spänning över spolen. En närmare studie av händelseförloppet under en halvperiod leder till resonemang, som anknyter till begreppen motriktad elektromotorisk spänning och fasförskjutning. Fas 8 kunde motsvara en formuleringssituation, som har kontrollerats av handlingssituationer, och utmynnat i en redovisning av egenskaper och samband. En experimentell verifiering av de hittills erhållna resultaten anknyter också fasen till en valideringssituation (bilaga 1).

I fas 9 relateras sedan den erhållna kunskapen till de lagar som beskriver fenomenet självinduktion i en sluten strömkrets. I fas 10 verifieras resultatet genom en noggrann analys av händelseförloppet under en period, indelad i enskilda kvartsperioder, och avslutas med en slutsats om de lagar som reglerar effekterna i systemet induktiv växelströmskrets. Valideringssituationen ligger på nivån av explicit kunskap.

Problemsituation 2a och 2b. I denna problemsituation är syftet att *eleven ska undersöka momentanstorheter i en RLC-krets och de lagar som gäller för dessa*

samt förklara kretsens fysikaliska tillstånd med avseende på de enskilda komponenterna vid olika tidpunkter.

Eleverna kan utnyttja både grafiska och numeriska representationer, de senare för att precisera avläsningar i graferna. En eventuell nackdel är att man inte kan ha fyra grafer samtidigt på dataskärmen för att kunna jämföra totalspänningen med alla delspänningar samtidigt. PDRac ger möjlighet till en snabb bekräftelse av att momentanspänningar kan adderas för att ge totalspänningen, men att samma inte gäller för effektivspänningar. Detta är ett faktum som nästan förbigås i den traditionella undervisningen och som förorsakar missuppfattningar hos elever. Eleven får en bekräftelse på att delspänningarna över spolen och kondensatorn alltid är fasförskjutna 180° i förhållande till varandra. Potentialen i varje punkt i kretsen fås genom att starta i jordpunkten D och sedan addera spänningarna (med sina tecken) då varje komponent passeras i riktning från jordpunkten. Kirchhoffs lagar kan bekräftas på ett kvalitativt sätt. I denna problemsituation får eleven en överblick över den komplexitet som kännetecknar en växelströmskrets. Komplexiteten är dock möjlig att överblicka, eftersom man kan studera en komponent åt gången och genom resonemang sammanfatta samverkan mellan de olika fenomenen.

Problemsituation 3. Situationen syftar till att *eleven ska undersöka en RLC-krets med avseende på impedans i rent resistiv, rent induktiv och rent kapacitiv krets samt kretsar med olika kombinationer av komponenterna resistor, spole och kondensator. Sambandet mellan impedans och reaktanser, komponenternas egenskaper samt frekvens undersöks kvalitativt medan undersökningen görs kvantitativt för kretsar med endast en komponent.*

I de enkla kretsarna med en komponent (resistor, spole eller kondensator) ger PDRac-verktyget direkt respons på elevernas aktiviteter. Genom att studera numeriska utdata kan eleverna se proportionaliteter och omvända proportionaliteter med avseende på reaktanser (och impedans) och med avseende på de storheter (R, L, C) som karakteriserar komponenterna. En kvantisering av sambanden är möjlig för de enkla kretsarna, men metoden att göra detta på basis av numeriska data är ovanlig för eleverna. Ett problem utgör i detta avseende konstanten 2π, speciellt i fallet med den rent kapacitiva kretsen, där konstanten finns i uttryckets nämnare. Däremot är det kvalitativa resonemanget lämpligt och kommer i förgrunden, då en kombination av komponenter från en till tre stycken förorsakar en stegvis ökning av komplexiteten i kretsens funktion. Problemsituationens slutskede, där alla tre växelströmsmotstånden är inkopplade, förbereder eleven för följande didaktiska situation (begreppsintroduktion).

A priori-analysens prediktiva del

Förväntningarna på elevernas beteende beskrivs mot bakgrund av den beroende variabeln *uppfattning av effektivt lärande*, som har operationaliserats i avsnitt 4.3.1. Här analyseras a priori det som står på spel för eleverna i de didaktiska situationerna i termer av de indikatorer som konstruerar variabeln i fråga. Resonemanget grundar sig på de teorier som presenterats och refererats i de preliminära analyserna i kapitel 3.

Elevens *inre motivation* visavi den aktuella lärandemiljön handlar om att eleven har en inneboende önskan om och en nyfikenhet på att lära sig något nytt, något som utgör ett komplement till den sedvanliga undervisningssituationen i klassmiljön. Eleven vill eventuellt frivilligt delta i aktiviteter med PDRac-verktyget. Aktiviteterna ger honom möjligheter att hantera sitt eget lärande utan att han har andra avsikter än att se det intressanta och personligen meningsfulla i miljön. Dessa aktiviteter utgör en viktig del i den personliga färdighetsutvecklingen. Elevens *yttre motivation* regleras förmodligen traditionellt till en del av lärarens och skolans krav att delta i undervisningen. Påverkande faktor är också elevens egen önskan att delta i undervisningen för att klara sig bra i den planerade utvärderingen, vars utfall beror av lärandet i de två första didaktiska situationerna. Att kunna använda ett datorbaserat verktyg i fysikundervisningen med sikte på framtida studier och arbete kan vara ett argument som ligger bakom elevernas ställningstagande. Motivationen att försöka lära sig mer om RLC-kretsens funktion antas vara hög och inte enbart influerad av lärarens intentioner, av det kommande provet eller av kursvitsordet.

Elevens *intresse* för en annorlunda lärandesituation kan vara känslo- eller värderelaterat. Aktiviteter med ett datorbaserat verktyg kan åstadkomma positiva eller negativa känslor, men kan också bidra till att eleverna uppfattar att verktyget är viktigt för deras personliga utveckling och kompetens. PDRac-verktyget kan eventuellt genom sina inneboende kognitiva och sensoriska stimulationsegenskaper fånga elevernas intresse. För de elever som uppfattar meningsfullheten i aktiviteterna och möjligheten till engagemang som aktiva deltagare i lärandeprocessen kan intresset hållas kvar. *Attityden* till fysikämnet och till arbete med datorer kan delvis bestämma deras beteende i lärandesituationen.

I en didaktisk situation med PDRac-verktyget kommer eleven mer eller mindre av nödtvång att tidvis vara överlämnad åt sig själv. För det första är syftet med dessa s.k. adidaktiska situationer just att eleven på egen hand ska undersöka fysikaliska begrepp och storhetssamband. Å andra sidan har läraren inte reella möjligheter att kontinuerligt hinna vara eleverna till hjälp. En delegering av *ansvaret* för lärandeprocessen i de adidaktiska situationerna sker på lärarens initiativ. Eleven måste emellertid samtidigt acceptera denna överlåtelse av ansvaret och foga sig i detta i sin lärandeprocess. Eleverna tar därför gärna över

ansvaret att försöka lära sig det planerade stoffet. Ett tydligt ansvarstagande antas karakterisera situationen.

Datorbaserad undervisning, som flyttas från klassrummet till datasalen, medför en omfördelning av *kontrollen* av handlingar och skeenden i didaktiska situationer, där eleven, läraren och lärandemiljön (PDRac-verktyget, handlednings- och övningsmaterialet och andra elever) är de påverkande komponenterna. Ombildningen av traditionella undervisningssituationer till lärandesituationer i den ovan definierade miljön överför också kontrollen till eleven. I PDRac-miljön antas eleven genom egen ansträngning och förmåga vara aktiv i processen att inhämta kunskap, bygga på förståelse och förvärva insikt i växelströmslärans begreppsvärld. Genom sin personliga kontroll av händelseförloppen i PDRac kan eleven bestämma tempo, svårighetsgrad och typ av övningar i adidaktiska situationer med enklare innehållsstruktur. Eleven får hjälp i strukturering av lärandeprocessen via handledningsmaterialet. Övriga yttre kontrollfaktorer är andra elever och läraren, som träder till vid behov för att hjälpa eleven att komma över svårigheter. De flesta eleverna har en daglig kontakt med datorer och olika program, varför verktyget PDRac torde kännas relativt lätt att hantera. De förväntas därför få en känsla av att de kan styra och kontrollera sina aktiviteter med PDRac och påverka utfallet av aktiviteterna. Eleverna bestämmer över sitt lärande. Detta är dock den första didaktiska situation, i vilken eleverna själva ska ta hand om sitt lärande. En viss osäkerhet kan därför infinna sig hos eleverna, då de befinner sig i adidaktiska situationer. En av de osäkerheter som kan uppstå beror på att eleverna önskar mer hjälp och handledning av läraren. För läraren är det relativt svårt, dels att hinna med alla elever, dels att snabbt sätta sig in i de faser eleverna råkar befinna sig i. Undervisningssituationen är de facto lika ny för läraren som för eleverna. Ett annat slag av osäkerhet har att göra med att frågorna är öppna; eleverna kan inte kontrollera lösningen på uppgifterna genom ett traditionellt facit.

Elevers *prestationer* grundar sig på att de kan konstruera meningsfulla kunskaper. Detta är ett resultat av meningsfullt lärande, dvs. att eleverna kan memorera det de lärt sig och att de kan integrera ny kunskap med existerande kunskap. Kunskap i form av t.ex. begrepp och principer i växelströmsläran utgör en grund för att bygga upp förklaringsstrukturer som hjälper eleverna att konstruera förklaringar som kännetecknar förståelse. Med stöd av begreppsbaserade kvalitativa resonemang hjälper denna förståelse av begrepp och principer eleverna att prestera lösningar av problem genom att tillämpa centrala idéer. Vid fysikdemonstrationer är det oscilloskopet som ger en visuell upplevelse av funktionen hos en RLC-krets. Därutöver ska ett antal statiska grafer av tidsförlopp analyseras under traditionella lektioner. I denna PDRac-miljö får den visuella upplevelsen av växelströmskretsens funktion ett tillskott genom att eleven ser både numeriska och grafiska utdata parallellt med varandra. Elever antas prestera mer då de har en visuell bild av händelseförloppet i en RLC-krets på dataskärmen. Dynamiken, som de själva kan styra, skapar förutsättningar för

att associera deras aktiva handlingar till de fysikaliska effekterna i kretsen. Genom att data representeras parallellt i både numerisk och grafisk form ska de kunna konstruera meningsfull kunskap om RLC-kretsens funktion, relaterad till de begrepp och lagar som varit föremål för lärande under kursens gång. En skiss av RLC-kretsen och möjligheten att utnyttja dynamiken i framställningen förutsätts förstärka den visuella upplevelsen, vilket ger betydelse åt tidigare förvärvad kunskap. Eleverna förväntas uppleva att de kan konstruera meningsfull kunskap.

Instrumentell förståelse, överförd till lärandeprocessen med PDRac-verktyget, innebär att eleven ska kunna följa de givna instruktionerna, klicka på knappar, mata in och ändra värden på storheter och avläsa resultatet av åtgärderna. Det handlar mest om ett mekaniskt manipulerande av de kontroller som associeras till de fysikaliska storheterna i modellen och deras olika representationsformer utan att eleven nödvändigtvis förstår de underliggande fysikaliska sambanden. Denna instrumentella förståelse är givetvis en viktig förutsättning för den *relationella förståelsen* som hjälper eleven att förstå hur de fysikaliska begreppen hänger samman, hur och i vilken riktning en förändring av en storhet påverkar andra storheter och varför detta sker. Genom att länka samman olika effekter som eleven kommer underfund med i arbetet med PDRac-verktyget och koppla dem till sina egna förkunskaper bör eleven komma fram till en vidare förståelse av de fysikaliska sambanden och en större helhetsbild av fenomenen i växelströmsläran. Emellertid behöver det inte betyda att eleverna i detalj förstår de bakomliggande orsakerna till de effekter som uppenbaras på datorskärmen. Trots att eleverna vet hur de ska göra och eventuellt kommer underfund med att t.ex. spänningen över spolen är produkten av induktansen och strömstyrkans tidsderivata, är det inte självklart att alla elever kommer på att relatera begreppen till varandra och till tidigare kunskap om induktionsfenomenet.

För eleverna kan denna PDRac-miljö vara en källa till glädje och njutning i lärandeprocessen, en *tillfredsställelse* som förstärks av att de kan fullfölja lärandet av komplicerade fysikaliska samband. Utlokaliseringen av undervisningen till dataklassen och till en unik lärandesituation förväntas ge eleverna en positiv tillfredsställelse och befrämja deras intresse för lärande. Den nya lärandesituationen med ett nytt datorverktyg har en potential att skapa lägen, där eleven plötsligt får en aha-upplevelse, en känsla av att ha kommit på något som han inte tidigare hade upptäckt. Då detta sker kan man utgå från att eleven känner glädje över upptäckten. Den obeprövade, nya situationen kan emellertid leda till att eleverna glömmer att planera den tillbudsstående tiden i sin helhet och inte hinner slutföra en del uppgifter. I en sådan situation kan känslan av tillfredsställelse minska. Syftet är inte heller att alla elever ska hinna genom samtliga uppgifter. I allmänhet har eleverna dock den inställningen att alla uppgifter som föreläggs dem ska genomföras.

Sammanfattningsvis kan man således anta att en elev uppfattar lärandeprocessen som effektiv i betydelsen att han är motiverad och har en positiv attityd till

lärandesituationen. Allmänt taget kan man förvänta sig att han är nyfiken på denna typ av undervisningsverktyg och vill pröva det, förutom under lektionstid, också på sin fritid, dvs. under håltimmar och efter skolan. Emellertid kan det för elever med fullt kursprogram vara svårt att hitta ledig tid att göra virtuella experiment med PDRac. De elever som är beroende av skolskjutsar kan också vara ovilliga att stanna kvar i skolan efter sista lektionen. De elever som är mest intresserade av fysik låter sig knappast påverkas av sådana hinder utan tar tillfället i akt att pröva ett annorlunda hjälpmedel. De är självreglerande och tar ansvar för sitt eget lärande för att nå sina mål. Verktyget ger dem möjligheter att ta kontroll över sitt lärande så att de kan prestera belägg för sin nya kunskap. Verktyget ger unika möjligheter att förstå växelströmsbegreppen på nytt sätt och ger eleven stor tillfredsställelse med lärandesituationen.

Hypotes

Den didaktiska situationen *övning* påverkar eleverna till en klart positiv uppfattning av effektivt lärande av grundbegrepp och -fenomen i växelströmsläran.

A priori-analysens deskriptiva del i den didaktiska situationen ***begrepps-introduktion***

Problemsituationerna har grundligt analyserats i avsnitt 4.2.3 (se också bilaga 4 och 7). Syftet med begreppsintroduktionssituationen är att *eleverna ska upptäcka och analysera ett specifikt fenomen som kan åstadkommas i en RLC-krets: serie-resonans.*

Problemsituation 1a, b. Syftet är att *eleven ska undersöka egenskaperna och funktionen hos en seriekopplad RL-krets och RC-krets med avseende på fas-förskjutningen och fördelningen av spänningen över resistorn och spolen.*

Vid förändring av *en* fysikalisk storhet, exempelvis induktans eller kapacitans, ger PDRac-verktyget respons i form av förändringar av *andra* storheter i parallella, numeriska och grafiska representationsformer. Eleven får en visuell bekräftelse på resultatet av sina aktiviteter och kan studera konsekvensen av sina åtgärder. Detta ger underlag för diskussion och resonemang i kvalitativa termer. Eftersom variation av en storhet påverkar flera andra storheter måste eleverna ta till kedjeresonemang, exempelvis: ”Då induktansen ökar medför detta en ökning av den induktiva reaktansen. Då kommer också impedansen att öka, vilket leder till att strömstyrkan minskar eftersom växelspänningskällans spänning är konstant.” Elever som har svårigheter att mentalt agera dynamiskt på en statisk yttre representation, t.ex. en ekvation eller en graf, får med hjälp av PDRac-verktyget en möjlighet att skapa en dynamisk inre representation med hjälp av en dynamisk yttre representation. Eleven kan flytta blicken från storhet till storhet, från en representationsform till annan och styra dynamiken i egen takt.

Problemsituation 2. Här är syftet att *eleven ska undersöka egenskaperna och funktionen hos en seriekopplad RLC-krets med avseende på fasförskjutning och undersöka serieresonansfenomenets kvalitativa egenskaper.*

Problemsituation 1a och 1b utgör inledning till denna situation, som ska föra eleven till fenomenet serieresonans. Eftersom en RL-krets ger en positiv fasförskjutning och en RC-krets en negativ kommer en RLC-krets under vissa förutsättningar i ett läge där fasförskjutningen är noll. Detta tillstånd kan uppnås genom att variera induktansen eller kapacitansen, medan variation av endast resistansen inte kan föra kretsen till detta tillstånd. Impedansens beroende av de nämnda storheterna induktans, kapacitans och resistans uppvisar ett komplicerat mönster, eftersom t.ex. en ökning av induktansen i vissa fall ökar och i andra fall minskar impedansen. Detsamma gäller också en variation av kapacitansen. Genom att studera kretsen, då den dynamiskt passerar ett tillstånd där fasförskjutningen är noll, får eleverna fram de villkor som gäller då de gör de nämnda variationerna och slutligen de egenskaper som karakteriserar serieresonans. I denna didaktiska situation måste eleverna hantera flera olika variabler och representationer av kretsens olika tillstånd, vilket för många elever kan framstå som ytterst informationsrikt och komplicerat.

Problemsituation 3. I denna avslutande problemsituation är syftet att *eleven ska undersöka en seriekopplad RLC-krets med avseende på impedansen, reaktanserna och strömstyrkan som funktion av frekvensen. Resonansfrekvensen och serieresonansfenomenets övriga egenskaper undersöks vidare.*

I denna situation bekräftas grafiskt det som numeriskt har framkommit om serieresonans i problemsituation 2. De induktiva och kapacitiva reaktanserna är lika stora, ett villkor som ger resonansfrekvensen. Impedansen har ett minimum med ett värde lika med resistansen. Eleven får ytterligare en visuell bild av reaktansernas frekvensberoende och resistansens betydelse i sammanhanget. (Denna kunskap är betydelsefull i fråga om t.ex. låg- respektive högfrekvensfilter i högtalare, något som inte behandlas i dessa didaktiska situationer.)

A priori-analysens prediktiva del

Denna didaktiska situation är betydligt mer komplicerad än den tidigare övningssituationen. Många storheter är involverade i de fysikaliska fenomenen. Exempelvis kan en förändring av en enda storhet framkalla förändring av ett flertal andra. Många elever är ovana vid att hantera många variabler samtidigt, vilket kan förväntas skapa en känsla av att inte ha kontroll över situationen. Elevernas relationella förståelse sätts på prov i denna situation. Emellertid kan man anta att eleverna finner det spännande att försöka komma på vad resonansfenomenet är och vilka effekter det åstadkommer på representationerna. Elevernas inre motivation är stark och de förväntas ge sig i kast med uppgiften med stort intresse. De tar gärna ansvar för att komma på lösningen. De visuella

representationerna är visserligen tydliga, men det betyder inte att det är särskilt enkelt att dra slutsatser av det som sker och att konstruera kunskap om de fenomen som studeras. Det kan också vara svårt att komma på resonansfenomenets alla viktiga egenskaper, vilket också kan medföra en känsla av att inte ha kontroll över situationen. Uppgifterna är många och de komplicerade sambanden gör att en del elever inte hinner fullfölja de uppgifter som är förelagda. Konsekvensen är att eleverna inte känner tillfredsställelse över vad de åstadkommit och ifrågasätter möjligheterna att prestera väl i den didaktiska situationen.

Hypotes

Den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* påverkar eleverna till en positiv uppfattning av effektivt lärande av ovan beskrivna begrepp och fenomen i växelströmsläran trots den komplexitet som karakteriserar innehållet och lärande-processerna i denna didaktiska situation.

A priori-analysens deskriptiva del i den didaktiska situationen ***utvärdering***

De olika problemsituationerna har grundligt analyserats i avsnitt 4.2.4 (se också bilaga 5 och 8). Denna didaktiska situation är egentligen en provsituation med syfte att *testa elevernas kunskaper och färdigheter efter att de har genomgått de två första didaktiska situationerna.*

Problemsituation 1. Syftet med denna situation är att *eleven med hjälp av ett logiskt, fysikaliskt resonemang ska identifiera storheter* (*som i PDRac-verktyget relateras till knappar med beteckningarna* ***a, b, c, d*** och ***e***) *genom att studera hur en ändring av en storhet inverkar på förändringen av grafers utseende.*

Elevens förståelse för de villkor som gäller för att en växelströmskrets ska fungera är av intresse. Situationen är jämförbar med en reell situation, i vilken ett oscilloskop används för att undersöka status hos en växelströmskrets, t.ex. i samband med felsökning. De förutsättningar som måste uppfyllas är att det ska finnas a) minst en komponent, dvs. resistor, spole eller kondensator eller en kombination av dessa, seriekopplad med b) en spänningskälla som har c) en frekvens större än noll. (I en reell situation måste oscilloskopet dessutom vara rätt kopplat i kretsen för att ge en bild av växelspänningarna över komponenterna.) Sekvenser av åtgärder och resonemang för att lösa problemet innehåller visserligen mycket logik, men slutsatserna måste grundas på kunskaper om hur en växelströmskrets fungerar, med andra ord, kunskaper i fysik. Eleven förutsätts kunna ta ställning till och systematiskt analysera alla förutsättningar för att en seriekopplad växelströmskrets ska fungera. Exempel på en sådan grundförutsättning är att kretsen inte är kortsluten. Emellertid är betydelsen av begreppet kortslutning inte bekant för alla elever. De återstående problemsituationerna är beroende av att eleven har lyckats genomföra denna

första problemsituation. Konsekvensen är att problemsituationen måste arrangeras så att eleven får begära hjälp av läraren med att lösa vissa nyckelsituationer. Det kostar några poäng vid bedömningen av provresultatet, men det garanterar eleven en möjlighet att kunna gå vidare på egen hand. Förutsättningen för en lyckad fortsättning är nämligen att samtliga knappar, som representerar de centrala storheterna, är identifierade.

Problemsituation 2. Syftet är att *eleven ska koppla en* (*virtuell*) *växelströmskrets under givna premisser.*

Premissen att fasförskjutningen är –90° ger indikation om vilken komponent (kondensator!) som är aktuell i kretsen. De givna utgångsvärdena på spänning och frekvens samt villkoret att strömstyrkans amplitud ska vara 150 mA leder till ett resonemang om vilka möjligheter man har att variera strömstyrkan i en rent induktiv växelströmskrets för att nå det uppställda målet. De givna begränsningarna utesluter alla andra möjligheter utom kondensatorns kapacitans. Med PDRac-verktyget behöver eleven inte veta på förhand om han ska öka eller minska kapacitansen. Resultatet av förändringen ses i grafen, men eleven förväntas ändå reflektera över hur strömstyrkans amplitud förändras då han ökar respektive minskar kapacitansen.

Problemsituation 3. Problemsituationens syfte är att *eleven med hjälp av grafer ska bestämma spänningar och spänningsändringar över växelströmskomponenterna samt potentialer i olika punkter i växelströmskretsen.*

Syftet med första sekvensen 4_1–6_1 är närmast att leda in eleven på begreppen momentanspänning och -potential och att utvärdera elevens kunnande i grafavläsning. Potentialbegreppet från kursen i ellära och de genomgångna didaktiska situationerna kommer till användning. Eleven förutsätts veta att potentialer kan beräknas endast om man har en referenspunkt i kretsen (punkt D, se figurer i bilaga 8).

I den andra sekvensen 4_2–6_2 sker en återkoppling till fasförskjutningar och tillämpningen av Lenz' lag i en växelströmskrets och inkluderar begrepp som har analyserats i tidigare didaktiska situationer. Frågeställningen kan verka diffus för eleverna, så att de egentligen inte vet vad de ska svara på. Genom att studera flera grafer och göra jämförelser förväntas eleverna associera till de fenomen och lagar som behandlats i tidigare didaktiska situationer.

Problemsituation 4. I denna situation är syftet att *eleven utgående från premisserna i föregående problemsituation ska försätta RLC-kretsen i resonans.*

Eleven måste därför ha kunskap om begreppet resonans, som behandlades i situationen begreppsintroduktion. Denna utvärderingssituation är annorlunda än en normal provsituation, där eleven ofta står inför uppgiften att explicit lösa ut

en storhet då alla andra storheter är givna. Här måste eleven komma underfund med att fler än en storhet kan medverka till att generera en lösning på problemet. Det finns inte en given, entydig lösning utan det uppenbarar sig ett flertal möjligheter att få kretsen i resonanstillstånd. Detta kräver av eleven ett kvalitativt resonemang, som inbegriper ett flertal storhetsvariabler. Bortsett från sådana storheter som fasförskjutning och reaktans handlar det också om strömstyrkans amplitud och storleken av strömstyrkans tidsderivata.

Problemsituation 5. Syftet här är att *eleven ska analysera kretsens tillstånd i olika punkter och vid olika tidpunkter med hjälp av given basinformation.*

Den första sekvensens 4_1–7_1 faser utgår från att spänningen över kondensatorn kan representera laddningsfördelningen. Elevens kunskap om detta faktum utvärderas under den givna premissen att strömmens riktning ska vara positiv. Syftet med sekvensen 4_2–7_2 är att särskilja de tre växelströmskomponenternas egenskaper med avseende på sambandet mellan strömstyrka och spänning samt de fysikaliska orsakerna till kretsens tillstånd i det undersökta tidsintervallet. På basis av fasdifferensen och dess tecken ska eleven avgöra vilken av komponenterna som dominerar över den andra.

A priori-analysens prediktiva del

Denna didaktiska situation i utvärderingssyfte avviker från de två tidigare på flera sätt. För det första ska varje elev arbeta ensam vid sin dator. Till denna del liknar situationen en normal provsituation – eleverna arbetar individuellt. Samarbetsfaktorn är därmed eliminerad. Det stöd som kamraten i de föregående situationerna kan bidra med faller bort. Vid pararbete är det ofta så att en av eleverna är mer dominerande än den andra och tar över den praktiska delen av datorarbetet och eventuellt också den verbala, medan den andra följer med från sidan med kommentarer och eventuella förslag. I en situation där eleverna arbetar enskilt kan de passivare eleverna känna att de inte har kontroll över situationen. För det andra ser PDRac-verktyget inte riktigt ut på samma sätt som det eleverna använder sig av i de två första didaktiska situationerna. De numeriska datafälten saknas, medan de grafiska fönstren finns kvar. Detta kan hos eleverna skapa en känsla av att inte kunna konstruera den kunskap de önskar via de visuella representationerna och därmed förorsaka en känsla av att utföra en svag prestation. I den första uppgiften gäller det att identifiera de fem fysikaliska storheterna (i form av knappar på dataskärmen), så att man kan använda dem i de resterande uppgifterna. De elever som inte klarar uppgiften ganska fort kommer att få ont om tid att göra de återstående uppgifterna. Det betyder att eleverna känner att de saknar kontroll över situationen. Det förmodas också skapa otillfredsställelse och en känsla av att ha varken instrumentell eller relationell förståelse av den fysikaliska situationen. Denna ovanliga provsituation, som eleverna inte har någon erfarenhet av från tidigare, framkallar förmodligen en negativ attityd hos flertalet elever. Däremot förväntas de elever

som klarar av den första uppgiften på kort tid få en stark känsla av effektivitet. Emellertid förväntas alla elever ha en stark yttre motivation; det är fråga om en provsituation som påverkar kursvitsordet. Också ansvaret för att göra det bästa av situationen antas vara stort.

Hypotes

Den didaktiska situationen *utvärdering*, vars syfte är att testa elevernas kunskaper om växelströmslärans begrepp och fenomen och deras färdigheter i att använda PDRac-verktyget, kan ur elevernas synvinkel anses komplicerad och oprövad. Detta påverkar eleverna till en negativ uppfattning av effektivt lärande.

4.4.2 PDRac-verktygets didaktiska potential och lärares uppfattning av effektivt lärande

A priori-analysens deskriptiva del

I sin undervisningsplanering är läraren många gånger tvungen att a priori avgöra huruvida ett datorbaserat verktyg är användbart och har relevans i fysiken. I denna studie kommer därför utgångspunkten för lärarnas ställningstagande huvudsakligen att vara de makrodidaktiska variablerna, men delvis också de mikrodidaktiska.

PDRac-verktyget och lärarhandledningen. Trots många stimulerande åtgärder är det ett faktum att integrationen av datorteknologi fortskrider mycket långsamt i vårt utbildningssystem (Artigue & Lagrange, 1997). Många innovationer med datorer involverade har dock en didaktisk potential i fysikundervisningen och elevernas lärande. Syftet med att introducera PDRac-verktyget i gymnasiets växelströmslära är att eleverna närmar sig en bättre förståelse av hur en enkel seriekopplad RLC-krets fungerar och får dem att associera till de lagar som är förknippade med induktion. Tyngdpunkten i lärarhandledningen, som kort presenteras i avsnitt 4.1.4, ligger på det kvalitativa resonemangets plan. Eleverna ska inte i första hand komma till förståelse av växelströmsläran genom formler, utan genom att föra ett resonemang kring växelströmskretsens storheter med hjälp av de grafiska och numeriska representationerna. Dynamiken i representationerna ska underlätta för eleverna att komma till slutsatser om hur en förändring av en storhet påverkar andra storheter och att se orsakssamband. Denna metod att gripa sig an växelströmsläran ger skäl att tro att PDRac-verktyget har en didaktisk potential. PDRac-verktygets layout är också planerad så att eleverna kan reglera den informationsmängd som finns på dataskärmen.

Undervisningssekvenser och prov med PDRac-verktyget. Lärarhandledningen presenterar växelströmslärans undervisningssekvens, som inkluderar de tre tidigare presenterade didaktiska situationerna. (En handledningssituation, i vilken PDRac-verktyget introduceras och demonstreras, föregår de tre didaktiska

situationerna som ingår i forskningen.) Lärarna förväntas gå igenom de övningar som ingår i de två första didaktiska situationerna och exempelprovet som ingår i den tredje didaktiska situationen (utvärdering) för att bilda sig en uppfattning om verktygets funktion.

A priori-analysens prediktiva del

Den prediktiva delen är gemensam för de två deskriptiva delarna presenterade ovan. Resonemanget grundar sig på de teorier som presenterats och refererats i de preliminära analyserna i kapitel 3. Ur lärarperspektivet på *motivation* undersöks hur läraren ser på elevernas aktivitet och engagemang i lärandet. Eleverna förmodas bli stimulerade av en miljö som är koncentrerad kring PDRac-verktyget. Den sociala kontexten, som inbegriper andra elever (och läraren till en viss grad), antas understöda individens behov av kompetens och relationer till andra men också autonomi, dvs. att eleven själv initierar och reglerar sina handlingar.

Då eleverna samarbetar i en kontext som karakteriseras av *engagerat lärande* uppmuntras de att själva ta ansvar för konversationen och avkrävs ett starkt ömsesidigt engagemang i uppgifterna. I de fall då eleverna är av olika mening beträffande förklaringar och förutsägelser av de fysikaliska förloppen kan det uppstå konflikter som gäller deras kunskaper om ämnesområdet. För någon kan detta innebära att en begreppsförändring är nödvändig för att uppnå delad kunskap och förståelse. Om eleven är beredd på att reflektera över sin tidigare uppfattning och omkonstruera den leder det till en stabil begreppsförändring. Detta kräver en metakognitiv färdighet hos eleven. Lärarna antas uppfatta PDRac-miljön som gynnsam för att åstadkomma diskussioner och skapa ett ömsesidigt utbyte av erfarenheter bland eleverna.

Undervisningen med PDRac-verktyget bygger på *interaktiva* och generativa strategier, som inbegriper dialog och samkonstruktion av kunskap med eleven själv och andra elever som aktörer. De olika perspektiven som eleverna bidrar med och som bygger på elevernas förkunskaper producerar delad förståelse. Läraren ska anpassa undervisningen mot sådana nya strategier som eleverna normalt inte använder och utmana dem att aktivt utforska dessa alternativa lärande- och tankestrategier. Läraren kan övervaka att eleverna använder sig av strategierna i ett självreglerande lärande och vid behov demonstrera användningen av dem och sedan utvärdera kvaliteten av elevernas strategianvändning. Detta är en stor utmaning för många gymnasielärare i fysik, speciellt om undervisningen är traditionell med läroboken som huvudsakligt undervisningsinstrument och med lämpliga inslag av fysikdemonstrationer och -laborationer. Läraren kan känna sig osäker i samspelet med PDRac-miljön, eleverna och sina möjligheter att beakta elevernas individuella olikheter i att handskas med informationen så att den leder till kunskap.

Det snabbt föränderliga samhället med nya krav på skolan medför en omdefiniering av *lärar- och elevrollerna.* Läraren upplever en förändrad roll och en annorlunda situation, som å ena sidan kan vara stimulerande men som å andra sidan kan kännas främmande och ovan. Introduktion av datorbaserad undervisning lyfter fram denna rolldefiniering. Ur lärarens synvinkel kan ett datorstöd accepteras och integreras i undervisningen om programmet svarar mot lärarens egna idéer. Likväl måste lärarna ofta anpassa sina metoder för att integreringen ska lyckas. Eleverna upplever en annorlunda lärandemiljö i jämförelse med den normala klassmiljön, vilket bland annat betyder ett ansvarstagande och en förändring av det didaktiska kontraktet. Undervisningssituationerna ger möjlighet till aktivitet och växelverkan mellan elev och datormiljö och elever sinsemellan. Situationerna engagerar eleverna i en aktiv intellektuell relation, som är nödvändig för att utveckla en funktionell förståelse av det som undervisas. Sådana situationer kan, sedda ur lärarens synvinkel, för eleverna upplevas som omväxlande och eventuellt fånga intresset hos sådana elever, som under normal lärarledd undervisning känner sig uttråkade.

En undervisningsmiljö med PDRac-verktyget kräver att läraren *investerar i tid* dels för att planera, dels för att introducera metoden i den traditionella undervisningen. Läraren står inför ett viktigt avgörande huruvida detta anses lönande i längden, dvs. arbetsbesparande och tidsbesparande med beaktande av den strama tidtabell som karakteriserar fysikundervisningen i gymnasiet. Lärarna antas nog tycka att användningen av PDRac-verktyget är ineffektivt med avseende på den tid det tar att organisera datorbaserad undervisning, den tid som faller bort från den ”normala” kursen och den tid som kunde användas till att lösa traditionella fysikuppgifter.

Läraren kan bidra med sin sakkunskap i lämpliga skeden av processen för att stöda elevernas konstruktion av en generativ mental modell. Eleverna behöver inte använda formler för att komma till en förståelse av växelströmskretsens funktion. De kan laborera med begrepp och lagar, som anknyter till situationen och med hjälp av dessa dra slutsatser om fysikaliska samband. En framgångsrik artikulation och konstruktion av den mentala modellen gör det mer sannolikt att eleverna får en kausal förståelse av växelströmskretsens komplicerade funktion. Det innebär en förändring mot användningen av *kvalitativt resonemang* för att närma sig förståelse till skillnad från det normalt mer formelmässiga tillvägagångssättet i fysikundervisningen. Förståelseprocessen med PDRac-verktyget innehåller andra beståndsdelar än den gör under en motsvarande laboration med en RLC-krets. Med PDRac-verktyget kan man i processen integrera numeriska och grafiska data, som inte är tillgängliga i laboratorieförsök. Det gäller t.ex. momentanvärden, fasförskjutning, tidsderivata samt möjligheten att samtidigt grafiskt åskådliggöra spänningen över varje enskild komponent. Den *visuella* kontakten med de fysikaliska händelser som sker på dataskärmen antas befrämja memoreringen av förloppen och bidra till att eleverna kan konstruera *meningsfull kunskap* om växelströmskretsars funktion.

För att exemplifiera lärarens potentiella syn på elevens *kausala förståelse* tar jag ett fall som är anknutet till de didaktiska situationerna med PDRac-verktyget. Den fysikaliska situationen som eleven ska förstå kunde exempelvis formuleras så: Hur fungerar en spole med en försumbar resistans i en växelströmskrets? Varför orsakar spolen en fasförskjutning mellan spänning och strömstyrka, så att spänningen löper före strömmen?

Situationen måste representeras mentalt som en situationsmodell. Som förkunskap krävs att eleven vet hur en enkel, induktiv växelströmskrets kopplas och hur kretsens kopplingsschema ritas. Därtill behövs grafer för att representera strömstyrka och spänning. Exempel på irrelevant information i detta sammanhang är grafisk representation av effekten och behovet av att känna till effektivvärden.

Som hjälp vid skapandet av denna mentala modell kan PDRac fungera så, att eleverna tar fram en representation av en växelströmskrets. Eleverna ställer in värden och tar fram lämpliga numeriska och grafiska representationer av den fysikaliska situationen (t.ex. momentanvärden respektive $u(t)$-, $i(t)$- och $u_L(t)$-graferna). Att på detta sätt kunna bygga upp en situationsmodell innebär en effektiv tidsbesparing, eftersom eleverna inte behöver hänvisa till tidsekvationer för exempelvis växelströmstyrka och växelspänning eller skissera graferna. Ifall kretsen betraktas som en RL-krets (resistansen har en signifikant inverkan) kompliceras kretsens funktion, varför situationen betydligt underlättas med hjälp av PDRac-verktyget.

För att komma till en fruktbar utgångspunkt kan man välja att studera kretsens momentana funktion vid en vald tidpunkt. Det innebär en avsevärd förenkling av situationen att eleverna kan ”frysa” händelseförloppet i kretsen. Det progenerativa tillståndet i modellen för kausal förståelse kan i detta fall dessutom omfatta skisser på papper, ifall informationen på dataskärmen inte känns tillräcklig, för att bestämma strömriktningen och spänningarnas polaritet över spänningskällan och spolen. Kunskap om induktionsfenomenet inklusive självinduktion stöder skapandet av det progenerativa tillståndet.

Det progenerativa tillståndet bearbetas genom att t.ex. dynamiskt ändra tidpunkten och se variationerna i utdata. Artikuleringen av det som händer på dataskärmen kan innehålla reflekterande resonemang, dvs. eleverna drar spontana slutsatser baserade på händelseförloppet och använder fysikaliska lagar som stöd för resonemanget. En artikulation av det fysikaliska tillståndet i kretsen parallellt med interaktionen med PDRac syftar till att förändra elevens mentala modell mot en generativ mental modell av den fysikaliska situationen som ska förstås.

För att sammanfatta ovanstående kan man anta att en lärare uppfattar lärandeprocessen som effektiv genom att eleven kan motiveras, bringas till förståelse och fås att prestera bättre med hjälp av en interaktiv undervisning och ett större

engagemang i lärandet. I denna PDRac-miljö kan kunskapsbyggande ske i samarbete med läraren som handledare och befrämjare av lärandeprocessen i situationer där eleven har rollen av utforskare och kognitiv lärling. Däremot kan lärarna ha en viss reservation beträffande lärandemiljöns effektivitet med avseende på investeringen i tid.

Hypotes

Dahland (1993, s. 72) betonar betydelsen av samstämmighet mellan de pedagogiska principer som ett datorprogram företräder och de som läraren tillämpar. En lärare kan kanske använda en lärobok som han har invändningar mot av olika skäl. Det är emellertid inte lika självklart att läraren tar i bruk ett datorprogram som verkar pedagogiskt provocerande. Det är därför en vansklig uppgift att utföra en undersökning som omfattar ett pedagogiskt datorhjälpmedel bland gymnasielärare, som i allmänhet har en stor arbetsbörda och inte gärna ger sig tid till en grundlig utvärdering. Dahland (1993) skriver:

> Man kan inte ”bläddra” i ett datorprogram eller snabbt bedöma dess omfång. Det går inte att enkelt sluta sig till hur vissa inslag presenteras eftersom de i regel inte enskilt kan tas fram för bedömning. Man måste arbeta under en längre tid med ett program och måste ha en genomtänkt plan för sin analys för att inte hamna i en situation av ytligt tyckande. (s. 77)

Det finns dock många lärare som har ett genuint intresse för innovationer i undervisningen. Forskningshypotesen är därför att gymnasielärarna i allmänhet har en positiv uppfattning av effektivt lärande med hjälp av ett datorbaserat verktyg som här representeras av PDRac-verktyget. Lärarna antas uppleva att verktyget lämpligast kan användas till att under kursen öva på växelströmsbegreppen och se sambanden mellan dessa. Ytterligare antas verktyget vara användbart som tilläggshjälpmedel utanför undervisningen, dvs. under elevernas fritid och på deras eget initiativ, men däremot antas verktygets lämplighet som utvärderingsinstrument vara ifrågasatt.

4.4.3 Hypoteser

Tre forskningsproblem har lagts fram i avsnitt 3.6. De två första handlar om produktion och implementering av PDRac-verktyget. Det tredje problemet har en empirisk natur och har utformats i forskningsfrågan: Hur påverkar PDRac-verktyget och dess implementering elevernas och lärarnas uppfattning av effektiviteten i lärandeprocessen? Forskningsfrågan har delats i tre delar:

1) Framkallar implementeringen av PDRac-verktyget i didaktiska situationer en positiv elevuppfattning av effektivt lärande?

2) Förekommer det skillnader i fråga om elevernas uppfattning av effektivt lärande i olika varianter av didaktiska situationer?

3) Påverkar PDRac-verktygets egenskaper och didaktiska potential samt dess funktion i de olika didaktiska situationerna lärarnas uppfattning av effektivt lärande?

Analysen av de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna, a priori-analysen av de didaktiska situationerna med efterföljande prediktioner och hypoteser beträffande elevuppfattningar kan nu sammanfattas i en huvudhypotes som associeras till den första delfrågan:

Hypotes 1 *PDRac-verktyget och dess implementering i didaktiska situationer kring växelströmsläran framkallar hos eleverna en positiv uppfattning av effektivt lärande.*

De tidigare (avsnitt 4.4.1) presenterade didaktiska situationerna karakteriseras av olikheter, vilket motiverar att ställa upp en mer preciserad hypotes. Den andra delfrågan leder således till följande hypotes inklusive tre underhypoteser:

Hypotes 2 *Det finns skillnader i elevernas uppfattning av effektivt lärande som beror av de didaktiska situationernas karakteristika i PDRac-miljön.*

Hypotes 2.1 *Den didaktiska situationen* **övning** *påverkar eleverna till en klart positiv uppfattning av effektivt lärande av grund-begrepp och -fenomen i växelströmsläran.*

Hypotes 2.2 *Den didaktiska situationen* **begreppsintroduktion** *påverkar eleverna till en positiv uppfattning av effektivt lärande av begrepp och fenomen i växelströmsläran trots den komplexitet som karakteriserar innehållet och lärande-processerna i situationen.*

Hypotes 2.3 *Den didaktiska situationen* **utvärdering***, vars syfte är att testa elevernas kunskaper om växelströmslärans begrepp och fenomen och deras färdigheter i att använda PDRac-verktyget, kan ur elevernas synvinkel anses komplicerad och oprövad. Detta påverkar eleverna till en negativ uppfattning av effektivt lärande.*

Den tredje forskningsfrågan avser läraruppfattningar och ger anledning att ställa upp två hypoteser:

Hypotes 3 *Fysiklärarna upplever att PDRac-verktyget och den undervisningsmiljö som inkluderar verktyget är potentiellt effektiva för undervisning i växelströmsläran.*

Hypotes 4 *Fysiklärarna har en positiv uppfattning om PDRac som ett effektivt verktyg för elevernas lärande i varierande didaktiska situationer i växelströmsläran.*

5 Empiri

Forskning i undervisning kan med fördel genomföras genom att blanda kvantitativa och kvalitativa metoder (Trochim, 2000; Wellington, 2000):

> Quantitative research excels at summarizing large amounts of data and reaching generalizations based on statistical projections. Qualitative research excels at "telling the story" from the participant's viewpoint, providing the rich descriptive detail that sets quantitative results into their human context (Trochim, 2000).

I småskaliga studier kan de två tillvägagångssätten komplettera varandra och utgöra en form av triangulering, som innebär att man använder två eller flera metoder för att samla in data i syfte att studera någon aspekt av mänskligt beteende (Cohen & Manion, 1994, s. 233; Wellington, 2000, s. 23–24). Bakgrundsstatistik kan utgöra bas för en djupare kvalitativ studie, intervjuer kan producera kvantitativa data, frågeformulär kan användas för att samla in kvalitativa data, fallstudier kan involvera systematiska, halvkvantitativa observationer. I denna studie utnyttjas detta för att "kvalitativa data ger rikedom och färg; kvantitativa data erbjuder struktur" (Wellington, 2000, s. 17).

Ett väsentligt steg i designen och konstruktionen av t.ex. ett frågeformulär är att testa pilotversioner av det. Det aktuella klassexperimentet föregicks av ett pilot-experiment som hölls i ett gymnasium under höstterminen 1997. Tio elever som läste kursen i växelströmslära deltog. Vid experimentet användes en version av det Excelverktyg[1] som sedermera fick benämningen PDRac. Resultatet av pilotexperimentet hade en avgörande inverkan på utvecklingen av PDRac-verktyget, experimentarrangemanget och frågeformulären i det klassexperiment, som denna avhandling grundar sig på. Eleverna gav värdefulla synpunkter på hur PDRac-verktyget, elevhandledningen och övningsuppgifterna skulle utformas och förbättras för att fungera effektivare i de didaktiska situationerna. Förberedelserna inför introduktionen av det datorbaserade verktyget och det egentliga experimentet tog en annan form som ett resultat av pilotexperimentet. Ett antal praktiska problem, som uppstod i dataklassen, kunde undvikas i det egentliga experimentet. Även etiska frågor kring experimentet kom i en ny belysning vid utvärderingen av pilotexperimentet.

[1] Den första beteckningen som användes i pilotexperimentet var DIDAC, dvs. DIDactic Aid by Computer som sedermera ändrades till DIDactic Alternating Current. Beteckningen DIDAC användes också i det egentliga klassexperimentet. För att undvika eventuella missförstånd som angår ordet DIDAC och för att poängtera detta specifika verktygs funktion att representera data parallellt och dynamiskt byttes beteckningen till PDRac, en beteckning som föddes samtidigt som klassexperimentet pågick. Denna beteckning, PDRac, används därför genom hela avhandlingen för att undvika begreppsförvirring.

5.1 Klassexperiment

Syftet med det aktuella klassexperimentet var att undersöka vilken uppfattning eleverna hade om effektivt lärande då de hade gått igenom de didaktiska situationerna *övning, begreppsintroduktion* och *utvärdering*. Eleverna skulle alltså *själva bedöma i vilken mån de didaktiska situationerna med PDRac-verktyget hade påverkat deras uppfattning om effektivt lärande baserad på de indikatorer som definierar effektivitet*. Koballa (1988, s. 120) anser att attityder, övertygelser, åsikter, värderingar och beteendeintentioner är inneboende, de är inte direkt observerbara, och man måste sluta sig till dessa genom verbala yttranden eller responser i enkäter. Beteende däremot kan direkt observeras. Genom att låta eleverna ge sin respons i ett frågeformulär direkt efter den didaktiska situationen kan man genast fånga in det eleverna är uppfyllda av, eller enligt Beichner et al. (1999, s. 19): "Questionnaires gave students the opportunity to directly report their impressions of the learning environment."

Ett klassexperiment av det slag som presenteras i avhandlingen innebar ett relativt omfattande intrång i en skolas vardag och i undervisningsrutinerna. För att man ska kunna genomföra det avsedda experimentet så friktionsfritt som möjligt måste några förutsättningar uppfyllas. För det första måste skolan ha en lämplig datorutrustning som fungerade under operativsystemet Windows 95 (eller senare version) med Excel 97 installerad. Det måste också finnas ett tillräckligt antal datorer för pararbete och enskilt arbete. Eftersom experimentet var inbakat i undervisningen och inte kunde utföras under någon godtycklig tidpunkt måste datasalen kunna reserveras för den tid experimentet pågick. En viktig förutsättning var att en systemansvarig person kontrollerade att utrustningen fungerade. PDRac-verktyget krävde inga avancerade kunskaper i datorhantering. Eleverna och fysikläraren hade tillräcklig datorvana. Störande faktorer i fråga om datorhanteringen kunde elimineras. Ytterligare måste läraren och eleverna acceptera att experimentet delvis styrde den planerade undervisningen. Eleverna och skolans personal hade förståelse för de olägenheter experimentet åstadkom då forskaren var känd bland dem.

Närpes gymnasium uppfyllde dessa förutsättningar. Skolan hade dittills haft en lång tradition i användning av datorer i undervisningen. De första ABC800-datorerna anskaffades under de första åren av 1980-talet. Tio år senare sammankopplades Närpes högstadieskola med Närpes gymnasium i ett LANtastic-nätverk. Under början av 1990-talet fungerade gymnasiet som Utbildningsstyrelsens pilotskola för projekt med datorstöd i ett flertal ämnen. År 1995 anslöts samtliga skolor i Mosebacke skolcentrum i Närpes (lågstadiet, högstadiet, gymnasiet och yrkesskolan Vocana) till ett intranätverk, MoseNet, med fiberoptik. Användningen av datorbaserad ämnesundervisning har dock inte varit särskilt systematiserad, närmast på grund av att datasalarna inom MoseNet ofta har varit upptagna för schemalagda kurser i datateknik. Lärare som haft intresse för användning av datorstöd har av den anledningen ofta tvingats

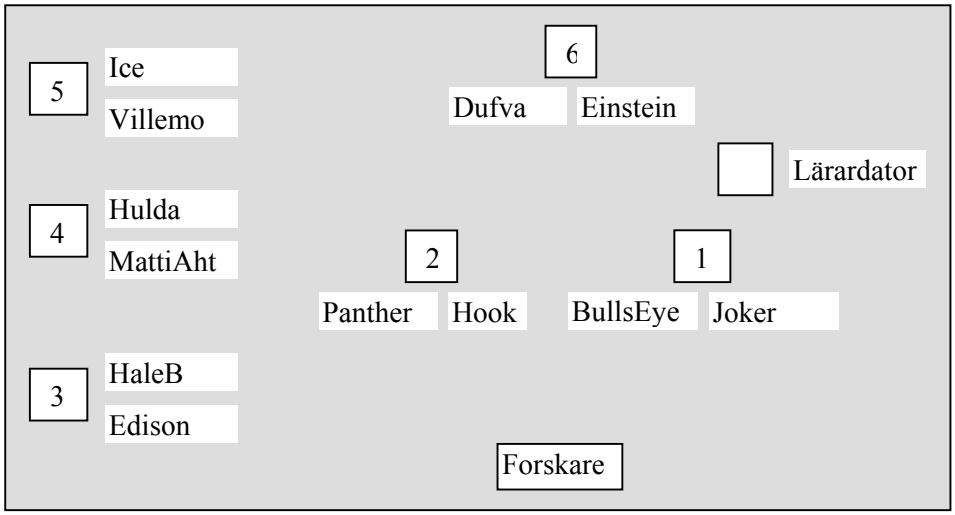
planera om sina lektioner med datorstöd på grund av kollisioner i schemat. Bristen på lediga datortider, just då datorstöd hade varit effektivt, har medverkat till ett svalnande intresse för datorbaserad undervisning. Datorerna har dock alltid använts flitigt av eleverna under de tider då datasalarna varit lediga.

5.1.1 Datainsamling

Undersökningsgrupp

Tolv elever, två flickor och tio pojkar, deltog hösten 1998 i kursen Elektromagnetism då klassexperimentet genomfördes. Samtliga elever i fysikgruppen deltog i experimentet. Ingen kontrollgrupp användes dels på grund av fysikgruppens litenhet, dels av etiska skäl. För det första hade en kontrollgrupp blivit utan undervisning medan experimentet pågick. För det andra var datainsamlingen intimt kopplad till själva experimentsituationen så att användningen av en kontrollgrupp hade varit meningslös. I stället användes en metod med upprepade mätningar på samma elevgrupp.

Under själva klassexperimentet arbetade eleverna parvis vid datorerna förutom i den sista didaktiska situationen utvärdering. I egenskap av forskare följde jag med experimentet från en och samma plats i datasalen, medan läraren rörde sig mellan elevparen. Figur 36 visar datorernas, elevparens och forskarens placering i datasalen. De fingerade namnen är elevernas egna påhittade pseudonymer.



Figur 36. Placeringen av elevparen och datorerna i datasalen.

Instrument

Datainsamlingen gjordes med följande mätinstrument: a) frågeformulär med påståenden och en tabell över övningsuppgifternas nummer (bilaga 9; sammanfattning i bilaga 10), b) forskarens observationer under de didaktiska situationerna, c) provresultat i utvärderingssituationen, d) intervju och e) frågeformulär med rangordning av indikatorer och fysikbegrepp (bilaga 11).

a) Frågeformulär med påståenden och tabell över uppgiftsnummer. Elevernas uppfattning av effektivt lärande mättes efter varje didaktisk situation med hjälp av frågeformulär (O_1–O_4 i figur 37) bestående av 14 påståenden. Eleverna skulle enligt en femstegs Likertskala i intervallet 1 … 5 ta ställning till i vilken utsträckning de instämde i påståendena med avseende på den situation de befann sig i. Skalans etiketter motsvarade bedömningskriterier från ”min åsikt avviker starkt från påståendet” (= 1) till ”min åsikt överensstämmer starkt med påståendet” (= 5). Den neutrala hållningen ”jag har ingen åsikt beträffande påståendet” motsvarade skalvärdet 3.

Frågeformuläret bestod av två påståenden för var och en av effektivitetsindikatorerna *motivation, attityd och intresse, ansvar, kontroll, prestation, förståelse* och *tillfredsställelse*. Uppdelningen grundade sig på att indikatorerna definierades ur specifika aspekter. Indikatorn motivation innehöll påståenden om inre och yttre motivation. Med attityd avsågs i denna undersökning affektiv attityd. Följande indikator, ansvar, mätte huruvida eleven accepterade eget ansvar för lärande eller önskade lägga ansvaret på någon annan. Indikatorn kontroll handlade om personlig kontroll och programkontroll. Prestationsindikatorn delades upp i påståenden om memorering och konstruktion av meningsfull kunskap, medan förståelse bestod av påståenden om instrumentell och relationell förståelse. Slutligen definierades tillfredsställelse som nöje och fullföljande av det lärandeuppdrag som eleverna hade att gå igenom.

I frågeformuläret skulle eleverna i en tabell markera vilka uppgifter i övningsmaterialet de hann slutföra under de didaktiska situationerna.

b) Forskarens observationer under de didaktiska situationerna. Under de tre didaktiska situationerna förde jag anteckningar om händelser som kunde uppfattas från den plats där jag satt.

c) Provresultat i utvärderingssituationen. I utvärderingssituationen (X_4) hade eleverna fem uppgifter att lösa (se bilaga 5). Då eleven ansåg sig ha löst en uppgift sparades resultatet (O_5 i figur 37) i en personlig fil, som jag tog hand om för bedömning.

d) Intervju. Två veckor efter klassexperimentet intervjuade jag samtliga elever och samtalen bandades på minidisk (O_6 i figur 37).

e) Frågeformulär för rangordning av indikatorer och val av fysikbegrepp. Några veckor efter intervjuerna ombads eleverna att fylla i ytterligare ett frågeformulär (O_7 i figur 37), där de skulle rangordna de sju effektivitetsindikatorerna. Syftet med denna rangordning var att undersöka elevernas inställning i allmänhet till dessa indikatorers betydelse i deras lärande. Slutligen skulle eleverna bland 18 växelströmsbegrepp markera de fem begrepp som de ansåg sig bäst ha förstått innebörden av.

Undervisnings- och testprocedur

Växelströmsläran undervisades i slutet av kursen Elektromagnetism enligt lektionsplanen i bilaga 2. Undervisningen skedde i fysikrummet med undantag av de fyra nedannämnda didaktiska situationerna, som förlades till datasalen. Sekvensen med växelströmsläran inleddes med klassundervisning av växelströmslärans grundbegrepp och ett antal laborationer och demonstrationer (lektion 1–4, se experimentdesignen i figur 37). Den första didaktiska situationen (handledningssituation, X_1) med PDRac-verktyget inleddes i datasalen under lektion 5 i lektionsplanen. Jag introducerade PDRac-verktyget för eleverna, varefter resten av lektionen ägnades åt övningar under överinseende av fysikläraren och mig.

Efter en demonstration av varierande typer av växelströmskretsar (lektion 6) i fysikrummet följde en sekvens av två didaktiska situationer (övnings- och begreppsintroduktionssituationen, X_2 och X_3), som genomfördes under lektion 7 och 8. Dessa hölls under två på varandra följande dagar. Under övningssituationen fick eleverna studera de tidigare undervisade begreppen med hjälp av PDRac-verktyget. I situationen begreppsintroduktion ingick bland annat det nya begreppet *serieresonans*. Under följande dag gavs en demonstration i fysikrummet av serieresonansfenomenet med hjälp av en RLC-krets och ett oscilloskop (lektion 9). Den sista didaktiska situationen med PDRac-verktyget (utvärderingssituation, X_4) genomfördes sedan under lektion 11. Eleverna arbetade enskilt vid datorerna med utvärderingsuppgifterna och hade till sitt förfogande en något omarbetad version av PDRac-verktyget. Resultatet av elevernas svar sparades i en personlig fil, som jag tog hand om för analys och resultatbedömning. Efter ytterligare två lektioner avslutades kursen i Elektromagnetism och ett normalt kursprov hölls.

Också under de didaktiska situationerna övning, begreppsintroduktion och utvärdering, som i detalj presenterats tidigare, sköttes undervisningen helt och hållet av den tjänstgörande fysikläraren. Läraren använde PDRac-verktyget för första gången i samband med klassexperimentet. Själv var jag närvarande, sittande vid dörren till datasalen, men deltog inte i undervisningen. Min uppgift var att anteckna sådana iakttagelser som eventuellt kunde användas vid analysen av de didaktiska situationerna, att stå till tjänst ifall problem uppstod med PDRac-verktyget och att dela ut och samla in frågeformulären. Var och en av de

didaktiska situationerna avslutades med att eleverna under några minuter besvarade ett frågeformulär (O_1–O_4). I utvärderingssituationen måste eleverna först klara av den första uppgiften för att kunna gå vidare till de följande. För att hindra att eleverna totalt misslyckades med denna första uppgift kunde de få hjälp av läraren. Detta resulterade i ett poängavdrag i samband med bedömningen av elevernas resultat.

Två veckor efter att klassexperimentet hade slutförts inleddes intervjuer (O_6) med försökspersonerna. Orsaken till denna tidsförskjutning var att höstens studentskrivningar inleddes och att gymnasieperiodens kursprov skulle avläggas. Eleverna hade därför inte möjlighet att delta i intervjuer förrän dessa prov hade avlagts. Det huvudsakliga syftet med de halvstrukturerade intervjuerna var dels att eleverna skulle kontrollera markeringarna i frågeformulären från de didaktiska situationerna (O_2–O_4) och bedöma om de var korrekta, dels att de skulle bidra med spontana kommentarer om den lärandemiljö de hade erfarit utgående från effektivitetsindikatorerna.

De halvstrukturerade intervjuerna skedde i den aktuella skolan på elevernas fritid (under håltimme eller efter skoldagens slut) och pågick i medeltal i ca 50 minuter per elev. Intervjukonceptet såg ut på följande sätt:

- Eleven informerades om syftet med intervjun och om frågor som gällde forskningsetik och rättsskydd. Elevens (och eventuellt andra elevers) verkliga namn skulle inte uttalas vid bandningen (på minidisk), endast pseudonymer skulle användas. Eleven informerades om att endast forskaren skulle lyssna på minidisken, sammanställa information och eventuellt välja ut citat försedda med pseudonym.
- Likertskalans verbala motsvarigheter visades för eleven. Jag poängterade att eleven skulle ge sina uppriktiga, personliga uppfattningar.
- Huvudinnehållet i de didaktiska situationerna repeterades snabbt.
- Intervjun började med att eleven först fick ge spontana kommentarer, opåverkade av det huvudsakliga syftet.
- Därefter definierades kort en effektivitetsindikator och påståendena tillhörande indikatorn visades ett och ett i ordningsföljden övning – begreppsintroduktion – utvärdering. Utan att se svarsblanketten fick eleven ange vilket talvärde som han trodde sig ha markerat. De sju indikatorerna gicks igenom på detta sätt.
- Konversationens djup varierade och tog olika riktningar beroende på graden av elevernas talförhet och intresse av att diskutera och komma med synpunkter. Alla påståenden i frågeformulären kunde inte behandlas i alla intervjuer. Det berodde dels på tidsbrist förorsakad av efterföljande lektion eller hemresa, dels på att den tillbudsstående intervjutiden fylldes av samtal med talföra elever som uttryckte många åsikter, som jag inte ville gå miste om.

- Intervjun avslutades med en allmän förfrågan om synpunkter på t.ex. betydelsen av parsamarbete under de didaktiska situationerna.
- Eleverna uppmanades att inte diskutera intervjuerna med varandra för att undvika påverkan på dem som ännu inte intervjuats.
- Den kortaste intervjun varade 36 minuter, den längsta 73 minuter (medelvärde 49 minuter, standardavvikelse 9 minuter). Största delen av intervjuerna (75 %) varade mellan 44 och 53 minuter.

Cirka en månad efter klassexperimentet fyllde eleverna slutligen i ett frågeformulär (O_7), där de skulle rangordna de sju nämnda effektivitetsindikatorerna samt ange vilka fysikaliska begrepp som får stöd av PDRac-verktyget i elevens lärandeprocess.

Lektion 1–4	5	6	7	8	9–10	11	12–13	Kursen slut
Händelse	X_1 O_1		X_2 O_2	X_3 O_3		X_4 O_4O_5		O_6 O_7

X_1 = handledning i PDRac-verktygets funktion
X_2 = didaktiska situationen *övning*
X_3 = didaktiska situationen *begreppsintroduktion*
X_4 = didaktiska situationen *utvärdering*
O_1–O_4 = mätning av elevernas effektivitetsuppfattning (frågeformulär)
O_5 = provresultat
O_6 = bandade elevintervjuer
O_7 = rangordning av effektivitetsindikatorer och val av fysikbegrepp (frågeformulär)

Figur 37. Undervisningssekvens i växelströmsläran inklusive experiment och mätning. Numreringen 1–13 svarar mot växelströmslärans lektioner enligt lektionsplanen inom ramen för kursen Elektromagnetism.

Databearbetning och synpunkter på validitet

Eleverna hade efter varje didaktisk situation tagit ställning till två påståenden i var och en av sammanlagt sju indikatorer (se bilaga 9). Påståendena var slumpvis presenterade på frågeformuläret för att hindra klustereffekter vid besvarandet (se t.ex. Selwyn, 1997). Likertskalan, som i frågeformulären omfattade intervallet 1 … 5, transformerades linjärt till intervallet –2 … 2 för att man i analysen skulle kunna införa begrepp som "negativ" (intervall –2 … 0) och "positiv" (intervall 0 … +2) uppfattning av effektivt lärande. Användningen av positiva skalvärden (1 … 5) i själva frågeformuläret kunde motiveras med att respondenten inte tvekade att också använda sig av värdena ”1” och ”2” som i sig egentligen hade etiketter med en negativ innebörd. Att i själva fråge-

formulären använda negativa tal i Likertskalan skulle ha avskräckt respondenter från att använda dessa. Flera av påståendena var formulerade negativt för att bibehålla elevernas uppmärksamhet på innebörden av påståendena. Svaren på de negativt formulerade påståendena förändrades efter transformeringen till motsatta tal för att påståendenas innebörd skulle bli den korrekta, dvs. ”2” blir ”–2” och ”1” blir ”–1”, och tvärtom.

Mätresultatet omformades till *effektivitetstal*. Med benämningen *effektivtetstal* avses i denna avhandling *det numeriska värdet av respondenternas uppfattning av effektivt lärande*. Denna kortform införs så att läsaren på ett bekvämt sätt kan associera till styrkan av respondenternas uppfattning av effektivt lärande.

Effektivitetstalen beräknades för tre olika nivåer. 1) Den första nivån avsåg ett effektivitetstal, som var medelvärdet av elevernas poängtal för påståendena tillhörande varje enskild indikator. Eleverna kunde alltså tillskrivas ett effektivitetstal med avseende på motivation, ansvar, förståelse etc. 2) På den andra nivån tillskrevs eleverna ett effektivitetstal för varje didaktisk situation (övning, begreppsintroduktion, utvärdering). Detta tal var medelvärdet av de poängtal eleverna gett för vart och ett av de 14 påståendena eller med andra ord, medelvärdet av indikatorernas effektivitetstal. 3) Slutligen tillskrevs eleverna ett (totalt) effektivitetstal baserat på medelvärdet av effektivitetstalen i alla tre didaktiska situationer.

Den beroende variabeln, vars värden var ett mått på uppfattningen av effektivt lärande i PDRac-miljön, kunde benämnas *elevernas personliga effektivitetsuppfattning* och angavs numeriskt av det nämnda effektivitetstalet i intervallet –2 … +2. På det sättet kunde eleverna tillskrivas negativa eller positiva kvaliteter av personlig effektivitetsuppfattning i lärandeprocessen associerade till enskilda didaktiska situationer och till den aktuella PDRac-miljön i sin helhet.

Ett av syftena med intervjuerna, som behandlas utförligare längre fram, var att öka reliabiliteten genom att eleverna getts möjlighet att verifiera de svar som de tidigare lämnat i de tre skriftliga frågeformulären. Då påståenden, dvs. kvalitativa data, kodas kvantitativt med hjälp av en Likertskala måste talvärdena likväl tolkas utgående från förståelsen av de bedömningar och förutsättningar som ligger bakom dem. Exempel på sådana är (jfr Trochim, 2000):

- Under vilka förhållanden ifylldes frågeformuläret: var det ont om tid, var det oroligt i klassen, pratade respondenten med de övriga deltagarna, fanns andra störande faktorer med?
- Var respondenten mentalt på alerten då frågeformuläret besvarades?
- Förstod respondenten begreppen som används i påståendena?
- Läste respondenten tillräckligt noggrant för att kunna avgöra att påståendet begränsade sig till endast den aktuella didaktiska situationen?

- Brydde sig respondenten om att svara uppriktigt eller markerade han godtyckligt?
- Hur var påståendet presenterat i frågeformuläret; kunde svaret påverkas av det föregående påståendet?
- Förstod respondenten att värdena ”1” och ”2” betydde att han inte var av samma mening som påståendet?
- Valde respondenten talvärdet ”3” för att komma lätt undan och gå vidare i formuläret?
- Tolkade respondenten differensen mellan ”1” och ”2” och mellan ”3” och ”4” på samma sätt (dvs. tolkades skalan som en intervallskala)?
- Funderade respondenten på anonymitet eller konfidentiella frågor?

En del av dessa frågeställningar behandlas här och en del kommer upp till behandling framöver.

Den första didaktiska situationen, handledningssituationen (X_1), analyseras inte i denna studie. Ett frågeformulär (O_1) av samma typ som de ovan beskrivna delades dock ut för ifyllande. Syftet med detta var för det första att eleverna skulle ge uttryck för sina första uppfattningar om den nya lärandemiljön med PDRac-verktyget. Det andra syftet var att låta eleverna öva sig i att fylla i ett frågeformulär under den korta paus de hade till förfogande mellan lektionerna.

Under intervjun genomfördes sammanlagt sexton förändringar av de skriftliga elevsvaren (av sammanlagt 504 svar som getts i svarsblanketterna). Förändringarna skedde i båda riktningarna, dvs. ökande och minskande av talvärdena. Av intervjusvaren konstaterades att fem var korrigeringar av de misstag som inträffade på grund av att eleverna hade tolkat negerande påståenden fel; de hade inte märkt nekningsordet. Ytterligare fem svar korrigerades som resultat av att eleverna ansåg dem vara direkta felmarkeringar. I två av fallen hade eleverna missuppfattat påståendet på grund av otydligt formulerad text, tvetydigheter eller ordval i påståendet. I ovannämnda fall argumenterade eleverna för förändringarna på ett mycket övertygande sätt. De fyra återstående svarskorrigeringarna kunde eventuellt tillskrivas antingen elevens försök att gissa sig till forskarens intentioner eller tidsfaktorn, dvs. elevens mognad, eftersom intervjuerna skedde relativt lång tid efter själva experimentet. Jag försökte dock hindra eleverna från att ändra svar genom att ifrågasätta avsikten. På min förfrågan om möjligheten av att inringa fel alternativ uttryckte sig en elev så här:

> Ja, nå … jag har inte en direkt klar uppfattning, men någon gång hände det sig att jag kryssade … och så har jag gått tillbaka och tittat: hur … kunde jag svara så där? Så jag måste helt enkelt ha uppfattat alternativen fel, svängt på siffror: jag kryssade i en tvåa då jag menade fyra. Det har varit möjligt att jag har kunnat svänga på dem, för det har nog hänt det. Så jag har varit tvungen att ändra med detsamma efter att jag har svarat.

Etiska frågor kring forskning i klassrumsmiljö kan också uppstå bland respondenterna. Efter den didaktiska situationen begreppsintroduktion uppstod, enligt fysikläraren, en häftig diskussion bland eleverna om syftet med forskningen och dess roll i undervisningen av den aktuella kursen. Läraren förklarade detta samt syftet med enkätundersökningen. I egenskap av forskare och deras tidigare fysiklärare hade jag möjlighet att ytterligare på ett tydligt sätt repetera metodfrågor och etiska frågor kring min forskning dels under intervjuerna, dels i samband med den sista utfrågningen (frågeformulär O_7).

Det andra syftet med intervjuerna var att ge eleverna möjligheter att komma med spontana synpunkter, som emanerat från formulärens påståenden, och allmänt om faktorer kring lärande i PDRac-miljö. De bandade intervjuerna transkriberades av mig till en text som omfattade drygt 100 sidor. I de fall då jag vid intervjun läste upp texten i enkätens påståenden transkriberades inte hela denna text utan endast de sista orden. Pauser, betoningar, intonation och emotionella uttryck (skratt, suckar etc.) skrevs i allmänhet inte ut. De flesta eleverna använde vid intervjun sitt modersmål, dvs. sin dialekt. Eftersom jag känner till dialekten kunde jag vid transkriptionen formulera om uttalandena till standardsvenska. Stilen och detaljrikedomen i utskriften var inte avgörande, eftersom analysen sker genom ”kategorisering och koncentrering av meningen i det som sagts” (Kvale, 1997, s. 156). Meningskoncentrering innebär enligt Kvale att man mer koncist formulerar de meningar som intervjupersonerna uttrycker (s. 174). Vid intervjuanalysen använde jag en metod som Kvale (1997, s. 177) presenterar. Vid genomläsningen av intervjun försökte jag få en känsla för helheten. De naturliga meningsenheterna avgränsades automatiskt i och med att effektivitetsindikatorerna undersöktes en efter en. Därefter formulerade jag det tema som dominerade meningsenheten. Jag försökte tolka elevens svar och tematisera uttalandena utifrån elevens synvinkel sådan jag uppfattade den och knöt samman intervjuns centrala teman i en deskriptiv utsaga.

Meningskategorisering innebär att längre uttalanden reduceras till kategorier, som kan växa fram ad hoc under analysens gång (Kvale, 1997, s. 174). Därför kombinerades en innehållsanalys av delar av intervjuerna med mina observationer för att fånga in meningar som kunde vara av betydelse.

> Content analysis involves identifying coherent and important examples, themes, and patterns in the data. The analyst looks for quotations or observations that go together, that are examples of the same underlying idea, issue, or concept. Sometimes this involves pulling together all the data that address a particular evaluation question.
> …
> Organizing and simplifying the complexity of data into some meaningful and manageable themes or categories is the basic purpose of content analysis (Patton, 1987, p. 149–150).

De kvalifikationskriterier som Kvale (1997, s. 138) ställer upp för en intervjuare uppfylldes i stort sett. Visserligen var min erfarenhet som intervjuare i forskningssammanhang liten, men å andra sidan var min erfarenhet som lärare i drygt två decennier till stor hjälp. Ovanstående presentation av planeringen och metoderna för datainsamlingen syftar till att ”så exakt som möjligt beskriva de specifika steg, procedurer och avgöranden som tas i en undersökning” så att inte ”läsarna måste gissa om den sociala bakgrunden till intervjun, instruktionerna ..., de frågor som ställts, och det förfaringssätt som följts under utskriften och analysen av intervjuerna” (Kvale, 1997, s. 231).

5.1.2 Resultat

Resultatet i klassexperimentet presenteras enligt följande struktur. Först presenteras elevernas uppfattningar i form av kvantitativa resultat från enkäten i de tre didaktiska situationerna. Därefter följer kvalitativa data i form av koncentrat av varje elevintervju med inslag av citat. Eftersom intervjuerna gjordes ett par veckor efter de didaktiska situationerna kunde eleverna inte alltid särskilja de olika situationerna från varandra. Sammanfattningen visar mer på en helhetssyn som eleverna hade av de didaktiska situationerna. Alla elever får komma till tals.

Resultatpresentationen fortsätter därefter med en sammanfattning av de kvantitativa resultaten. Vissa upprepningar måste göras för överskådlighetens skull. Därefter följer ett avsnitt med övriga data som används för att stöda tolkningarna av de uppfattningar som eleverna har genererat. Dels handlar det om insamlade kvantitativa och kvalitativa data, dels om data som dykt upp som biresultat (s.k. emergenta data) från intervjuerna och observationsanteckningarna.

Uppfattningar baserade på enkät i de didaktiska situationerna

Varje effektivitetsindikator, motivation, attityd, ansvar etc. representerades av två påståenden i enkäten (se bilaga 10). Elevernas markeringar på Likertskalan gällande dessa påståenden transformerades från frågeformulärets intervall 1 ... 5 till intervallet –2 ... 2. Medelvärdet av talvärdena från de två påståendena utgör således elevens personliga effektivitetstal för ifrågavarande indikator. I tabell 6 presenteras resultatet från *övningssituationen* (motsvarar O_2 i figur 37). Tabellen visar också vilka elevpar som arbetade tillsammans. Nio elever har icke-negativa effektivitetstal på samtliga indikatorer och de övriga har minst ett negativt effektivitetstal på någon indikator.

Tabell 6. *Elevernas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer för den didaktiska situationen övning. Effektivitetstalet tillhör intervallet –2 ... 2.*

		Indikatorer på effektivt lärande						
Namn	Par	Moti-vation	Attityd, intresse	Ansvar	Kontroll	Prestation	Förståelse	Tillfreds-ställelse
BullsEye	1	1,5	2,0	2,0	2,0	0,5	1,0	0,5
Joker	1	1,0	2,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5
Hook	2	0,5	1,5	1,0	0,5	0,5	1,0	–0,5
Panther	2	0,5	1,5	0,0	0,5	0,5	1,0	0,5
Edison	3	0,5	–1,0	0,0	–0,5	0,0	–0,5	0,0
HaleB	3	1,5	1,5	1,5	0,0	1,0	0,0	0,5
Hulda	4	1,0	0,0	1,0	0,0	0,5	–1,0	–1,0
MattiAht	4	1,0	1,0	1,5	0,0	0,5	1,0	1,0
Ice	5	1,5	1,5	1,0	0,5	1,5	1,0	1,0
Villemo	5	0,0	1,0	0,5	2,0	1,5	0,5	1,5
Dufva	6	0,5	1,0	0,5	0,0	1,0	1,0	1,0
Einstein	6	0,0	1,0	1,5	1,0	0,0	0,0	0,0

Tabell 7 visar elevernas effektivitetstal associerade till den didaktiska situationen *begreppsintroduktion* (motsvarar O_3 i figur 37). Sju elever har icke-negativa effektivitetstal på samtliga indikatorer.

Tabell 8 visar elevernas effektivitetstal associerade till den didaktiska situationen *utvärdering* (motsvarar O_4 i figur 37). Antalet elever med enbart icke-negativa effektivitetstal är endast fyra i utvärderingssituationen.

Tabell 7. *Elevernas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer för den didaktiska situationen begreppsintroduktion.*

		Indikatorer på effektivt lärande						
Namn	Par	Moti-vation	Attityd, intresse	Ansvar	Kontroll	Prestation	Förståelse	Tillfreds-ställelse
BullsEye	1	1,0	1,0	1,5	0,5	1,0	1,0	1,0
Joker	1	1,0	1,5	1,0	0,5	1,0	1,0	2,0
Hook	2	0,5	0,5	1,0	0,0	1,0	0,0	0,0
Panther	2	0,5	1,5	0,0	–0,5	0,0	1,0	0,5
Edison	3	0,0	0,5	0,0	0,0	–0,5	–0,5	0,5
HaleB	3	0,5	2,0	1,5	0,5	1,0	0,0	0,5
Hulda	4	–0,5	–1,0	1,5	–0,5	–1,0	–1,5	1,5
MattiAht	4	0,5	0,5	1,0	0,5	2,0	1,0	1,0
Ice	5	1,0	1,5	1,5	–0,5	1,5	1,5	2,0
Villemo	5	1,5	1,0	1,0	0,0	1,0	1,0	1,5
Dufva	6	0,0	0,5	0,0	0,0	–0,5	–1,0	–1,0
Einstein	6	0,0	1,0	1,0	0,0	0,5	0,0	0,5

Tabell 8. *Elevernas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer för den didaktiska situationen utvärdering.*

	Indikatorer på effektivt lärande						
Namn	Moti-vation	Attityd, intresse	Ansvar	Kontroll	Prestation	Förståelse	Tillfreds-ställelse
BullsEye	1,0	0,5	0,5	–1,0	0,0	0,0	0,0
Joker	1,0	1,0	1,0	–0,5	1,0	0,5	0,5
Hook	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	0,5	1,5
Panther	0,0	0,0	0,5	0,0	–0,5	–0,5	0,0
Edison	0,5	–1,5	0,0	–1,5	0,0	0,5	–1,0
HaleB	0,5	1,0	2,0	0,0	–0,5	0,5	0,0
Hulda	0,5	1,5	1,0	–1,5	0,5	–1,0	1,0
MattiAht	1,5	1,0	1,5	0,0	1,5	0,5	1,5
Ice	0,5	1,0	0,5	0,5	2,0	2,0	1,0
Villemo	0,0	–2,0	0,0	–2,0	–0,5	–1,0	–1,0
Dufva	–1,0	–1,0	–1,0	–1,0	–1,0	–0,5	0,0
Einstein	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0

Sammanfattande data

Medelvärdet (M_{eff}) av effektivitetstalen på samtliga indikatorer för varje elev anger det personliga effektivitetstalet associerat till den didaktiska situationen i fråga. I tabell 9 ges en sammanfattning av elevernas effektivitetstal i de enskilda didaktiska situationerna och deras totala effektivitetstal för hela det datorbaserade undervisningsförsöket. Resultatet visar att tio (av tolv) elever totalt sett har en måttlig till stark, positiv personlig uppfattning av effektivitet (effektivitetstal > 0) i datorbaserat lärande med PDRac-verktyget. Effektivitetstalet i varje didaktisk situation är positivt, men uppvisar en sjunkande tendens, medan standardavvikelsen stiger.

Tabell 9. *Elevernas effektivitetstal i de didaktiska situationerna och det totala effektivitetstalet.*

		Didaktiska situationer						
Namn	Par	Övning	s	Begrepps-intro-duktion	s	Utvärde-ring	s	Elevens totala M_{eff}
BullsEye	1	1,36	0,69	1,00	0,29	0,14	0,63	**0,83**
Joker	1	1,29	0,39	1,14	0,48	0,64	0,56	**1,02**
Hook	2	0,64	0,63	0,43	0,45	1,29	0,39	**0,79**
Panther	2	0,64	0,48	0,43	0,67	–0,07	0,35	**0,33**
Edison	3	–0,21	0,49	0,00	0,41	–0,43	0,89	**–0,21**
HaleB	3	0,86	0,69	0,86	0,69	0,50	0,82	**0,74**
Hulda	4	0,07	0,84	–0,21	1,22	0,29	1,11	**0,05**
MattiAht	4	0,86	0,48	0,93	0,53	1,07	0,61	**0,95**
Ice	5	1,14	0,38	1,21	0,81	1,07	0,67	**1,14**
Villemo	5	1,00	0,71	1,00	0,50	–0,93	0,84	**0,36**
Dufva	6	0,71	0,39	–0,29	0,57	–0,79	0,39	**–0,12**
Einstein	6	0,50	0,65	0,43	0,45	1,07	0,19	**0,67**
Situationens M_{eff}		**0,74**		**0,58**		**0,32**		**0,55**
s		0,46		0,53		0,76		0,46

n = 12

Uppfattningar baserade på intervjuerna

De intervjukoncentrat som återges nedan ska först och främst kopplas till påståendena som presenteras i bilaga 10. Texten följer samma ordningsföljd utan att det explicit hänvisas till vilken indikator eller vilket påstående det gäller. Det är också skäl att associera intervjuresultaten till de kvantitativa data som presenterats i tabellerna ovan. Det är att observera att eleverna inte förevisades några kvantitativa data under intervjun. Citaten i texten återges ”i en läsbar skriftlig form” (Kvale, 1997, s. 241) på så sätt att onödiga talspråkliga

upprepningar av ord och utvikningar har lämnats bort. Citationstecken används i texten vid enstaka ord eller uttryck som kännetecknar elevernas personliga sätt att uttrycka sig. I vissa fall har pauser i elevens uttalanden utmärkts med tre punkter (...). Vid behov har förklarande tillägg gjorts inom parentes för att komplettera outsagd information. Längden av intervjukoncentraten är i stort sett proportionell mot elevens aktivitet och längden av hans eller hennes uttalanden under intervjun.

BullsEye uppgav sig vara intresserad av datorer och motiverad att lära sig i sammanhang då datorer var involverade. Vid den tiden satt han i allmänhet en timme per dag vid datorn och ansåg att resultatet av lärandet mycket berodde på datorvana. Det var roligt att pröva på något nytt som t.ex. detta PDRac-verktyg. Han tyckte ändå inte att datorn var lämplig i alla undervisningssituationer, men som komplement kunde datorn fungera bra, till och med i utvärderingssituationer. En nackdel var att datorn kunde skapa trötthet i ögon och armar. Han ansåg att motivationen kunde variera från dag till dag och t.ex. bero av huruvida han var trött på skolan. De gånger han kände intresse för ämnet var motivationen nog högre. Vitsordet på betyget och framtida studier var motivationsfaktorer för BullsEye. Han ansåg sig i allmänhet ha en positiv attityd till datorbaserat lärande, men det dåliga resultatet i utvärderingssituationen förändrade hans attityd i en negativare riktning.

BullsEye tyckte att ansvaret var minst lika stort som under vanliga lektioner. I PDRac-verktyget var det lätt att hitta knappar, vilket ökade kontrollen. Uppgifterna under de didaktiska situationerna var emellertid för många. Han var ganska säker på att han aldrig hann komma till serieresonansfenomenet under situationen begreppsintroduktion. Eftersom han i utvärderingen måste pröva sig fram tog det lång tid. Han hann göra endast en tredjedel av uppgifterna. Han påstod sig ha lagt ner mycket tid på den första uppgiften.

BullsEye uppgav sig ha förstått bättre då han kunde ändra på storheter och prova sig fram och till sist kunde han i förväg lista ut vad som skulle ske. Han tyckte nog att det var lätt att minnas hur det såg ut på datorskärmen, hur graferna låg i förhållande till varandra och förstod idén med fasförskjutningen. Han ansåg dock att det var viktigt att läraren i klassen gick igenom grundläggande begrepp i fysiken så att eleven sedan kunde dra slutsatser då han jobbade med datorverktyget. BullsEye kände tillfredsställelse över att ha gjort upptäckter, men tyckte ändå inte att det var oväntade sådana. Han kände sig duktig då han tyckte sig kunna förutsäga resultatet av knapptryckningar, vilket också var ett resultat av flitig diskussion med parkamraten.

> BullsEye: ”... då man kunde räkna ut vad som skulle hända före man tryckte på [knappen] **öka** eller **minska** värden så … tyckte man att man var bra som kunde räkna ut … t.ex. fasförskjutningen. Då man ökade på det så måste fasförskjutningen öka, minskade jag på det där så måste fasförskjutningen minska.”

Joker ansåg att motivationen var avgörande då han skulle lära sig något och spelade stor roll då han kände sig trött. Också andra elevers framgångar stärkte Jokers motivation så att han ”tog i” lite extra. Betyget var en viktig motivationsfaktor i slutet av gymnasietiden, eftersom han kunde räkna ut vilket vitsord han borde ha. Framtida studier, där fysik kunde ingå, gjorde att Joker försökte lite mer. Beträffande lärande med PDRac-verktyget tyckte han att det var intressant att få prova på något nytt, eftersom det var sällan eleverna använde dator i undervisningssituationer. Jokers intresse och emotionella attityd var starkt bundna till att han kom underfund med fysiken i interaktionen med parkamraten (BullsEye).

Joker ansåg att ansvaret var större under de datorbaserade lektionerna, eftersom han själv måste ta reda på vad han ville veta. Han var visserligen beredd att ta detta ansvar, men läraren hade också ansvar att komma och visa om han behövde hjälp. För Joker innebar medvetenhet om ansvaret att han läste mer. Vid datorn kunde han jobba i egen takt, välja hur svåra saker han ville göra och kunde avbryta då han fick nog. Då läraren hade kontrollen, dvs. under en vanlig lektion, hann man gå igenom mer än under de datorbaserade lektionerna. Vad prestationen gällde ansåg Joker att det var bättre att få skriva ner en sak och kunna se den på samma gång. Informationen i PDRac-verktyget var på något sätt flyktig: han kunde visserligen studera en sak, men sedan var informationen borta. Visserligen såg han på begreppen och fenomenen och förstod dem på ett annat sätt och tyckte att det också hade sina positiva sidor. På en lektion bekräftade man vanligen saker och ting, men med PDRac-verktyget såg man händelseförloppet, som på det sättet bättre fastnade i minnet. Förklaringar av läraren var många gånger nödvändiga. De gånger Joker kom på orsaken till ett händelseförlopp, t.ex. sådant som gällde fasförskjutning, kändes det tillfredsställande. Det kändes emellertid inte så bra i utvärderingssituationen, eftersom han i början inte kom på någon idé om hur han skulle göra.

> I (=intervjuaren): ”Var de tre sessionerna olika för din del?”
> Joker: ”Nej … inte skulle jag säga det … ja, den där sista var ju lite … hur man skulle göra för att komma igång. Det tog en stund innan jag fattade att så här ska jag göra. Men sedan då man … jag hann ju inte så långt, jag hann bara med de två första. Det tog så länge att komma underfund … men när jag gjorde det gick det nog … då visste jag vad jag skulle göra.”

Hook tyckte att det var väldigt motiverande, roligt och annorlunda att arbeta med datorn som hjälpmedel jämfört med att bara sitta och skriva av tavlan som under vanliga lektioner. Datorn kunde skapa möjligheter till en annan typ av lärande. Han menade att vitsord inte var en motivationsskapande faktor i detta försök. Hook jämförde ansvaret vid datorbaserat lärande med läxläsning: ”Inte kollar ju läraren att man har gjort läxor, man måste göra dem själv.” Han ansåg att han själv måste vara beredd att ta ansvar fast han inte fick något svar från någon. Han var tvungen att försöka leta upp ett svar i sådana fall. I utvärderingen var det självklart att ansvaret var större.

Kontrollen i lärandesituationen med PDRac-verktyget gick enligt Hook ut på att man själv skulle ta ut värden ur graferna, dra slutsatser, byta värden osv. Tempot blev stressigt, man hade för lite tid på varje uppgift, men man fick i varje fall bestämma takten själv. Han tyckte ändå att eleverna fick en bra förberedelse inför den första datorbaserade lektionen. I utvärderingssituationen hängde Hook inte med till att börja med, så det tog en stund innan han kom i gång.

Hook tyckte det var svårt att uttala sig om möjligheterna att kunna prestera något med hjälp av datorverktygets visuella presentationer.

> I: ”Har datorverktyget på något sätt hjälpt dig?”
> Hook: ”Man såg ju på datorn hur den där kretsen såg ut. Så fick man ju fram genom grafer hur strömmen gick och … nog får man ju det med oscilloskopet förstås, men …”
> I: ”Fanns det något i datorverktyget som hjälpte dig på ett annat sätt än oscilloskopet?”
> Hook: ”Man fick ... inte får man ju direkt värden där [i oscilloskopet] ... förstås om man kopplar in olika mätare ... men det var enklare med datorn …”
> I: ”Jag måste förtydliga: du menar att med datorns hjälp så får du värden …?”
> Hook: ”… ja …”
> I: ”… som du inte får med … oscilloskopet?”

Hook insåg här att det fanns skillnader mellan en dators och ett analogt instruments möjligheter att presentera data. Man kunde också få fram grafer snabbare med datorn än genom att rita dem, man fick alla värden direkt och behövde inte räkna ut dem. Eleverna borde ha fått möjligheter att arbeta mer med verktyget, eftersom växelströmsläran inte upplevdes vara särskilt lätt, enlig Hook. Han var osäker på vilken slags förståelse man kunde få under lektionerna med datorn, men tyckte sig ändå förstå hur det fungerade i praktiken. Han fick inte svar på alla frågor, eventuellt på delfrågor, vilket i sig var tillfredsställande, men han visste inte om slutsatserna på basis av värden och grafer var korrekta. Under begreppsintroduktionslektionen tyckte han att instruktionerna var för få och han hann inte med alla uppgifter här heller. Dock fann han att verktyget hade framtiden för sig.

Panther, som var intresserad av datorer, ansåg det mer motiverande att lära sig när man fick använda datorer. Det gav mer omväxling jämfört med att sitta i klassrummet och skriva det som läraren skrev på tavlan. Motivationen var dock beroende av att han förstod. Några känslor sade sig inte Panther ha i datorsammanhang. Det handlade mest om intresse. I utvärderingssituationen var det alltför många nya begrepp, så det påverkade attityden till datorbaserad undervisning mot en negativare riktning.

För Panther gällde nog att han automatiskt tog större ansvar då lektionen flyttades från klassen till datasalen. Han tyckte att han lärde sig bättre, då han tog ansvar. (Denna uppfattning sade han sig delvis ha förändrat från experiment-

situationen till intervjun.) Under den andra lektionen med begreppsintroduktion hade han svårt att komma underfund med begreppen och de olika fenomenen.

Med avseende på kontrollen var det bra att han fick gå fram i egen takt. Han kunde gå vidare då han visste att han förstod. Så brukade det inte vara under en vanlig lektion, då alla skulle gå vidare i samma takt. Panther tyckte att han kunde gå framåt snabbare i den första didaktiska situationen, men i de två följande avtog takten. I utvärderingssituationen hann han inte med alla uppgifter.

Panther var inte nöjd med det han presterade. Begreppen, t.ex. fasförskjutningen, i växelströmsläran var svåra att förstå och lära sig, och det var svårt att komma underfund med hur olika komponenter påverkade varandra. Undervisningssituationen upplevdes som främmande. Det kunde visserligen kanske vara lättare att minnas vad man gjort när man sett det på dataskärmen: ”Ja, jag tror nog att man lär sig bättre när man får se, som just numeriska data och grafer och man får ändra på värden själv och se vad som händer, så tror jag att man har möjlighet att lära sig lite bättre … att förstå.” Panther trodde dock inte ändå att det ledde till någon större kunskap och färdighet under de datorbaserade lektionerna. Läraren borde ha introducerat de nya begreppen på tavlan, så skulle han ha förstått dem bättre. Läraren borde ha styrt mer – som på vanliga lektioner.

Edison var inte särskilt motiverad att delta i den datorbaserade undervisningen. Han påstod sig inte vara en ”typ” som gillade datorer. Det var för stora motgångar, som minskade motivationen. Vissa saker förstod han inte, åtminstone inte genast. Läraren hade, enligt Edison, under tidigare lektioner visat på olika fenomen med oscilloskopet, men han kunde inte följa allt som skedde i en stor klass. I det fallet hade datorn en fördel. Edison tyckte att han med verktygets hjälp kunde studera grafen och självmant ändra värden. Sådant som stärkte hans motivation var saker som var lätta att förstå, som han ville veta mer om och gå framåt med. I detta sammanhang tänkte han inte så mycket på att han skulle ha haft nytta av verktyget för att få ett bättre vitsord. Han blev inte heller så nyfiken på att han kunde få grafer att ändra form.

Edison blev irriterad på att det alltid kom frågan *varför* i handledningspappren i de uppgifter han skulle gå igenom. Det var inte lätt att tänka ut vad som hade hänt, det blev invecklat och han hängde inte med, var inte heller van vid det. Av utvärderingssituationen fick han inte ut något. Vad ansvaret beträffade, så låg det på eleven, enligt Edison, men kunde ju förstås läraren komma och se hur det gick framåt och hjälpa till vid behov.

> I: ”Tror du att du där (andra påståendet i enkäten för övningssituationen, se bilaga 10) inte riktigt kunde acceptera ansvaret?”
> Edison: ”Ja, kanske jag skulle ha velat att någon annan skulle se till att jag klarar av det också.”
> I: ”Men här (första påståendet) tycker du nog ändå att det var rätt att du skulle ta ansvar för övningarna?”

> Edison: ”Ja, nog måste jag ju ändå ta ett visst ansvar. Inte är det ju så att en lärare ska hinna se till att jag gör allting, utan klart att jag har ett visst eget ansvar också, men nog vill jag att någon annan ser till att jag gör allting rätt.”

I början av situationen begreppsintroduktion borde eleverna enligt Edison ha fått en allmän information om vad den gick ut på. Edison höll med om att man fick arbeta i egen takt och själv försöka komma fram till svaret. Han kunde se vad som hände på dataskärmen, fick ändra värden, studera grafer, men det tog en stund att förstå hur allt hängde ihop. Han uppgav sig vara kritisk mot upplägggningen: man fick ett papper, skulle fundera ut vad man kunde göra med programmet, fyllde i pappret, men man hängde inte alltid med vad som var meningen att man skulle lära sig. Programmet var i sig bra, man såg grafer, kunde ändra, det var lätt att snabbt se, men man kunde själv ha fått berätta lite om det, det skulle ha underlättat. Läraren kunde ha visat på olika samband. Vid begreppsintroduktionen tyckte han sig ha större kontroll över verktyget, men hade önskat mer vägledning i form av samband mellan olika fenomen som tidigare hade tagits upp. Gjorde man fel i utvärderingssituationen blev det kortslutning i kretsen. Han kunde av grafen se vad som fungerade, men mycket blev tyvärr halvfärdigt.

Förståelsen var inte den bästa enligt Edison. I någon mån kunde verktyget hjälpa en att förstå *varför* och hur det hängde ihop och vad som inverkade då man ökade och minskade på värden. I utvärderingssituationen blev det så att han bara satt och klickade tills något hände. En viss grad av tillfredsställelse kunde Edison dock uppleva. Han kunde se grafer, öka och minska på värden, se vad som hände och hur det inverkade på olika saker. Emellertid var han inte helt övertygad om datorn som utvärderingsverktyg:

> Edison: ”Ja nå, inte enbart, om man sätter en elev framför en dator och säger hur, lär honom hur han ska använda programmet … säger att han ska upptäcka nya saker … inte händer det kanske alltid så utan att … om man har det jämsides med undervisningen kan det vara bättre att läraren säger … kommer med ett påstående och visar hur … man får veta vad som hänger ihop och sedan får man prova och själv se vad som händer. Då är det ju ett bra hjälpmedel, men att enbart använda dator tror jag inte på.”

HaleB fann att det var utmanande att syssla med PDRac-verktyget och få fundera ut saker. Målet var att lära sig en sak på ett nytt och lite ovanligare sätt, kanske lära sig bättre, men utvärdering eller ett bättre vitsord var inte en grundläggande motivationsfaktor. Enligt HaleB kunde omgivningen påverka hans motivation på det sättet att han skulle ha kompisar att då och då diskutera fysik med, exempelvis aktuella saker. Besvikelsen var dock påtaglig i utvärderingssituationen då han inte tyckte sig komma någonvart. HaleB kände dock en viss nyfikenhet på hur datorbaserad undervisning fungerade. En känsla av olust eller hopplöshet infann sig då han inte visste vad uppgiften egentligen gick ut på.

Under dessa datorbaserade lektioner måste eleven tänka själv, fundera ut saker, och då kände han ett större ansvar. Det var viktigt att läraren ibland kom för att diskutera, så att han kom vidare i sina tankegångar. (Detta kan troligen tolkas som ett önsketänkande, eftersom läraren gjorde få besök hos elevparet HaleB–Edison.) Den begränsade tiden blev dock en stressfaktor. Det blev för kort tid att lära sig bland annat hur alla knappar fungerade.

HaleB gjorde sitt bästa för att prestera något, men blandade ihop olika begrepp. Vissa saker var han nöjd med men behövde mycket tid för andra. Han såg i alla fall vissa samband då han ändrade på värden. Det visuella intrycket var grundläggande för att prestera något i utvärderingssituationen, men HaleB var missnöjd. Förståelsen för den fysik som verktyget representerade varierade för HaleB. Det fanns anvisningar för hur han skulle göra, och sedan skulle han dra slutsatser, men han saknade information om ett klart slutmål som han skulle komma till. Ytterligare anvisningar som inte hade varit alltför avslöjande önskades. Han tyckte att han borde lära sig bedöma utgående från grafer, eftersom man i verkligheten ofta gör så. HaleB kände tillfredsställelse i sådana situationer då han gick igenom olika uppgifter och kunde diskutera med Edison, MattiAht och läraren. Speciellt tillfredsställande var det då han kom fram till något som visade sig stämma. I utvärderingssituationen försökte han lösa första uppgiften utan att begära hjälp av läraren.

> I: ”I första uppgiften i provsituationen hade du bara fem knappar a, b, c, d, e och du visste inte vad de hörde till …”
> HaleB: ”Ja, på det sättet, jag kommer ihåg lite av det där att jag tänkte på det. Jag tror att det var så att man fick köpa vissa uppgifter av läraren då han gick runt, men det gjorde jag inte utan jag försökte ju komma fram till allting på egen hand. Jag tror det var ungefär så jag resonerade i det fallet, att jag skötte det där själv, att jag klickade på knapparna utan att fråga läraren. ... Jag frågade ju inte efter någon hjälp eller så.”

Han hade dock gjort fel i uppgiften och märkte det då han skulle lösa den andra. Han var då tvungen att gå tillbaka för att ändra och det tog tid. Det var inte någon bra känsla efter den situationen.

Hulda tyckte att lärande i PDRac-miljön gav den variation i undervisningen och avvikelse från det traditionella som var motiverande:

> Hulda: ”Jag tyckte det var trevligt att få göra något annat på en fysiktimme … så bara det så …”
> I: ”Varifrån kom motivationen?
> Hulda: ”Nå, man är så van att man alltid ska sitta i klassen och räkna, kanske, eller gå igenom något, skriva … samma saker hela tiden, så det är ju alltid roligt med något nytt.”
> I: ”Varifrån kommer motivationen för din del?”
> Hulda: ”Det är helt enkelt det att man vill klara det. Fördjupad fysik är något man vill klara sig i. Det är bara så.”

> I: ”Finns det någon annan form, kan motivation komma någon annanstans ifrån?”
> Hulda: ”Nå, en sak som jag tyckte var ganska bra var det att det var ganska färgglatt … och det gjorde ju att det var mycket roligare att sitta där!”

Datorbaserad undervisning kunde också skapa variationer i känslor. För Hulda var dessa intimt sammankopplade med hennes förståelse av det hon skulle lära sig.

> Hulda: ”Det var både och … man märkte att det var något som man förstod, eller något nytt som man kom på och då blev man ju glad förstås och då var det mycket roligare att fortsätta. Men om det då var något som … om väggen kom emot och man inte fattade något, då blev man ju bara irriterad. Då började man sitta och titta runt sig och man hade inte samma motivation att fortsätta då.”
> I: ”Kan du komma ihåg när du fick en positiv attityd? Var det någonting speciellt som hände?”
> Hulda: ”Det var en sak som jag inte visste förut och som jag kom fram till på egen hand och som ... jag minns inte vad det var … det var ganska väsentligt nog … och jag hade inte förstått det tidigare, men just då kom jag på det, eller … det gick upp ett ljus för mig … och det var ju ganska trevligt.”

Enligt Huldas egen uppfattning hade parkamraten (MattiAht) saker och ting klart för sig, men inte hon. Han försökte förklara för henne, men det ”gick inte hem”, dvs. hon förstod inte förklaringen, vilket resulterade i att hon blev irriterad.

Hulda ansåg att eleverna själva måste ha största ansvaret, så att de försökte ordentligt. Utan facit måste man se till att man var säker på att man svarade rätt, var hennes åsikt. Ansvaret hörde inte till någon annan, ”vi är ju inte som små barn längre”. I sådana här situationer borde man jobba i egen takt, inte ha för bråttom. Det måste visserligen gå fort om man ville gå igenom allt, men det behövde man inte nödvändigtvis göra, ansåg hon. Delvis tyckte hon att hon klarade av programmet, men vid djupare eftertanke var det inte så enkelt. ”Det var ju så enkelt att sätta in de där värdena ... det var det ... men det var svårt att förstå sedan *varför* ... på kurvor och så ... .” I utvärderingssituationen fick hon nog uppgifterna gjorda med den tillgängliga informationen, men hon förstod dem inte. Hon skulle ha behövt mer vägledning och dessutom inspiration.

Ibland kände hon nog att hon åstadkom något, men förståelsen var inte den bästa. Det kändes bra då hon fick något gjort, men det varierade. Om hon kände sig irriterad så yttrade det sig inte som en önskan att lära sig. I utvärderings-situationen kände hon dock att hon hade en bättre dag, fast hon trodde sig bara ha klickat för att komma till resultat.

MattiAht hävdade att man inte lär sig något utan motivation. Han var intresserad och ville lära sig om växelströmmar med hjälp av PDRac-verktyget. Han var intresserad av fysiken som sådan och ansåg att växelströmsläran var lämpligt eller till och med ganska svår. I utvärderingen var det bra att använda

samma verktyg, eftersom han kände igen det och kunde lite om det. Han kände ingen irritation över detta arbetssätt. Utvärderingssituationen kom han bra igenom eftersom han hittade knapparna.

> I: ”Du blev ganska fort färdig med första uppgiften i utvärderingssessionen?”
> MattiAht: ”Ja, det där första var ju inte så svårt …”
> I: ”Jaha, du tyckte inte att det var svårt?”
> MattiAht: ”Nä, …”
> I. ”Det har de flesta tyckt … att det var svårt. Varför tyckte inte du att det var svårt?”
> MattiAht: ”Nå, inte vet jag nu … det var ju bara, bara man kom på vilket som var spänningen först så kunde man ju se grafen då, vilket som … om det var induktans eller … resistans …”
> I: ”Det var intressant att höra för att det här har varit en svår situation. Du tyckte att du förstod hur man skulle göra.”
> MattiAht: ”Jo, det förstod jag nog bra.”

Mer ansvar var han tvungen att ta då han själv styrde det som man skulle genomföra. Visserligen var det bra att få ta lärandet i egen takt, men läraren och handledningsmaterialet borde ha varit till mer hjälp. Beträffande förståelsen tyckte MattiAht att graferna hade en betydelsefull roll och också det att han fick prova sig fram. Hur fasförskjutningen fungerade var ett bra exempel på detta. MattiAht kände tillfredsställelse med uppgifterna.

Ice hävdade att motivation var den viktigaste faktorn i lärande. Om man var motiverad kunde man lära sig vad som helst. Den datorbaserade undervisningen var en bra övergång från vardagen, han fick göra annat, arbeta med datorn, dra egna slutsatser, arbeta med problem och dessutom fick han ”gå sin egen väg”. Det var lärorikt. Intressanta föreläsningar, intressanta problem och nytänkande motiverade Ice. Den egna viljan var drivkraften för att lära sig, ansåg han. Studentexamen i sig var inte en motivationsfaktor för Ice, men om han lärde sig det som var avsett, ansåg han att han hade en god chans i studentexamen. Det som motiverade Ice att studera växelströmsfenomen med PDRac-verktyget var att han hade byggt många filter till förstärkare och förstod denna fysik på ett praktiskt plan. Ett filters funktion byggde på kondensatorer och spolar. Ice var bekant med effekterna och fick därför motivation att lära sig mer. Ice tyckte att hans attityd blev positivare då han fick göra annat som omväxling och delta i annorlunda lektioner. Han tyckte att det kunde bli långtråkigt att sitta i klassen hela tiden.

PDRac-verktyget var åskådligt på det sättet att man kunde se hur saker och ting ändrades, då man varierade olika tal. Emellertid tyckte Ice att uppläggningen med avseende på grafer var något rörig. Han fick dock bättre kontroll mot slutet av försöket. Han tyckte ändå att det fanns otroliga potentialer i att göra effektivt lärande av växelströmsläran med hjälp av verktyget efter några mindre förändringar.

> I: ”Vilken slags kontroll ska man ha i en sådan situation?”
> Ice: ”Jag anser personligen att det ska vara ganska fritt, men det hjälpte otroligt då en lärare kom ner och hjälpte – gav ’hints’ – åt vilket håll man skulle söka sig, och påpekade då man hade någonting rätt eller fel ... om man hade dragit felaktiga eller rätta slutsatser. Men jag lärde mig personligen ganska mycket genom att dra egna slutsatser, jag har lättare att lära mig på det sättet än att man får en färdig slutsats framdragen för sig, vill hellre dra dem själv.”

Begreppsintroduktionssituationen var mer givande än övningen, men läraren borde ha gett handledning för att få ens slutsatser bekräftade. Det var tidskrävande att själv försöka dra slutsatser. Ice ansåg att ansvar och motivation hängde ihop. Var han motiverad tog han ansvar, i annat fall ”brydde han sig inte” utan väntade på att lektionen skulle ta slut. Om en elev fick frihet att jobba med datorn på egen hand, så var det dumt att inte ta ansvar, ansåg han. Han hävdade att han höll sig till programmet och tänkte inte ens att börja med någonting annat.

Utvärderingen var svår trots en bra beskrivning i handledningsmaterialet. Ice visste inte vad han skulle göra då han inte hade gjort någon utvärdering på liknande sätt. Den var för tidskrävande, så han tyckte att han inte hade kommit långt, fast det var han något osäker på. Emellertid fanns det, enligt Ice, vissa risker med utvärdering av den här typen. De som var bra på datorer hade ett försprång. Sådana kunde till och med fuska, eftersom man med datorn hade fri tillgång till information som man kunde få tag på. Han blev dock missnöjd med det resultat han trodde sig få i utvärderingen och var på dåligt humör i den situationen.

> I: ”Du var mer neutral i utvärderingen, vad kan det bero på?”
> Ice: ”Utvärderingen gick väl inte riktigt så bra egentligen. Jag kände att det blev nästan hopplöst, när tiden höll på att ta slut och jag hade inte kommit alls så långt som jag ville ha kommit. Jag körde fast, men jag löste problemet själv, fast jag egentligen borde ha köpt det där [tipset]. Då hade jag säkert fått mer poäng.”

Likväl ansåg han att det var de grafiska framställningarna som gjorde att han klarade uppgiften. Han fick ett bättre grepp om problemet genom att ha graferna framför sig, så att han fick en praktisk bild av situationen och kunde relatera till praktiken som han var bekant med.

Ice förespråkade att grunderna i förståelsen måste tas upp under en lektion. Verktyget förklarade inte varför en spole hade hög reaktans och en kondensator låg reaktans vid höga frekvenser. Men verktyget gav en tydligare bild av hur de olika komponenterna påverkade varandra när frekvensen ändrade och hur strömstyrka och motstånd och sådant varierades. Det var givande. Ice började förstå fenomenen bättre i praktiken, inte bara i teorin, dvs. sådan teori som han lärde sig genom härledningar av formler. Man kunde ju undersöka resonans

genom att lära sig formlerna, hur resonans uppkom, men han lärde sig bättre visuellt.

Villemo ansåg att intresse för ett ämne, svårighetsgrad och motivation hörde ihop. Om hon tyckte om det hon höll på med och hade ett mål var det lättare att sätta sig in i det man skulle lära sig. I Villemos framtidsplaner ingick studier som krävde både datorkunskap och fysikkunskap. I övningssituationen kände hon osäkerhet, som gränsade till irritation. I följande situation, begrepps-introduktionen började hon komma underfund med saker och ting, medan hon i utvärderingssituationen var besviken på sig själv då ”det inte blev till något”.

> I: ”Hur är det att ta ansvar för en inlärning då det inte ges något svar?”
> Villemo: ”Det är ganska svårt egentligen nog – alltså nog måste man kunna försöka själv också och försöka ta ansvar för vad man håller på med ... men det känns nog lite som – inte vet jag meningslöst, men det är som om man ingenting har att komma fram till. Det är svårt, man vill ju se om man verkligen har lyckats att få något resultat och så där. Om man inte har något svar kan man ju inte kontrollera det heller …”

Villemo menade att man måste kunna ta ansvar oavsett vilken miljö man befann sig i. Det var delvis större ansvar under de datorbaserade lektionerna än under vanliga lektioner, men läraren fanns till hands, så att man kunde fråga. Men hon fick fundera och tänka mer än i en vanlig klassituation. I klassen kunde det vara så att då läraren ställt en fråga, så kom svaret innan hon själv hade hunnit fundera ut det. Det var viktigt att man verkligen hann fundera också, och så kunde man be om hjälp om man inte kom fram till svaret själv. Under sådana här datorbaserade lektioner kunde man gå fram så fort man tyckte och var inte beroende av en klass. Man kunde reglera i vilken takt man ville studera. Med datorn kunde man kontrollera saker många gånger. På en lektion hann man kanske inte fatta och saker blev oklara. Bilden på dataskärmen gjorde att man lättare fick en uppfattning om vad man höll på med jämfört med då man satt och skrev text och formler.

Villemo ansåg det viktigt att kombinera dataprogrammet med lärarinsats, så att läraren kontrollerade vad hon gjorde och kunde förklara då hon inte förstod. Det var inte lätt om hon inte själv kände att hon hade grepp om det. Men tack vare samarbetet med parkamraten (Ice) behövde hon inte ha mer information av läraren eller handledningspappret. I lektionen med begreppsintroduktionen ingick nya saker och mer fördjupning, vilket gjorde att hon skulle ha behövt mer information för att komma vidare.

> I: ”Kände du att du hade kontroll på den sista sessionen [utvärderingen]?”
> Villemo: ”Nej inte på den där sista – det är just det där då man arbetar själv och har fått se eller hållit på med en ny sak på bara ett par sessioner, så det är för lite för mig personligen. Jag vill ha mer fördjupning i vad jag håller på med innan jag kan tillämpa det så där på egen hand.”

Villemo tyckte att det förstås var roligare och mer givande om hon kunde prestera någonting. Det fungerade bättre i de två första didaktiska situationerna, men den sista ”gick inte hem”. Jämfört med vanlig lektion förstod hon kretsen bättre, då hon fick en bild av den – en uppfattning, men att bara sitta och fundera på den verkade inte tilltala henne. Det som kanske var lite annorlunda i detta sammanhang var att hon försökte tänka bildligt, och också tänka på frågan *varför* och hur det kunde bli så här. Hon tyckte att det praktiska – vad man skulle använda verktyget till – inte kom fram. Det faktum att man såg saker och ting samtidigt på dataskärmen påverkade ganska mycket, ”för om man ritar upp en bild och räknar ut utgående från den så inte ändras ju något i bilden fast man skulle ändra det själv – då kanske i huvudet – och se det framför sig, så att det är ju lättare …”.

> I: ”Vad har du för synpunkter på förståelsen då det gäller datorbaserad undervisning och fysik?”
> Villemo: ”Ja, jag tycker nog personligen att det är svårt att förstå varför, att man nog kan förstå på ett ungefär, men då man ska börja tillämpa det där själv och försöka få ihop något av det själv, då är det nog svårt – eller det beror på vad det handlar om – vad man behandlar för ämne – men, i vissa fall, eller ska vi säga i de flesta fall, så är det nog svårt att förstå just sådana där formler och regler och varför det ska vara så, hur det kommer sig och hur de har kommit fram till det, att man vill helst ha praktiska exempel, och det tycker jag att det är ganska sällan att man får – så att man bara ska lära sig i teorin och då ska man förstå det – och det tycker jag är fel. Jag tycker att man ska nog få det där lite så att man vet var man använder det – jag åtminstone förstår det bättre då.”

> I: ”Vad var det i programmet som påverkade din förståelse? Kan du hitta någonting där som …”
> Villemo: ”Ja, nå just alltså den där bilden ... då man tog fram grafen så kunde man se … genom att man kunde se grafen på samma gång som man ändrade värden och se hur det ändrades ... att om man bara ser en graf och ska komma fram till ’vad som har hänt nu riktigt’, så det är nog svårare, att bara se det en gång, än då man ser att det verkligen ändras – att det händer något.”

Villemo tyckte att det var för kort tid att sätta sig in i sessionerna, vilket gjorde att det inte blev tillfredsställande. Hon ansåg att eleverna borde ha fått arbeta mer, verkligen sätta sig in i programmet, då hade de känt sig bättre till mods. Man borde sitta och prova olika värden, diskutera och se vad som ändrades – och varför det ändrades – och hur kurvorna förhöll sig till varandra så att man förstod vad det handlade om. Utvärderingssituationen var svår speciellt för dem som inte har datorkunskap, ansåg Villemo. Programmet [verktyget] var ändrat och det att man skulle komma underfund med saker och ting själv gjorde att man inte förstod hur man skulle göra.

Dufva ansåg – beträffande motivationen – att det var viktigt att han själv visste varför han ville lära sig. Motivationen var viktig då han själv hade hand om lärandet. Det var viktigt att han brydde sig om det han gjorde och inte bara satt

och klickade. Om han inte hade någon orsak, inte kände att han hade något intresse av att lära sig, blev det mest till klickande på lek. Om han inte förstod minskade motivationen och det ledde till att han ”inte brydde sig”. Om han märkte att han lärde sig blev han motiverad. I kombination med vanlig undervisning skulle denna typ av lärande hjälpa upp motivationen. Under lektionen med begreppsintroduktion tyckte Dufva att han kände sig tvungen att vara intresserad. Han försökte att inte låta provet bestämma motivationen utan försökte lära sig något. Under begreppsintroduktionen fick han inga speciella känslor, ordet ”olustkänsla” tyckte han ändå lät för kraftigt. I utvärderingssituationen var han omotiverad, eftersom han tyckte att det inte gick så bra. Han blev trött på det hela. Hans attityd bestämdes av hur han tyckte att det gick framåt och hur han klarade uppgifter.

I den datorbaserade undervisningen måste eleven själv, enligt Dufva, ta mer ansvar för att försöka lära sig något, att gallra ut det viktiga, att välja det man skulle lära sig. Det kunde vara svårt att avgöra vad som var viktigast, men det var också bra på ett sätt. På en vanlig lektion skrev man av tavlan och där stod egentligen det som man skulle lära sig. I arbetet med datorverktyget fick man välja ut det själv. Det var ju lättare om det blev serverat som på vanliga lektioner. ”Ja, jag är väl en ganska lat person egentligen, om jag ska vara ärlig så – ja – kanske jag tycker att det är lättare nog om man får det [serverat].” Det var bra att man kunde testa i egen takt. Han hade i vissa delar nytta av att testa själv genom att klicka och se hur det omedelbart påverkade. På en vanlig lektion var det läraren som gick igenom i sin takt. Beträffande tempot gick det ”trögt” för Dufva. Han ville nog gärna ha hjälp, men insåg att det var svårt för läraren att vara på alla ställen samtidigt.

Dufva hade svårt att bedöma om sessionerna har hjälpt honom att konstruera kunskap. Han tyckte att då han själv fick ändra [storheter] och genast fick se följden av ändringen, trodde han att ”det fastnade lite bättre”. Egentligen förstod han inte hela växelströmsläran så bra. Han ansåg att han borde ha förberett sig lite bättre och gjort saker klart för sig på förhand. ”Jag tror inte jag kände någon speciell tillfredsställelse – egentligen inte – för att det var inte så tydliga svar, man visste ju inte exakt om man hade löst dem.”

Einstein kände att motivationen växte då det blev en omväxling i undervisningen och man fick pröva på något nytt. Han var intresserad av datateknik. Han menade att belöningar i form av betyg påverkade motivationen. Det låg alltid i bakhuvudet att han skulle göra så bra som möjligt ifrån sig och det gällde speciellt i utvärderingssituationen. Han sade sig ha en positiv attityd till lärande med datorer. Han hade den inställningen att ”nu ska man ta i tu med att lära sig detta”, men han kunde också vara irriterad av någon orsak och tycka att han inte orkade.

Ansvaret var annorlunda såtillvida att han hade ansvar själv för vad han gjorde, att han lärde sig, försökte, iakttog, funderade och förstod. Till den vanliga klass-undervisningen kom han i princip för att följa med vad läraren undervisade. Einstein trodde att personer som inte förstod sig på datorer eller ”tålde dem” kanske inte kände ansvar. Han tyckte att det var bra att han fick bestämma i den bemärkelsen att han hade kontroll över vad han förhoppningsvis lärde sig, och att han avsatte mer tid om han inte riktigt hängde med, tills han började behärska det, att han inte gick vidare förrän det var klart. Kontroll utifrån var att han faktiskt gjorde det han skulle göra och inte bara satt och lekte och surfade omkring på nätet, vilket kunde inträffa om han inte förstod, var skoltrött eller annars kände leda. Det gick så lätt att växla mellan program.

Einstein trodde inte att arbetet med PDRac-verktyget hade ändrat hans sätt att tänka i växelströmsläran. Han tyckte dock att det visuella, dvs. då man såg diagrammen och vad som hände då man till exempel ökade på motståndet, det fastnade nog. Han klagade över att han i utvärderingen inte gjorde bättre ifrån sig. Tiden räckte inte till och han hann inte med allt. Det fanns saker som Einstein inte förstod, men det fanns tillfällen då han fick aha-upplevelser och upplevde tillfredsställelsen att ”nu vet jag, att så där ska det vara”. Men de gånger han inte riktigt visste, det var när de där *varför*-frågorna kom, och då kände han att han inte förstod, men han hade möjlighet att fråga läraren varför det blev som det blev.

> I: ”Det fanns inga formler, bara numeriska data, grafer och en bild av kretsen. Hur påverkade det dig?”
> Einstein: ”Mm …”
> I: ”Tycker du att formeln är viktig för att kunna förstå fysik?”
> Einstein: ”Nej, nog är det viktigare att man förstår varför, för att vi har ju … nog måste man förstå formeln också, annars kan man ju inte använda den. Jag skulle nog säga att det är viktigare att man förstår varför det händer.”

Innehållet i ovanstående intervjukoncentrat kan i vissa fall associeras till data i tabellerna 10, 11, 12 och 13 och till kvalitativa emergenta data, som presenteras nedan.

Insamlade och emergenta data som ger stöd för tolkning av uppfattningar

a) Fördelningen av antalet lösta uppgifter. Förutom de enkätdata som associeras till uppfattningar av effektivt lärande antecknade eleverna också vilka uppgifter (se bilaga 9) de utförde under de didaktiska situationerna. De tre uppgifterna i övningssituationen innehöll sammanlagt tretton delmoment. Tabell 10 visar att alla elever har slutfört uppgift 1, som handlade om självinduktion och Lenz’ lag. Ingen av eleverna hann slutföra uppgift 2 (problemsituation 2a, b i bilaga 3), som behandlade momentanspänning och -potential. Ingen elev hann överhuvudtaget börja på med uppgift 3 (problemsituation 3), som behandlade impedans-begreppet.

I situationen begreppsintroduktion fanns det tre huvuduppgifter indelade i sammanlagt 28 delmoment. Uppgift 1 (problemsituation 1a i avsnitt 4.2.3, 1b i bilaga 7) behandlade RL- och RC-kretsen, uppgift 2 (problemsituation 2 i avsnitt 4.2.3) var den didaktiska situationens huvuduppgift, som behandlade serieresonansbegreppet – ett nytt begrepp som introducerades med hjälp av PDRac-verktyget. Den sista uppgiften (problemsituation 3 i bilaga 7) behandlade impedansens och reaktansernas frekvensberoende samt resonansbegreppet på ett djupare plan. Elevparet BullsEye–Joker slutförde uppgift 1, men inga andra uppgifter (BullsEye var under intervjun ganska säker på att han aldrig hann komma till serieresonansfenomenet). Samma gällde elevparet Edison–HaleB. HaleB uppgav endast sex avklarade delmoment. Elevparet Dufva–Einstein arbetade i huvudsak med uppgift 1 och fyra delmoment av sex i uppgift 2. Resten av elevparen fördelade lektionstiden på alla uppgifter. Paret Hook–Panther behandlade endast RL-kretsen i uppgift 1, men satsade på resonansen i uppgift 2 och något på första delen av uppgift 3. Paren Hulda–MattiAht och Ice–Villemo arbetade med RL-kretsen i uppgift 1 och sedan med uppgift 2 och 3 i sin helhet.

Tabell 10. *Fördelningen av antalet lösta uppgifter i de didaktiska situationerna övning och begreppsintroduktion. Det totala antalet övningar i varje uppgift anges i parentesen. Uppgiftsnumreringen härrör från elevhandledningen och motsvarar problemsituationerna.*

		Didaktiska situationer							
		Övning				Begreppsintroduktion			
Namn	Par	Uppg. 1 (3)	Uppg. 2 (7)	Uppg. 3 (3)	%	Uppg. 1 (14)	Uppg. 2 (6)	Uppg. 3 (8)	%
BullsEye	1	3	3	0	46	14	0	0	50
Joker	1	3	3	0	46	14	0	0	50
Hook	2	3	5	0	62	6	6	3	54
Panther	2	3	4	0	54	6	5	3	50
Edison	3	3	2	0	38	13	0	0	46
HaleB	3	3	1	0	31	6	0	0	21
Hulda	4	3	3	0	46	7	6	8	75
MattiAht	4	3	3	0	46	7	6	8	75
Ice	5	3	3	0	46	4	6	8	64
Villemo	5	3	3	0	46	4	6	8	64
Dufva	6	3	2	0	38	11	4	0	54
Einstein	6	3	2	0	38	11	4	0	54

b) Provresultat. Det erhållna poängtalet i utvärderingssituationens uppgifter presenteras i tabell 11. En lyckad lösning av uppgift 1 var en förutsättning för att lyckas med de övriga. Fem elever slutförde denna uppgift utan hjälp av läraren, medan de övriga eleverna behövde få minst ett tips av läraren för att komma vidare. Poängsummans medelvärde för motsvarande grupper var 31,6 (s = 15,9) respektive 21,7 (s = 11,4). I tabellen visas dessutom elevernas medelvitsord för de sex fysikkurser som hade undervisats före klassexperimentet.

Den tid som eleverna behövt för att genomföra uppgifterna presenteras i tabell 12. Medelvärdet av tidsåtgången för de elever som inte behövde använda sig av lärarens tips var 30,6 min (s = 16,1 min) och för de övriga 29,0 min (s = 3,7 min). De elever som klarade sig utan tips behövde i genomsnitt något längre tid för att lösa uppgifterna.

Tabell 11. *Elevernas poängtal och poängsumma i uppgifterna i den didaktiska situationen utvärdering och medelvitsord i fysikkurser som har avlagts före klassexperimentet.*

	Poängtal (maximipoäng inom parentes)						
Namn	Uppg. 1 (15 p)	Uppg. 2 (12 p)	Uppg. 3 (33 p)	Uppg. 4 (10 p)	Uppg. 5 (30 p)	Poäng-summa	Medel-vitsord i fysikkurser
BullsEye	15	0	14	0	0	29	8,33
Joker	15	4	0	0	0	19	7,50
Hook	10*	2	11	0	0	23	6,83
Panther	10*	0	16	0	0	26	8,17
Edison	5**	4	10	0	0	19	7,00
HaleB	15	0	0	0	0	15	7,40
Hulda	9*	4	14	0	9	36	7,83
MattiAht	15	6	16	8	8	53	9,50
Ice	15	5	21	1	0	42	7,83
Villemo	0***	2	0	0	0	2	5,60
Dufva	5*	4	5	0	0	14	8,00
Einstein	6*	0	15	2	9	32	7,33
Medelvärde	**10,0**	**2,6**	**10,2**	**0,9**	**2,2**	**25,8**	**7,61**
s	5,2	2,2	7,2	2,3	3,9	13,7	0,94

Varje asterisk i poängkolumnen för uppgift 1 svarar mot ett lärartips à 5 p.

c) Lärar–elevinteraktion. De data som presenteras i denna punkt c och i punkt d har extraherats ur forskarens observationer och ur intervjuerna med de deltagande eleverna. Under klassexperimentet gick läraren runt i datasalen och hjälpte eleverna antingen spontant eller på elevernas anmodan. Innehållet i interaktionerna har inte undersökts utan här ges endast antalet gånger läraren besökte elevparen och i vilken ordningsföljd detta skedde. Tabell 13 visar att antalet interaktioner var betydligt fler under den andra didaktiska situationen och att fördelningen mellan elevparen var något ojämn.

Tabell 12. *Tidsåtgång i uppgifterna i den didaktiska situationen utvärdering.*

	Tidsåtgång (min)				
Namn	Uppg. 1	Uppg. 2	Uppg. 3	Uppg. 4	Uppg. 5
BullsEye	33,1	0,0	11,6	0,0	0,0
Joker	41,2	4,7	0,0	0,0	0,0
Hook	29,4	6,3	11,4	0,0	0,0
Panther	27,9	0,0	18,2	0,0	0,0
Edison	31,6	5,4	9,6	0,0	0,0
HaleB	47,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Hulda	27,6	1,3	9,2	0,0	3,8
MattiAht	6,5	3,3	18,0	9,3	8,7
Ice	24,5	7,2	13,9	1,8	0,0
Villemo	35,3	10,2	0,0	0,0	0,0
Dufva	27,2	0,3	18,8	0,0	0,0
Einstein	23,8	0,0	15,2	3,4	3,7
Medelvärde	**29,7**	**3,2**	**10,5**	**1,2**	**1,4**
s	10,1	3,5	7,1	2,8	2,7

Tabell 13. *Lärarens interaktion med elevparen. Talet anger ordningsföljden i vilken läraren besökte elevparen i didaktiska situationen övning och begreppsintroduktion.*

	Övning	Begreppsintroduktion
BullsEye–Joker	3, 5, 8	6, 7, 16
Hook–Panther	2	10, 17
Edison–HaleB	9	3, 15
Hulda–MattiAht	6	8, 14
Ice–Villemo	10	1, 4, 9, 13
Dufva–Einstein	1, 4, 7, 11	2, 5, 11, 12, 18

d) Parsamarbete. Under intervjuerna gav eleverna synpunkter på det samarbete som skedde mellan eleverna inom paren under de didaktiska situationerna. Tillsammans med forskarens observationsanteckningar utkristalliserades följande sju kategorier som karakteriserar meningsfullt parsamarbete. Kategorierna exemplifieras med utdrag ur observationsanteckningar och intervjuer.

1) Eleverna anser att det är bra att kunna diskutera med någon annan för att få svar på olika frågor och komma på lösningen till problem.

> I början av den didaktiska situationen övning antecknades följande observation: *Livliga diskussioner förekommer i varje par.*
> En halv timme senare antecknades följande: *BullsEye ropar till; har han kanske kommit på något? Diskuterar ivrigt med Joker.*
> Sedan antecknades: *Lugn diskussion i alla par. BullsEye kommer på en idé: ”Nu ska jag ta fram det här!”, säger han.*
> Ytterligare något senare: *Diskussion mellan Hulda och Villemo.* (Anm. Paret Hulda–MattiAht sitter nära paret Ice–Villemo.)

> I början av den didaktiska situationen begreppsintroduktion antecknades följande: *Diskussionen i paren är lugn. Eleverna pekar ofta på skärmen och förklarar för varandra. De verkar följa instruktionspappret noga.*
> En halv timme senare antecknades: *Joker och BullsEye har kommit på något, de för en diskussion som tyder på tillfredsställelse.*
> Efter ytterligare ett par minuter: *Joker och BullsEye har kommit på någon slutsats som de vill utvärdera tillsammans med läraren. De ropar på honom.*
> I slutet av sessionen antecknades: *Diskussionen i paren är betydligt livligare. Flera par har förmodligen kommit på serieresonansfenomenet.*

> I: ”Var det annorlunda då ni jobbade i par?”
> Hulda: ”Man hade ju någon att tala med då, någon som man kunde fundera med och se, kanske komma fram till något ... för att man har ju alltid mer information då man är två ... han kanske vet något som inte man själv vet.”
> I: ”Hur fungerade samarbetet i ditt par? Vilken betydelse hade det?
> Einstein: ”Nå, nog tyckte jag att det fungerade ganska bra och … nog hade det egentligen stor betydelse så att … det som jag inte förstod, så kanske min parkamrat förstod och tvärtom … och så fanns det ju vissa saker som nu inte riktigt någon av oss förstod direkt …”

> I början av den didaktiska situationen övning antecknade jag följande observation: *Dufva och Einstein diskuterar mycket.*
> En kvart timme senare: *Einstein och Dufva muntra. Einstein kallar på läraren.*

2) Parsamarbetet fungerar bäst om man är kompis med den andra.

> I: ”Är det något villkor för att diskussionen ska fungera?”
> BullsEye: ”Ja, nå, man kan ju inte vara ovänner … är man vänner och kompisar så är det nog lättare att diskutera.”
> I: ”Så det är ett villkor för att det ska fungera?”
> BullsEye: ”Ja, och så … med en helt okänd kan man inte diskutera och säga: ’Nä, det där stämmer inte!’ Inte säger man nu riktigt vad som helst till en som man inte känner.”

3) Båda måste vara intresserade.

> I: ”Tror du att sådana här inlärningssituationer … när man sitter och jobbar i par … att det skulle medverka till en positiv attityd?”
> Joker: ”Jo, om båda två är intresserade … men är det så att den andra inte är intresserad så är det inte sagt att man bryr sig, att det blir mest så att man tänker på något annat.”
> I: ”Så det är viktigt vem man kommer tillsammans med?”
> Joker: ”Ja, det skulle jag nog säga.”

I början av den didaktiska situationen övning antecknade jag följande observation: *Edison verkar ointresserad, kroppsspråket visar detta.*
I mitten av sessionen fanns anteckningen: *Edison verkar lite mer intresserad.*
I slutet av sessionen: *Edison läser i pappren, tittar på klockan.*

4) Datorbaserat lärande fungerar bäst om man jobbar parvis.

> I: ”Hur hade det fungerat om ni varit fler än två?”
> Hook: ”Då hade det kanske blivit så att det är någon som inte hade gjort något. Det är nog bäst, nästan, med två.”

> Dufva: ”Två och två tror jag också att är ganska lagom vid en dator, så att det inte blir flera än två ... två är ganska passligt.”

5) Båda borde vara jämspelta, arbeta i samma takt och ”fatta” lika fort (eleverna i ”resonans”!) för att parsamarbetet ska vara fruktbart.

> Hook: ”... honom [Panther] som jag arbetade med så var ... nog i samma takt så ... det var nu inte något problem.”

> I (i början av intervjun): ”Du hade en parkamrat, hur fungerade samarbetet?”
> Panther: ”Jag tyckte nog det fungerade bra, men båda i paret skulle ju behöva vara lika bra ungefär så att dom går framåt i samma takt. Så var nog fallet med den som jag var med.”
> I: ”Så ni följdes åt ungefär?”
> Panther: ”Ungefär.”

I (i slutet av intervjun): ”Hur tyckte du att samarbetet fungerade med din parkamrat?”
Panther: ”Ja, jag tyckte nog det fungerade bra, men ja, just det där att, det är bra om båda parkamraterna går framåt i samma takt och förstår det lika snabbt.”

Hulda: ”Det var något vi skulle ... de här frågorna vi skulle svara på … Den här bänkkamraten min [MattiAht] hade det nog liksom på klart men jag förstod det inte och så försökte han nog förklara för mig, men det gick liksom inte hem och då blev jag nog smått irriterad.”

6) Det är roligare då man samarbetar.

Hulda (om parsamarbetet): ”Det gick bra det. Jag tyckte det var roligt.”

I början av den didaktiska situationen övning antecknades följande observation: *Hulda är glad, skrattar och gestikulerar. ”Glatt gäng som sitter här!” är lärarens kommentar till Hulda & Co (= de elever som sitter i närheten av Hulda).*
Tio minuter före slutet av övningssituationen: *Hulda skrattar, kommenterar något med Villemo. Hulda vänder sig till MattiAht och kommenterar något skrattande.*

7) Kombination av parsamarbete och självständigt arbete: det är viktigt att också kunna arbeta självständigt vid behov; man får inte bli beroende av parkamraten.

I: ”På vilket sätt fungerade ert [Ices och Villemos] samarbete?”
Ice: ”Nå, jag ändrade om i programmet och så drog vi slutsatser gemensamt, båda får våra slutsatser att stämma tillsammans och diskutera.”
I: ”Är det bra att jobba parvis eller är det bättre att jobba ensam?”
Ice: ”Det är svårt att säga men jag tyckte det var mer givande att jobba parvis, eftersom man hade någon att diskutera just resultaten med – man kunde komma fram till slutsatser genom det.”
I: ”I utvärderingssessionen satt ni ensamma … blev det mycket annorlunda, ovant?”
Ice: ”Nej, egentligen inte, eftersom jag var så bekant med programmet, vi hade dragit ganska bra slutsatser, jag kom ihåg de slutsatser jag hade dragit så jag arbetade ifrån det –och jag hade ’lekt’ så mycket med programmet så jag var mycket bekant med det så jag tyckte det gick bra – men det blev ju lite för långdraget, tog för mycket tid, arbetet var för långsamt.”

I mitten av den didaktiska situationen övning antecknades följande observation: *Ice & Villemo diskuterar allvarligt. (Ice är i allmänhet allvarlig.)*
I mitten av den didaktiska situationen begreppsintroduktion: *Ice förklarar något för Villemo med stor övertygelse. Villemo kommenterar med fundersamma gester.*

I: ”Hade samarbetet betydelse?”

> Villemo: ”Ja, alltså inte vet jag, om man ska komma fram till något, så måste man nog nästan komma fram till det själv, åtminstone kan man ju fråga, att den man samarbetar med kanske kan förklara lite så man kommer närmare den där lösningen, men att det slutgiltiga måste man nog som … inte kan ju en annan person säga att så där ska det vara och då ska man förstå – det går inte – att man måste komma underfund med det själv.”
>
> HaleB: ”... det är bra om man sitter en och en, men det är klart, det finns ju en bra sida om båda två är motiverade till att gå vidare, så kan de diskutera olika problemställningar och så ... . Idén är väl egentligen att man ska tänka själv och komma fram till någon slutsats på egen hand ... och då förstås med en viss hjälp av läraren.”
>
> I mitten av den didaktiska situationen övning antecknade jag följande observation: *Hook och Panther sitter och funderar, ofta tyst för sig själva, antecknar. BullsEye tar ibland kontakt med Panther och Hook.* (Anm. Paret BullsEye–Joker satt nära paret Hook–Panther.)
> Sju minuter före övningssituationens slut: *Panther och Hook funderar på var sitt håll.*

e) Parsamarbete i didaktiska situationer. BullsEye och Joker är kompisar och diskuterar mycket; BullsEye diskuterar gärna också över pargränserna. Båda har höga effektivitetstal i de två första didaktiska situationerna. BullsEyes effektivitetstal är emellertid betydligt lägre än Jokers i utvärderingssituationen, trots att hans poängsumma i provet är relativt hög i jämförelse med Jokers.

Hook och Panther arbetar i samma takt, men diskuterar inte så mycket. Panther har emellertid ingenting emot att arbeta självständigt. Båda har lika stora effektivitetstal i de två första didaktiska situationerna. Panthers effektivitetstal är en aning negativt i utvärderingssituationen, men Hooks har stigit och han har det högsta effektivitetstalet av alla. Provresultaten är tämligen lika för båda.

I paret Edison–HaleB vill HaleB vara systematisk och relativt självständig, men har en undertryckt önskan om en mer jämlik diskussion, gärna också med läraren. Edison vill gärna prova, kanske på ett osystematiskt sätt och gör onödiga saker enligt HaleB:s uppfattning. Diskussionen dem emellan verkar vara rätt lam. Edison har icke-positiva effektivitetstal på samtliga didaktiska situationer, medan HaleB har relativt jämnhöga effektivitetstal. HaleB har uppgett betydligt färre antal lösta uppgifter än Edison i de två första situationerna. I provet är resultatet rätt lika för båda.

Hulda är gladlynt och diskuterar flitigt med MattiAht. Hon ställer gärna frågor till sin parkamrat, som försöker förklara för henne. Hon är relativt passiv i dator-hanteringen. Hulda har låga effektivitetstal i de två första situationerna och ett något högre i utvärderingssituationen. MattiAht har höga effektivitetstal med en stigande trend. Han har gruppens högsta poängsumma i provet. Hulda har också klarat provet bra.

Paret Ice–Villemo är inte jämspelta beträffande datorkunskap. Ice sköter datorn och styr diskussionen. Villemo är en lyssnare, men deltar gärna i diskussionen, kanske mest som mottagande part. Ice kan vara självständig, men vill gärna diskutera och övertyga sin parkamrat. Villemo verkar vara mycket beroende av att ha någon att diskutera med. Hon önskar kunna arbeta självständigt, men för att kunna det tycker hon att hon behöver ha tillräckligt med information. Båda har höga effektivitetstal i de två första situationerna, då de kan idka ett relativt fruktbart parsamarbete. I utvärderingssituationen har Villemos effektivitetstal sjunkit drastiskt och hon lyckas inte alls lösa uppgifterna i provet. Ice har uppnått det näst högsta poängtalet, men är inte nöjd med resultatet.

Dufva och Einstein diskuterar muntert och har mycket kontakt med läraren. Dufva är inte så motiverad. Han har ett relativt högt effektivitetstal i övningssituationen, men i de båda följande situationerna får han en klart negativ uppfattning. Einstein har måttligt höga effektivitetstal, som sedan ökar kraftigt i utvärderingssituationen. Han har lyckats relativt bra i provet, vilket inte är fallet med Dufva.

f) Egna övningar med PDRac-verktyget. Användningen av PDRac-verktyget på fritid (håltimmar, efter skoldagen) var mycket sparsam. Endast eleverna Panther, HaleB och Einstein gav sig tid att i någon mån pröva verktyget på sin fritid.

> I: ”Hade du möjlighet att använda programmet på din fritid eller efter skolan?”
> Hulda: ”Nä.”
> I: ”Vad berodde det på?”
> Hulda: ”Jag kanske inte direkt eftersträvade det … eller … man far hellre hem om man slutar tidigare … från skolan … alltså nog far man hellre hem än går till datasalen.”
>
> Villemo: ”Det är nog bara på grund av tidsbrist det, om jag hade velat arbeta med det så hade jag velat ha hjälp av antingen lärare eller någon kompis som också hade varit med på det där [försöket], så att man hade förstått det, fast främst tidsbrist nog. Det har varit så mycket annat i höst så man har inte hunnit tänka på allting.”
> I: ”Det kom studentskrivningar och allt annat …”
> Villemo: ”… och dels är det också brist på kunskap inom datatekniken, att jag nog vill ha någon med mig om jag ska hålla på med datorn, åtminstone i skolan.”

Eleverna angav följande orsaker att inte testa verktyget (information saknas från Edison):

- hade tidsbrist (BullsEye, Hook, Villemo)
- hade inga håltimmar (BullsEye, Hook, Dufva)
- datasalen var upptagen på rasterna (Hook)
- föredrog att vara hemma under fritid (Hulda, Joker)
- kursprogrammet var tufft (Ice, Joker)
- hade krav på att ha en kunnig kompis med (Villemo)

- hade mycket annat på gång (MattiAht)
- hade svårt att komma underfund med verktygets funktionsidé utan anvisningar (HaleB)

Övriga insamlade data

I en enkätundersökning (motsvarande O_7 i figur 37, se också bilaga 11) fick eleverna i uppgift att rangordna de sju effektivitetsindikatorerna som svar på frågan ”Vad bestämmer effektivitet i Din fysikinlärning?”. Eftersom denna undersökning skedde ca en månad efter klassexperimentet torde svaren inte direkt kunna associeras till de didaktiska situationerna med PDRac-verktyget utan borde tolkas mer generellt. Resultatet, som presenteras i tabell 14, visar att motivation och förståelse i medeltal ansågs viktigast, medan kontroll och ansvar var minst viktiga i den traditionella fysikundervisningen.

I samma undersökning fick eleverna också i uppgift att ange vilka fem fysikbegrepp som de ansåg sig bäst ha förstått innebörden av under de didaktiska situationerna. Frekvens, resistans, fasförskjutning, period och självinduktion var de fem begrepp som stod för drygt två tredjedelar av de gjorda valen (se tabell 15).

Tabell 14. *Enskilda elevers rangordning av effektivitetsindikatorerna i en kontext som avser elevernas lärande i traditionell fysikundervisning.*

		Indikatorer på effektivt lärande						
Namn	Par	Motivation	Attityd	Ansvar	Kontroll	Prestation	Förståelse	Tillfredsställelse
BullsEye	1	5	6	2	1	3	4	7
Joker	1	7	4	1	2	3	5	6
Hook	2	6	2	4	1	3	5	7
Panther	2	7	3	2	1	4	5	6
Edison	3	7	2	1	3	6	4	5
HaleB	3	5	7	4	1	2	6	3
Hulda	4	6	7	2	1	3	5	4
MattiAht	4	7	5	2	4	3	6	1
Ice	5	7	5	2	6	1	3	4
Villemo	5	5	7	1	4	3	6	2
Dufva	6	7	6	2	1	4	5	3
Einstein	6	5	3	7	2	4	6	1
M_{rang}		**6,17**	**4,75**	**2,50**	**2,25**	**3,25**	**5,00**	**4,08**
s		0,94	1,91	1,73	1,66	1,22	0,95	2,15

Tabell 15. *Elevernas preferenser i valet av de fem bäst förstådda fysikbegreppen vid arbete med PDRac-verktyget.*

Begrepp	f	rel. f (%)
Frekvens	11	18,0
Resistans	9	14,8
Fasförskjutning	9	14,8
Period	8	13,1
Självinduktion	5	8,2
Toppvärde	4	6,6
Potential	3	4,9
Kapacitans	3	4,9
Induktans	3	4,9
Serieresonans	2	3,3
Impedans	2	3,3
Strömändring	1	1,6
Momentanvärde	1	1,6
Kond. laddn. faser	0	0,0
Induktionsspänning	0	0,0
Kapacitiv reaktans	0	0,0
Induktiv reaktans	0	0,0
Effektivvärde	0	0,0
Summa	61*	100,0

*Anm. 6 kryss på en elevsvarsblankett

5.2 Lärarstudie

5.2.1 Datainsamling

Undersökningsgrupp

Ett materialpaket sändes under slutet av vårterminen 1999 till fysiklärarna i samtliga 37 finlandssvenska gymnasier. I paketet ingick PDRac-verktyget på diskett, lärarhandlednings- och elevhandledningshäfte (Eklund, 1999a, b), ett frågeformulär inklusive svarskuvert och ett följebrev (bilaga 12). Efter två påminnelsebrev blev sammanlagt 18 enkätsvar returnerade från 5 kvinnliga och 13 manliga fysiklärare. Tolv lärare returnerade hela materialpaketet utan att delta i undersökningen, resten behöll materialpaketet utan att delta i undersökningen.

Instrument och datainsamlingsmetod

Datainsamlingen gjordes med en enkät, som bestod av fyra delar och inleddes med en information om principerna för undersökningens genomförande (se bilaga 13).

a) Bakgrundsfakta. Denna introduktionsdel innehöll frågor om läraren, förekomst av datorer i skolan och lärarens datoranvändning.

b) Frågeformulär A. Enkätens A-del, associerad till forskningsdesignens makrodidaktiska variabler, bestod av 14 påståenden som läraren skulle ta ställning till efter ett första bekantgörande, dvs. efter att ha studerat PDRac-verktyget tillsammans med delar av lärar- och elevhandledningen.

c) Frågeformulär B. B-delen, associerad till de mikrodidaktiska variablerna, bestod också av 14 påståenden, om vilka läraren skulle ange sin uppfattning av effektivt lärande med verktyget använt i tänkta didaktiska situationer, dvs. efter att ha studerat elevövningarna från de didaktiska situationerna övning och begreppsintroduktion och det prov som eleverna i klassexperimentet utförde i utvärderingssituationen.

d) Frågeformulär C. I enkätens del C skulle läraren rangordna indikatorer relaterade till elevernas lärande. Lärarna skulle också uppskatta vilka begrepp i växelströmsläran eleverna bäst förstår enligt lärarens uppfattning. Förutom fältet för spontana kommentarer var del C identisk med det frågeformulär som eleverna också besvarade.

Denna datainsamlingsmetod har både för- och nackdelar och dikteras av olika faktorer som man som forskare måste beakta. För det första har det inte funnits ekonomiska resurser att resa ut till många gymnasier och genomföra en kombinerad undersökning av elevgrupper i fysik inklusive deras lärare under kursen Elektrodynamik. Att störa en skolas och en lärares kursplanering skulle ha bemötts med en viss irritation. För det andra hade ett sådant förfarande varit svårgenomförbart av den orsaken att kursen ifråga tidsmässigt går samtidigt i många skolor. Det hade dessutom varit oerhört tidskrävande och hade knappast gett mycket mer information än vad nu är fallet. För det tredje har fler lärare kunnat nås med den datainsamlingsmetod som presenterats här i jämförelse med alternativet att resa ut till några skolor och genomföra intervjuer med skolornas fysiklärare oberoende om detta hade skett i samband med den aktuella kursen eller inte. I det senare fallet hade lärarna utsatts för pressen att i förväg studera materialet för att vid intervjutillfället kunna diskutera det. Fördelen med en sådan in situ-intervju hade varit att lärarna förmodligen varit mer insatta än vad nu är fallet. Å andra sidan kan man emellertid anta att de lärare som har sänt in svaren också har genomfört materialstudiet med en acceptabel noggrannhet och de som inte har haft tid till det har inte heller besvarat enkäten.

Databearbetning

Lärarenkäten hade samma uppbyggnad som elevenkäten. Data bearbetades och analyserades på motsvarande sätt (jfr avsnitt 5.1.1). Den begränsade mängd kvalitativa data som erhölls användes som stöd för tolkningar av lärarnas upp-

fattningar. I svarsblanketterna saknades markering på Likertskalan i fem fall (av sammanlagt 504 markeringar). Dessa värden ersattes av talet noll (= neutral uppfattning) vid beräkning av effektivitetstalen efter transformeringen av Likertskalan.

5.2.2 Resultat

Uppfattningar baserade på enkät om makrodidaktiska variabler

Varje effektivitetsindikator, motivation, engagerat lärande, interaktivitet etc., representerades av två påståenden i enkäten (se bilaga 10). Transformeringen av mätetalen och beräknandet av effektivitetstalen gick till på samma sätt som i klassexperimentet. I tabell 16 presenteras resultatet från enkätens A-del, som lärarna hade anmodats att fylla i efter deras första bekantskap med PDRac-verktyget och bifogade handledningsmaterial, dvs. resultatet av deras uppfattningar baserade på de makrodidaktiska variablerna. Fem av lärarna har icke-negativa effektivitetstal på samtliga indikatorer.

Lärarkommentarer

En del av lärarna har skrivit ner korta, spontana kommentarer, som återges i sin helhet nedan.

Ninni: ”Efter att ha gått igenom och tittat på öppningssidan tycker jag att strukturen inte är överskådlig. Onödigt svåra ord (som i och för sig är bra att eleverna lär sig) som ’evaluera’. I detta skede väntar jag själv med spänning på fortsättningen.”

Lee: ”Alla ’verktyg’ av denna typ kan fungera utmärkt, men de kan också slå fel! Det hela beror på gruppen, tidpunkten och inte minst på läraren. Jag gillar PDRac. Med en aning möda sätter jag mig in i detta och lovar prova det på elever vid tillfälle.”

Robbe: ”Eleverna bör ha en bra grund om allmänna växelströmskretsen innan de använder programmet. Programmet lämpar sig säkert för att fördjupa kunskapen.”

My: ”Eftersom jag ännu inte har haft kursen med denna del infogad, så är det svårt att veta hur eleverna reagerar på programmet i verkligheten ... . Jag har upplevt att bra program har fallit till marken inom alla mina ämnen, medan konkreta ’drillprogram’ roat och fascinerat eleverna under en lång tid. Men eftersom dagens elever är oerhört ’datainriktade’ så sitter de gärna framför skärmen och prövar sig fram ... .”

Tabell 16. *Lärarnas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer baserade på de makrodidaktiska variablerna vid en tänkt implementering av PDRac-miljön (enkätens A-del).*

	Indikatorer på effektivt lärande						
Pseudonym	Moti-vation	Engagerat lärande	Inter-aktivitet	Roll-defini-ering	Investe-ring i tid	Prestation	Förståelse
Fred	2,0	1,0	0,5	1,5	–1,5	0,0	1,0
Tesse	1,0	1,0	0,5	0,5	–1,0	1,0	0,5
Ninni	1,0	1,0	0,5	1,5	0,5	1,0	1,0
Lee	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,0
Gert	1,0	0,0	1,0	1,0	–1,0	0,0	1,5
Stella	2,0	1,0	1,5	1,5	–0,5	1,0	2,0
Emil	–1,0	0,5	–0,5	–1,0	0,5	0,5	–1,0
Otto	1,0	2,0	0,5	0,5	0,0	0,0	1,0
Odin	1,5	–0,5	1,5	1,5	2,0	0,0	1,5
Lisa	1,5	2,0	1,5	0,5	1,0	1,0	0,5
Zache	–1,0	–0,5	–1,5	–1,0	1,0	–1,5	–1,0
Robbe	1,0	0,5	0,5	0,0	–1,5	1,0	0,5
Wille	1,0	0,5	1,0	1,0	–1,0	0,0	1,0
Theo	2,0	1,0	2,0	2,0	–0,5	–0,5	0,0
Jesse	1,5	1,0	2,0	1,0	1,0	–0,5	1,5
Affe	1,0	–0,5	0,5	–0,5	–1,5	0,5	0,5
Ebbe	1,0	0,5	1,5	1,0	–1,0	0,5	0,5
My	2,0	0,0	2,0	1,0	0,5	0,5	1,0

Uppfattningar baserade på enkät om mikrodidaktiska variabler

I tabell 17 presenteras resultatet från enkätens B-del, som lärarna hade anmodats att fylla i efter att ha studerat PDRac-verktygets funktion tillsammans med elevernas övningsmaterial och prov. Resultatet av deras uppfattningar baserade sig med andra ord på de mikrodidaktiska variablerna. Sju av lärarna har icke-negativa effektivitetstal på samtliga indikatorer.

Tabell 17. *Lärarnas effektivitetstal på effektivitetsindikatorer baserade på de mikrodidaktiska variablerna vid en tänkt implementering (enkätens B-del).*

	Indikatorer på effektivt lärande						
Pseudonym	Moti-vation	Engagerat lärande	Inter-aktivitet	Roll-definie-ring	Investe-ring i tid	Prestation	Förståelse
Fred	0,5	–1,5	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5
Tesse	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0	0,0
Ninni	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	2,0
Lee	1,0	0,5	1,0	1,5	0,0	1,0	0,5
Gert	0,0	0,0	0,0	1,0	–0,5	1,0	–1,0
Stella	1,0	–0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	1,0
Emil	0,0	–0,5	0,5	0,5	–0,5	0,0	0,0
Otto	0,5	–0,5	0,5	0,5	–1,5	1,0	0,5
Odin	1,5	1,0	1,5	0,5	1,5	1,5	0,0
Lisa	–1,0	1,0	2,0	1,0	0,0	2,0	1,0
Zache	–1,0	–1,0	–1,0	–0,5	–0,5	–1,0	–1,0
Robbe	0,0	0,0	1,0	–1,5	–1,0	0,5	0,5
Wille	1,0	0,5	1,0	0,5	–0,5	1,5	1,0
Theo	0,5	0,5	2,0	0,0	0,0	0,5	1,5
Jesse	0,0	1,0	1,0	0,0	–0,5	0,5	–0,5
Affe	0,5	–1,0	0,0	–1,0	–2,0	0,0	–0,5
Ebbe	1,0	0,5	1,0	1,0	–0,5	0,5	1,0
My	1,5	0,5	0,5	0,0	0,5	2,0	0,0

Lärarkommentarer

Ninni: ”Jag har gått igenom och tycker nu att det som kan vara besvärligt är att åskådliggöra hur de olika komponenterna hänger samman, vilket också kommenteras i handledningen.

Jag tycker att instruktionerna borde vara tydligare, (finns det då en risk att eleverna inte får uppleva hur det känns att ’komma på det själv’?). Å andra sidan måste jag studera materialet mer ingående för att kunna avgöra om pedagogiska mål i så fall försvinner. Jag skall, ifall dataklassen är ledig, använda materialet i höst som elevarbete. I annat fall måste jag demonstrera = tråkigt.”

Lee: ”Jag har inte hunnit testa programmet i klass. Min erfarenhet av motsvarande verktyg gör ändå att jag tror på åsikterna ovan [dvs. enkätsvaren, förf. tillägg]!”

Gert: ”Min uppfattning präglas säkert till en del av att vi redan hade behandlat det här avsnittet när jag fick ditt brev. Jag avbröt dock den normala undervisningen och använde 3 timmar till att tillsammans med eleverna testa programmet. Min allmänna uppfattning blev att helhetsbilden drunknar i en massa detaljer, som inte någon längre tid förmår engagera eleverna. ... Det kan hända att jag efter nästa års användning har en annan åsikt, men just nu tycker jag att det ledde till en viss ’snuttifiering’, men det kan också bero på att jag inte hade tid att engagera mig tillräckligt.”

Robbe: ”Undervisning i kombination med programmet kommer att kräva mer tid än en ’klassisk’ genomgång av avsnittet. Programmet ger eleven möjlighet att fördjupa sin förståelse/kunskap.”

Jesse: ”– grupparbete (par) ger diskussion”, ”– svårt utan facit => torde kräva genomgång för bättre förståelse => läraren behövs som handledare”, ”– bra komplement (visuell presentation) till traditionell undervisning”

My: ”Flera (Två!) elever vid samma dator sporrar varandra! Även om de kunskapsmässigt befinner sig på olika nivåer! Den ’sämre’/svagare eleven får hjälp av sin kamrat och förstår ofta det oklara snabbare än om läraren förklarar... . Å andra sidan så ger datorn eleverna en chans att arbeta i egen takt, vilket är nog så viktigt! Att många elever behöver få gå framåt snabbare än resten av klassen glöms ofta bort ... .”

Sammanfattande data

Medelvärdet av effektivitetstalen på varje lärares samtliga indikatorer anger det personliga effektivitetstalet, som då baseras på deras bedömningar av de makrodidaktiska respektive mikrodidaktiska variablerna. I tabell 18 ges en sammanfattning av dessa effektivitetstal och lärarnas totala effektivitetstal. Resultatet visar att femton lärare totalt sett har en måttlig till stark, positiv personlig uppfattning av effektivitet (effektivitetstal > 0) baserad på bedömningen av PDRac-verktygets potential och dess funktion i lärandesituationer. Totala effektivitetstalet är högre då lärarna bedömer PDRac-verktygets potential än då de bedömer dess funktion i klass.

Insamlade och emergenta data som ger stöd för tolkningar av uppfattningar

I tabell 19 visas en fördelning över lärarnas undervisningstid i gymnasiet, antal datorer och lärarens datoranvändning. Hälften av lärargruppen har undervisat i högst tio år. Tretton gymnasier har fler än tio datorer. Datoranvändningen i de undersökta gymnasierna är inte särskilt frekvent. I närmare 40 % av dessa gymnasier använder inte läraren dator i fysikundervisningen. Flitig användning av datorer står tre gymnasielärare för.

Tabell 18. *Lärarnas effektivitetstal baserade på de makrodidaktiska (enkätens A-del) och mikrodidaktiska variablerna (enkätens B-del) vid den tänkta implementeringen och det totala effektivitetstalet.*

Pseudonym	Makro-didaktiska variabler	s	Mikro-didaktiska variabler	s	Lärarens totala $\mathbf{M_{eff}}$
Fred	0,64	1,14	0,29	0,81	**0,46**
Tesse	0,50	0,71	0,29	0,49	**0,39**
Ninni	0,93	0,35	0,79	0,57	**0,86**
Lee	0,71	0,39	0,79	0,49	**0,75**
Gert	0,50	0,87	0,07	0,73	**0,29**
Stella	1,21	0,86	0,71	0,57	**0,96**
Emil	–0,29	0,76	0,00	0,41	**–0,14**
Otto	0,71	0,70	0,14	0,85	**0,43**
Odin	1,07	0,93	1,07	0,61	**1,07**
Lisa	1,14	0,56	0,86	1,07	**1,00**
Zache	–0,79	0,86	–0,86	0,24	**–0,82**
Robbe	0,29	0,86	–0,07	0,89	**0,11**
Wille	0,50	0,76	0,71	0,64	**0,61**
Theo	0,86	1,18	0,71	0,76	**0,79**
Jesse	1,07	0,79	0,21	0,64	**0,64**
Affe	0,00	0,87	–0,57	0,84	**–0,29**
Ebbe	0,57	0,79	0,64	0,56	**0,61**
My	1,00	0,76	0,71	0,76	**0,86**
$\mathbf{M_{eff}}$	**0,59**		**0,36**		**0,48**
s	0,52		0,52		0,50

n = 18

Lärarnas kommentarer av mer allmänt slag

Fred: ”Instruktionerna var för många på en gång!”

Ninni: ”Jag skall använda det [PDRac-verktyget]. Vi har få möjligheter till simuleringar i vår skola, så jag tror att eleverna skulle uppskatta att få laborera på detta sätt.”

Lee: ”Jag använder flitigt grafiska räknare samt ibland symboliska. Kombinerar med datorn. Anser gränsen mellan kalkylatorer och datorer vara diffus.”

Gert: ”Jag tror att det här är en god början på någonting som kommer att utvecklas till någonting stort i framtiden. De texter som riktar sig till eleverna borde dock i främsta hand rikta in sig på att ge en helhetsbild och först därefter diskutera detaljer. ... Nästa läsår har jag för avsikt att grundligt analysera hur man med hjälp av demonstrationer (dataprojektor) och övningar kan bygga upp sekvensen: strömmar och spänningar i resistiv krets–induktiv krets–kapacitiv krets-kombination, med hjälp av visardiagram och ditt program.”

Stella: ”Ett lovvärt försök att underlätta undervisningen.”

Odin: ”Förut har i min undervisning växelströmskretsar behandlats mycket lite, närmast av tidsskäl, men också på grund av avsaknad av tvåkanalsoscilloskop och frekvensgenerator. Nu har vi ökat ut fysikkurserna från 8 till 9 och med detta läromedel ser jag ett ljus i tunnelns slut. Samtidigt är det experimentella mycket viktigt – 2-kanalsoscilloskopet kvarstår på min önskelista. Detta läromedel tycker jag är en fin brygga mellan det experimentella och det teoretiska (också för sådana som saknar de matematiska färdigheterna: derivering av trigonometriska funktioner = korta matematiker[2]).”

Tabell 19. *Sammanställning av basdata i lärarstudien.*

	Lärarens undervisningstid i gymnasiet								**Totalt**
	0–10 år		10–20 år		20–30 år		> 30 år		
	kvinna	man	kvinna	man	kvinna	man	kvinna	man	
Antal datorer									
≤ 5	1						1		**2**
6–10		1		1		1			**3**
11–15		4			1	2			**7**
≥ 16	1	2		1		1	1		**6**
Datoranvändning									
inte alls		2		1		2	2		**7**
någon gång	2	4				2			**8**
flitigt		1		1	1				**3**
Totalt	**2**	**7**	**–**	**2**	**1**	**4**	**2**	**–**	**18**

Övriga insamlade data

Lärarna hade i uppgift att rangordna de sju effektivitetsindikatorerna som svar på frågan ”Vad bestämmer effektivitet i elevernas fysikinlärning enligt Din mening?”. Resultatet (tabell 20) visar att motivation och förståelse i medeltal anses viktigast, medan prestation och kontroll är minst viktiga.

[2] ”korta matematiker” är elever som läser lärokursen kort matematik

På frågan ”Vilka fem av nedanstående [fysik]begrepp tror du att eleverna bäst förstår innebörden av med hjälp av PDRac (inklusive övningsmaterial)?” blev resultatet (tabell 21) att de fem viktigaste begreppen är fasförskjutning, momentanvärde, toppvärde, serieresonans och impedans.

Tabell 20. *Enskilda lärares rangordning av effektivitetsindikatorerna i en kontext som avser elevernas lärande i traditionell fysikundervisning.*

	Indikatorer på effektivt lärande						
Pseudonym	Moti-vation	Attityd	Ansvar	Kontroll	Prestation	Förståelse	Tillfreds-ställelse
Fred	7	4	3	1	2	5	6
Tesse	6	7	5	2	1	3	4
Ninni	6	4	1	3	2	5	7
Lee	7	6	5	3	1	4	2
Gert	6	5	3	1	2	7	4
Stella	5	4	3	1	7	2	6
Emil	7	5	2	1	3	4	6
Otto	6	1	2	5	3	7	4
Odin	7	3	4	2	1	5	6
Lisa	7	6	2	1	4	5	3
Zache	5	6	3	2	1	4	7
Robbe	5	1	4	6	3	7	2
Wille	7	4	2	1	3	6	5
Theo	7	6	2	1	3	5	4
Jesse	7	5	1	2	4	6	3
Affe	6	7	1	3	2	4	5
Ebbe	7	6	5	1	2	4	3
My	7	6	3	2	1	5	4
M_{rang}	**6,39**	**4,78**	**2,83**	**2,11**	**2,50**	**4,89**	**4,50**
s	0,78	1,77	1,34	1,45	1,50	1,37	1,58

Lärarnas kommentarer

Ninni: ”När jag ser vad jag har kryssat för* känns det som om materialet inte tillför så mycket till undervisningen. Detta kan bero på att jag själv måste arbeta mycket mer med materialet och analysera det för att kunna använda det på bästa möjliga sätt i undervisningen.”

(*=frekvens, period, toppvärde för spänning och ström, fasförskjutning mellan spänning och ström, serieresonans)

Theo: ”PDRac skulle vara till störst hjälp för eleverna att förstå just dessa fem begrepp**. De övriga kan dom förstå utan PDRac.”

(**=momentanvärde för spänning och ström, impedans, fasförskjutning mellan spänning och ström, serieresonans, självinduktion)

My: ”Svårt att plocka ut bara fem***. Jag tror att de flesta av dessa ord är ”svåra att förstå” eftersom växelström på gymnasienivå är full av nya begrepp, fenomen och formler. Alla saker som ger en illustrativ bild av dessa begrepp hjälper eleverna!”

(***=momentanvärde för spänning och ström, effektivvärde för spänning och ström, impedans, självinduktion, induktionsspänning)

Tabell 21. *Lärarnas preferenser i valet av fem fysikaliska begrepp, som bäst förstås av eleverna vid användning av PDRac-verktyget.*

Begrepp	f	rel. f (%)
Fasförskjutning	16	17,8
Momentanvärde	14	15,6
Toppvärde	11	12,2
Serieresonans	11	12,2
Impedans	10	11,1
Frekvens	5	5,6
Period	5	5,6
Induktiv reaktans	4	4,4
Effektivvärde	4	4,4
Självinduktion	3	3,3
Kapacitiv reaktans	3	3,3
Induktionsspänning	2	2,2
Kapacitans	1	1,1
Strömändring	1	1,1
Resistans	0	0,0
Potential	0	0,0
Induktans	0	0,0
Kond. laddn. faser	0	0,0
Summa	90	99,9

6 A posteriori-analys

A posteriori-analysen struktureras på samma sätt som a priori-analysen. Varje analysdel inleds med en deskriptiv del som behandlar den domän som hänför sig till respektive hypotes. Efter det deskriptiva avsnittet följer testningen av hypotesen. I analysen av klassexperimentet behandlas de lokala, mikrodidaktiska variablerna med inslag av de globala, makrodidaktiska variablerna utgående från de kvalitativa och kvantitativa data som sammanställts i avsnitt 5.1.2. Teori som integreras i texten tillsammans med analysen av empiriska data refereras i avsnitt 3.3–3.5. En fördjupande analys grundar sig på en gruppering av datamaterialet. Syftet med detta är dels att ytterligare förtydliga det mönster som kan urskiljas i data, vilket har betydelse i samband med valideringen i kapitel 7, dels att kunna jämföra elev- och lärargrupperna med varandra. Analysen av lärarstudien sker analogt med strukturen ovan och grundar sig först på de makrodidaktiska och sedan på de mikrodidaktiska variablerna. (Data finns i avsnitt 5.2.2.)

De kvantitativa data som erhållits från enkäterna i klassexperimentet och lärarstudien har omvandlats till effektivitetstal på olika nivåer. Detta effektivitetstal utgör det numeriska värdet på respondenternas uppfattning av effektivt lärande. I klassexperimentet tillskrivs en given elev ett effektivitetstal *för varje indikator på effektivt lärande*, *för varje didaktisk situation* och *för hela försöket*. Ett totalt effektivitetstal, som inkluderar alla elever, beräknas *för varje didaktisk situation* och *för hela försöket*. I lärarstudien tillskrivs en given lärare ett effektivitetstal *för varje indikator på effektivt lärande, för uppfattningar som baserar sig dels på makrodidaktiska, dels på mikrodidaktiska variabler* och ett *totalt effektivitetstal,* som inkluderar alla lärare. I denna avhandling definieras en positiv (negativ) uppfattning av effektivt lärande så att effektivitetstalet är positivt (negativt).

I båda studierna jämförs samma individers effektivitetstal i successiva test. I klassexperimentet handlar det om test av elevernas uppfattningar i tre på varandra följande didaktiska situationer, i lärarstudien i två på varandra följande test av lärarnas uppfattningar. Analysen sker på sampel som är beroende. Samma princip som med matchade par gäller också vid upprepade mätningar med samma individer. Fördelen med upprepade mätningar (eller matchade par) är enligt Wonnacott och Wonnacott (1990, s. 270): ”Pairing achieves a match that keeps many of the extraneous variables constant. In using the same [individuals], we [keep] sex, IQ, and many other factors exactly the same in both samples. We therefore [have] more leverage on the problem at hand.” Skillnader mellan de tre didaktiska situationerna i klassexperimentet (och de två testmomenten i lärarstudien) undersöks därför med hjälp av variansanalys.

6.1 Klassexperimentet

6.1.1 Elevers uppfattning av effektivt lärande i reella didaktiska situationer

I den deskriptiva delen av analysen sammanfattas och exemplifieras elevernas uttalanden. Eftersom eleverna uttalar sig på lite olika sätt inom den aspekt av uppfattning som behandlas i den deskriptiva delen, sätts namnen ut inom parentes. På detta sätt får läsaren en tydligare koppling till de kvantitativa data som finns tabellerade i kapitel 5. I sådana fall där uttalandena är mer allmänt förekommande bland eleverna räknas inte namnen upp.

Uppfattning av effektivt lärande i PDRac-miljön

Analysen av elevernas uppfattning av effektivt lärande grundar sig på kvantitativa data ur tabellerna 6–9 kombinerat med kvalitativa data ur intervjuerna och syftar till att testa hypotes 1. Analysen sker först i ett mer generellt perspektiv med PDRac-miljön som referensram. Ordningsföljden grundar sig på den affektiva aspekten, samspelsaspekten och den kognitiva aspekten (jfr avsnitt 4.3.1), som grupperar indikatorerna för effektivt lärande.

Den affektiva aspekten avser elevernas motivation och attityd till och intresse för lärande i PDRac-miljön. Eleverna som deltar i kursen elektromagnetism anser i allmänhet att växelströmsläran är en svår del av kursen. Att studera växelströmslära med hjälp av PDRac-verktyget upplevs ändå i allmänhet positivt av eleverna och motiverar dem. De tycker att det är roligt, annorlunda (Hook, Hulda) och utmanande (HaleB), men den här formen av lärande kan också skapa irritation (Hulda). Lärandeprocessen blir mer omväxlande (Ice, Einstein) då eleverna får pröva på något nytt (BullsEye, Joker) i jämförelse med att sitta i klassrummet och skriva det som läraren skriver på tavlan (Panther). HaleB känner en viss nyfikenhet på hur datorbaserad undervisning fungerar, vilket dock inte gäller för Edison. Ice hävdar att det är den egna viljan som är drivkraften och får näring av intressanta problem och nytänkande. Här visar flera elever att PDRac-miljön stimulerar lärandet, de bärs fram av en inre motivation. Det handlar också om att ta sig ut ur det invanda och ge sig in i ett intellektuellt äventyr med ett nytt medium och en obekant metod, vilket för en del elever också kan ha en negativ känslomässig påverkan (jfr Mathewson, 1999).

Arbetet i PDRac-miljön bidrar till att förstärka uppfattningen av effektivt lärande med avseende på olika slag av yttre motivationsfaktorer hos några elever. Sådana faktorer är fysikvitsordet (BullsEye, Joker) och framtida studier (BullsEye, Joker, Villemo). För Hook, Edison och HaleB är fysikvitsordet emellertid inte en viktig faktor vid försöket. En del av eleverna drivs av en inre motivation att lära sig, men inte nödvändigtvis av en yttre. Ett inneboende fysikintresse är för MattiAht en källa till motivation; för Panther, Einstein,

BullsEye och Joker är det datorintresset. HaleB verkar ha intresse för fysik men klagar över att han saknar likasinnade att diskutera fysik med. Edison igen är inte särskilt datorintresserad: ”jag är inte riktigt en sådan där ’datatyp’”. Villemo är inte heller ”så insatt i datavärlden, och med så [komplicerad] teknik är det svårare att arbeta med dator”. I sina framtidsstudier förutspår hon emellertid ett behov av datorkunskap. För dessa elever verkar det svaga datorintresset respektive -kunskapen att fungera som distraherande faktorer, vilket enligt Hanrahan (1998) kan utmynna i ett ytligt kognitivt engagemang.

Samspelsaspekten handlar om ansvarsfördelningen och möjligheterna till kontroll i PDRac-miljön. Introduktion av datorbaserad undervisning visar sig ha en del fördelar. Till skillnad från exempelvis en demonstrationslektion, då eleverna inte alltid hinner följa med händelseförloppet, har datorn enligt Edison den fördelen att eleverna själva kan studera grafer och sätta in värden, speciellt om innehållet känns lätt för dem. Datorn borde dock fungera närmast som komplement (BullsEye), och kan kombineras med ”vanlig” undervisning (Dufva), så att läraren i klassen går igenom grundläggande begrepp i fysiken. Eleverna kan sedan dra slutsatser då de arbetar med PDRac-verktyget (BullsEye, Ice). Läraren kan introducera nya begrepp på tavlan (Panther) och ta upp grunderna i förståelsen (Ice) och kontrollera vad eleverna gör med PDRac-verktyget, och han kan förklara sådant som de inte har förstått (Villemo). Här märks också elevernas osäkerhet då de ska fungera i adidaktiska situationer och självständigt konstruera sin kunskap. De vill gärna förbli vid det gamla, att läraren strukturerar, presenterar och utvärderar. Samtliga elever är av den åsikten att det egna ansvaret är lika stort eller rentav större i de didaktiska situationerna jämfört med lektionerna i traditionell undervisning. Eleverna vill uppfylla sin förpliktelse att lära sig genom att själva ta reda på vad de vill veta (Joker), tänka själva och fundera ut saker (HaleB, Einstein), men på läraren ankommer också att ge hjälp vid behov (Joker, Edison, HaleB). Ansvaret ökar då lektionen flyttas till datasalen (Panther) och speciellt då det inte finns något givet svar på uppgifterna (Hook, Hulda). Friheten att arbeta på egen hand med datorn ökar elevernas ansvar (Ice). Eleverna verkar acceptera ett större ansvar, då undervisningen flyttas ur klassen och arbetssättet förändras. Samtidigt kan man utläsa en önskan från dem att det hör till lärarens ansvarsområde att vägleda dem vid behov, bekräfta och klargöra deras idéer och ge feedback på deras framsteg.

I fråga om kontroll lyfter de flesta eleverna fram det faktum att de kan arbeta i egen takt. PDRac-miljön skiljer sig från traditionell undervisning, där alla elever ska gå vidare i samma takt (Panther) som bestäms av läraren (Dufva). Det är dock viktigt att eleverna inte har för bråttom då de arbetar i PDRac-miljön (Hulda). En unik fördel är att eleverna kan kontrollera saker om och om igen (Villemo) och att de kan välja svårighetsgrad (Joker). De känner ändå inte att de har en tillräckligt god kontroll över sitt lärande. Läraren anses som en viktig resursperson. Det finns ett önskemål om mer vägledning i handledningsmaterialet (MattiAht) med tillräckliga anvisningar, som ändå inte är alltför

avslöjande (HaleB). En tillräcklig mängd förklaringar från lärarens sida är nödvändiga (Panther, HaleB, Villemo, Joker) för att bekräfta slutsatser (Hook), men det kan vara svårt för läraren att hinna hjälpa alla elever (Edison, Dufva). Läraren kan kanske styra mer så att eleverna hinner gå igenom fler uppgifter (Panther). HaleB tycker att syftet med uppgifterna är oklara på grund av knapphet i informationen och det förorsakar en känsla av olust eller hopplöshet. Fysiklärande i PDRac-miljö karakteriseras av ett stressigt tempo (Hook, HaleB) om man siktar på att hinna genom alla uppgifter (Hulda). Enligt ett flertal elever är orsaken för det första att uppgifterna är tidskrävande och för det andra att de är för många för den tid som står till förfogande. Resultatet är att flera uppgifter i de didaktiska situationerna förblir olösta för de flesta eleverna (tabell 10). Eleverna verkar inte känna att de riktigt har den personliga kontroll som denna miljö möjliggör. Problemsituationerna i PDRac-miljön har en relativt komplicerad innehållsstruktur och förvärvandet av kunskapen sker på ett för eleverna nytt sätt (jfr Lee & Lee, 1991). Av allt att döma skulle effektiviteten öka om det skedde en förskjutning mot mer programkontrollerade strategier, där läraren, PDRac-verktyget och handledningsmaterialet stöder eleverna effektivare.

Den kognitiva aspekten av lärande i PDRac-miljön avser i huvudsak prestation och förståelse, men också den affektiva indikatorn tillfredsställelse. Växelströmsläran anses vara svår (Dufva, Hook, MattiAht), men MattiAht är verkligen inriktad på att lära sig om växelströmmar med hjälp av PDRac-verktyget. Fast lärandesituationen verkar vara främmande (Panther), annorlunda (Hook, Ice) och ovanlig (HaleB), så ger PDRac-verktyget en ny infallsvinkel på begrepp och fenomen i fysiken (Joker). Dynamiken och samtidigheten i representationerna och visualiseringsmöjligheterna i PDRac-verktyget kommenteras av så gott som alla elever. Möjligheterna att se numeriska data och grafer, att ändra på storheter och att samtidigt se vad som händer (Panther, Dufva, Einstein) gör att eleverna kan se vissa samband (HaleB) och får en uppfattning om vad de håller på med (Villemo). PDRac-verktygets dynamik verkar hjälpa Villemo att skapa en dynamisk inre representation, en mental modell av händelseförloppet. Enligt BullsEye finns det också möjligheter att förutsäga vad som kommer att hända. Joker tycker dock att det visuella sinnesintrycket är kortvarigt. Den snabba grafrepresentationen och de automatiska beräkningarna tilltalar Hook. Eftersom man i verkligheten använder grafer i många sammanhang, tycker HaleB att det är viktigt att man lär sig ta ut fakta ur grafer. Att graferna kan ändra form lockar emellertid inte Edison till nyfikenhet.

Eleverna säger sig ha möjlighet att ändra på storheter och prova sig fram (BullsEye, MattiAht) och göra upptäckter (BullsEye), men att eleverna bara uppmanas att upptäcka saker fungerar emellertid inte så bra enligt Edison. Eleverna måste enligt Dufva gallra ut det viktiga som de ska lära sig, vilket är nyttigt men svårt. Han tycker att det är enklare att få det viktiga ”serverat” – som under vanliga lektioner. En lärandeprocess som är utforskande kräver mycket

tid. Bara det att t.ex. lära sig hur alla knappar fungerar kräver tid (HaleB). Enligt Villemo och Hook borde eleverna få arbeta mer med verktyget för att verkligen få tid att prova olika värden, studera det som ändras och se hur graferna förhåller sig till varandra. Sedan är diskussionen viktig så att eleverna bättre förstår vad det handlar om (Villemo), hur saker och ting hänger ihop (Edison). Det händer lätt att begreppen sammanblandas (HaleB) och kunskapsinhämtandet känns osäkert (Panther, Dufva). Svaga förkunskaper antas enligt Dufva vara orsaken. Om eleverna inte förstår det som de håller på med kan det leda till att motivationen sjunker, och resultatet kan lätt bli att de börjar klicka på lek eller byta program för att göra något annat (Dufva, Einstein). Det som verkar vara invecklat är de många *varför*-frågorna. Eleverna är ovana med denna typ av frågor (Edison, Hulda, Villemo, Einstein). Ett par elever (Panther, Edison) anser att det är svårt att komma underfund med hur kretsens komponenter påverkar varandra, vilka sambanden är mellan storheterna. Ice anknyter till sitt eget fritidsintresse, att bygga RLC-kretsar, och tycker att arbetet med PDRac-verktyget fungerar som komplement till hans praktiska erfarenheter och ger möjlighet att arbeta med problem. Elever får också aha-upplevelser under lärandeprocessen med PDRac-verktyget (Hulda, Einstein).

Kännetecknande för PDRac-miljön är dess potential att underlätta en lärande-process som är utforskande. PDRac-verktyget erbjuder en mångfald numeriska och grafiska representationer i flera uppsättningar. Trots att eleverna själva kan välja önskade representationer föreligger en risk för kognitiv överbelastning, en olägenhet som antas vara förenad med utforskning och upptäckande med hjälp av datorsimuleringar (se de Jong et al., 1999). I prestationshänseende verkar lärandet i PDRac-miljön vålla bekymmer. För att konstruera meningsfull kunskap måste lärandeprocessen vara meningsfull. Elevernas uttalanden antyder att de har svårigheter med tanke- och resonemangsstrategier. Begrepps-förståelsen verkar vara svag, likaså kopplingen till de teorier och lagar som undervisats tidigare i kursen. Det finns brister i deras förkunskaper och den existerande, relevanta kognitiva strukturen. Eleverna antyder emellertid att de kvalitativa frågorna, som kräver att de förklarar sina tankegångar, i alla fall engagerar deras intresse, men tiden för att framgångsrikt komma till acceptabla resultat är alldeles för kort. Den utforskande lärandeprocessen kommer speciellt fram i den didaktiska situationen begreppsintroduktion och förutsätter att eleverna eftersträvar en relationell förståelse. Förståelsen syns emellertid vara mer instrumentell överlag i de didaktiska situationerna; flera elever använder företrädesvis en strategi med försök och misstag. Det finns i varje fall elever som stimuleras i sitt lärande genom att PDRac-miljön relateras till elevintressen och elever som åtnjuter tillfredsställelse över att komma på nya saker.

Slutligen redogörs kort för några synpunkter som eleverna fört fram. Ergonomiska frågor tas upp av BullsEye, som menar att lång tids arbete med datorn inte är lämpligt. Det kan skapa trötthet i ögon och armar. PDRac-verktygets layout engagerar några elever. Verktyget som sådant upplevs vara

åskådligt på det sättet att det är lätt att hitta knappar (BullsEye) och följa dynamiken på skärmen (Ice), men designen med avseende på graferna verkar rörig enligt Ice. Den färgrika layouten tilltalar Hulda. Till PDRac-verktygets fördel räknar Hook de mångsidiga möjligheterna att representera både numeriska och grafiska data samtidigt, vilket inte t.ex. oscilloskopet klarar.

Utifrån elevens totala effektivitetstal ses i tabell 9 att två elever har en negativ uppfattning av effektivt lärande. Ett par elever tillskrivs en starkt positiv uppfattning. Resten av eleverna har måttligt till starkt positiv uppfattning. Enligt forskningshypotes 1 antas eleverna i allmänhet ha en positiv uppfattning av effektivt lärande i växelströmsläran med hjälp av PDRac-verktyget och den undervisningsmiljö som har byggts upp kring det. Försöket visar att medelvärdet av de 12 elevernas totala effektivitetstal är $M_{eff} = 0{,}55$ och standardavvikelsen $s = 0{,}46$ (se tabell 9 och 22). Resultatet tyder då på att hypotes 1 kan bekräftas, något som också får stöd av den här genomförda kvalitativa analysen.

Tabell 22. *Sammanfattning av resultatet i klassexperimentet.*

Undersökningens fokus	**M_{eff}**	**s**
Allmän uppfattning av effektivitet	0,55	0,46
Uppfattning av effektivitet i didaktiska situationerna		
– övning	0,74	0,46
– begreppsintroduktion	0,58	0,53
– utvärdering	0,32	0,76

Uppfattning av effektivt lärande i de enskilda didaktiska situationerna

Den andra forskningshypotesen är indelad i tre underhypoteser. Analysen nedan grundar sig på kvantitativa och kvalitativa data, liksom ovan, och syftar till att testa var och en av hypoteserna 2.1–2.3. I analysen av de enskilda didaktiska situationerna ingår en kort beskrivning av implementeringen, hänvisningar till situationsspecifika data och data ur intervjukoncentraten i den mån det är möjligt att associera intervjusvar till de specifika didaktiska situationerna.

Övningssituationen kan betraktas som relativt lätt att genomföra för eleverna. Den har en mer deduktiv karaktär på det sättet att lärandeprocessen mest handlar om att eleverna parvis studerar och diskuterar de enskilda växelströmskomponenternas egenskaper och bekräftar det som tidigare har undervisats i klass.

I övningssituationen har eleverna slutfört endast uppgift 1 som behandlar självinduktion och Lenz' lag (se tabell 10). Ingen elev har hunnit arbeta med uppgift 3 (impedansbegreppet). Uppgifternas antal är synbarligen alltför stort för den

tillbudsstående tiden. PDRac-verktyget är också nytt och känns ovant för eleverna. Detta tillsammans med en obekant lärandeprocess har gjort att knappt hälften av uppgifterna har slutförts.

Fyra elever kan tillskrivas en starkt positiv uppfattning av effektivt lärande i fråga om denna didaktiska situation. En elev uppvisar ett negativt effektivitetstal. Det finns få uttalanden i intervjuerna som kan kopplas direkt till den didaktiska situationen övning. Panther tycker att han kan gå snabbt framåt. Hook tycker att förberedelsen inför den första datorbaserade lektionen har varit bra. BullsEye känner tillfredsställelse över att ha gjort upptäckter, men han anser ändå inte att de är oväntade. Villemo känner en viss osäkerhet under övningssituationen. Datorn framstår inte för henne som kognitiv stimulering, vilket kan bero på att hon inte känner sig kompetent att hantera den; hon upplever en slags hjälplöshet inför tekniken. De flesta eleverna har relativt höga effektivitetstal på indikatorn ansvar. Tryggheten tycks dock finnas hos läraren då osäkerheten gör sig gällande i en lärandesituation som är ny och främmande. Läraren har ändå inte besökt elevparen särskilt ofta; eleverna befinner sig under största delen av tiden i adidaktiska situationer (se tabell 13).

Enligt hypotes 2.1 antas eleverna ha en klart positiv uppfattning av effektivt lärande i den didaktiska situationen övning. Undersökningsresultatet (tabell 6 och 9) visar att M_{eff}(övning) = 0,74. Resultatet tyder på att hypotes 2.1 kan bekräftas.

I den följande didaktiska situationen, *begreppsintroduktion*, är omständigheterna mer komplicerade. Problemsituationerna leder småningom till en fundamental situation som syftar till att introducera det nya begreppet serieresonans utan föregående undervisning i klass. Elevernas uppgift är att parvis i samarbete med varandra upptäcka, studera och dra slutsatser om fenomenets kännetecken. Lärandeprocessen har en mer induktiv karaktär. Målet med lärandet är inte lika entydigt ur elevens synvinkel.

Huvuduppgiften (uppgift 2), som behandlar serieresonansfenomenet, har lämnats ogjord av en tredjedel av eleverna. Uppgift 3 (impedansens och reaktansernas frekvensberoende) har slutförts av endast två elevpar, som i stället har valt att hoppa över delar av uppgift 1 (RL- och RC-kretsen). Ett elevpar har slutfört uppgift 1 helt och hållet och ett annat par har genomfört uppgiften delvis, men dessa par har sedan inte hunnit behandla de övriga uppgifterna.

Fyra elever har en starkt positiv uppfattning av effektivt lärande, medan tre har en neutral eller en negativ uppfattning. Vid intervjuerna har det framkommit varierande synpunkter, i den mån eleverna vid intervjun har kommit ihåg just den aktuella didaktiska situationen. Dufva känner sig tvungen att vara intresserad. För honom verkar lärande med PDRac-verktyget inte fånga intresset eller stimulera honom med sina kognitiva och sensoriska medel. Utan tanke på

det kommande provet vill han dock göra ett försök att lära sig något. Panther har svårigheter med att få klarhet i begrepp och fenomen, medan Villemo uppger sig ha börjat komma underfund med saker och ting. Ice tycker att denna didaktiska situation är mer givande än den föregående övningssituationen. MattiAht fastslår att han börjar förstå idén om fasförskjutningen. Samma sak gäller för BullsEye då han ser hur graferna ligger i förhållande till varandra. Han känner sig duktig då han tycker sig kunna förutsäga utfallet av knapptryckningarna, vilket också är ett resultat av flitig diskussion med parkamraten Joker. Dennes intresse och emotionella attityd är starkt bundna till att han kommer underfund med de fysikaliska förloppen i interaktionen med parkamraten BullsEye, vilket framgår av dialogen mellan Joker och intervjuaren.

Eleverna har tydligen vissa svårigheter att arbeta på ett utforskande sätt. En relativt allmän uppfattning är att instruktionerna är för få när de sätter i gång med arbetet (Hook, Edison). I och med att det ingår nya begrepp och mer fördjupning borde eleverna ha fått mer information för att komma vidare (Villemo). Läraren borde visa på sambanden mellan fenomenen (Edison) så att eleverna kan få sina slutsatser bekräftade (Ice).

Läraren har dock rört sig betydligt oftare bland elevparen i denna situation jämfört med den föregående övningssituationen (se tabell 13). Paren Ice–Villemo och Dufva–Einstein har haft de flesta kontakterna med läraren. (Det didaktiska kontraktet tillåter lärarhjälp vid behov.)

Enligt hypotes 2.2 antas eleverna ha en positiv uppfattning av lärande trots komplexiteten i den didaktiska situationen begreppsintroduktion. Undersökningen (tabell 7 och 9) visar att M_{eff}(begreppsintroduktion) = 0,58. Resultatet tyder på att hypotes 2.2 kan bekräftas.

I den sista didaktiska situationen, *utvärdering*, är svårighetsgraden betydligt högre än i de två föregående situationerna. Utvärderingssituationen har påtagligt präglat eleverna att döma av de uttalanden som de ger, trots att ett par veckor har gått fram till intervjun. Eleverna uttrycker besvikelse (HaleB, Villemo), känsla av meningslöshet (Dufva, Edison), avsaknad av inspiration (Hulda) och frustration över att de åstadkommit ett dåligt resultat (Einstein, BullsEye). Einsteins inställning är ändå att göra så bra ifrån sig som möjligt. Ice anser att elever med kunskap om datorer har ett avsevärt försprång och verkar hysa medlidande med Villemo, eftersom han tydligen är medveten om hennes begränsningar i datorsammanhang. Villemo själv beklagar sina otillräckliga datorkunskaper och verkar känna sig hjälplös i situationen. PDRac-verktyget ser något annorlunda ut och Villemo har svårt att förstå hur hon ska göra. Trots att handledningsmaterialet ger en bra beskrivning, påstår Ice att han har svårigheter. Hulda behöver också mer vägledning.

Eleverna har arbetat ensamma med provuppgifterna. Den första uppgiften kräver logiska resonemang kring växelströmskretsens fysik. Endast en elev, MattiAht, har löst den första uppgiften med lätthet. BullsEye anser att denna uppgift har varit tidskrävande. Joker och Ice har saknat idé om hur uppgiften ska initieras. Det har varit alltför många nya begrepp (Panther) och flera uppgifter har lämnats olösta (Edison, Einstein, Joker) i utvärderingssituationen. Ice förmodar att han har klarat sig dåligt (trots att han har erhållit näst mest poäng). För Hulda har informationen räckt till och hon har löst uppgifterna, men uppger att hon inte har förstått dem. Hon har närmast ägnat sig åt mekaniskt klickande för att komma vidare. Edison har märkt att om han har gjort saker på fel sätt så har PDRac-verktyget visat på kortslutning i växelströmskretsen. För Ice har de grafiska framställningarna dock gett idéer och han har kunnat relatera till sin praktik med växelströmskretsar. Visserligen tycker han att PDRac-verktyget inte förklarar hur växelströmskomponenterna verkar i kretsen, men man får en visuell bild av själva förloppet. Datorns lämplighet som utvärderingsverktyg möts med skepsis av Edison, medan MattiAht nog kan acceptera ett likadant verktyg i utvärderingen som i de föregående didaktiska situationerna. Ice uppger sig sakna erfarenhet av denna typ av utvärdering. Ice och BullsEye har båda höga ambitionsnivåer. De har i provet uppnått höga poängtal jämfört med gruppen, men är inte nöjda med resultatet. För BullsEye inverkar det sänkande på effektivitetstalet, däremot inte för Ice.

Enligt hypotes 2.3 går eleverna genom utvärderingssituationen med en negativ uppfattning av effektivt lärande. Undersökningsresultatet (tabell 8 och 9) visar att M_{eff}(utvärdering) = 0,32. Man kan sluta sig till att resultatet inte stöder hypotes 2.3.

Jämförelse av de tre didaktiska situationerna

Analysen nedan syftar till att testa hypotes 2. Trenden är att effektivitetstalen sjunker successivt för varje genomgången didaktisk situation. Undersökningen visar att eleverna betraktar övningssituationen som lättast att genomföra och utvärderingssituationen som svårast. En ytterligare analys visar att korrelationen är stark ($r = 0,81$, $p < 0,01$) mellan effektivitetstalen i de didaktiska situationerna övning och begreppsintroduktion. Dessa didaktiska situationer uppvisar likheter i situationsvariablerna. Eleverna arbetar parvis i samma par och vid samma datorer i båda situationerna. De använder samma PDRac-verktyg och uppgifterna är av liknande slag, men svårighetsgraden och komplexiteten är större i situationen begreppsintroduktion. I denna situation måste eleverna hantera fler fysikaliska storheter och grafer samtidigt och det finns fler *varför*-frågor i elevernas övningsmaterial än i övningssituationen. Dessa frågor kräver av eleverna en förmåga att resonera kring sambanden mellan storheterna och att utnyttja förkunskaper i teorier och lagar om elektriska kretsar och elektrodynamik för att kunna dra slutsatser om sambanden.

Korrelationen mellan effektivitetstalen är svag i situationerna begrepps-introduktion och utvärdering (r = 0,36) respektive övning och utvärdering (r = 0,18). De svaga korrelationerna tyder på att det i utvärderingssituationen inkluderas andra, individuella elevskillnader, som inte finns i de två tidigare situationerna. Situationsvariablerna har förändrats från de två föregående situationerna: utvärderingssituationen är en provsituation, elevernas prestationer bedöms och det förekommer inget samarbete mellan eleverna eftersom de måste arbeta enskilt vid separata datorer. Slutligen kan nämnas att PDRac-verktyget är något förändrat, dels för att fokus är satt på analys av grafer, dels för att kontroller har lagts till för att göra det möjligt för eleverna att lagra svaren på uppgifterna elektroniskt.

Hypotes 2, som sammanfattar underhypoteserna 2.1–2.3, uttrycker att det finns skillnader i elevernas uppfattning av effektivt lärande i de tre didaktiska situationerna. Nollhypotesen uttrycker att effektivitetstalen i de tre situationerna inte skiljer sig från varandra och mothypotesen att det finns en skillnad. En variansanalys av effektivitetstalen i de tre didaktiska situationerna presenteras i tabell 23. Variansanalysen för beroende mätningar görs enligt Hassmén och Koivula (1996, s. 41–49). Variansen mellan eleverna är ett direkt index på individuella skillnader mellan eleverna och kan betraktas som systematisk varians. Ju större korrelationen dessutom är mellan elevernas effektivitetstal i de didaktiska situationerna sinsemellan desto större är den systematiska variansen. Genom att isolera denna varians och avlägsna den från totalvariansen fås ett exaktare estimat av felvariansen och skillnader mellan de didaktiska situationerna framträder tydligare (jfr Kerlinger, 1986).

Tabell 23. *Variansanalys av elevers effektivitetstal i de tre didaktiska situationerna.*

Variationsorsak	**SS**	**df**	**MS**	**F**	**p**
Didaktiska situationer	1,060	2	0,530	2,406	0,11
Elever	6,872	11	0,625	2,837	0,02
Rest	4,845	22	0,220		
Totalt	12,777	35			

Variansanalysen visar likväl att den estimerade felvariansen (resten) är relativt stor. Som ovan framgår är korrelationen mellan elevernas effektivitetstal stark endast i situationsparet övning-begreppsintroduktion och relativt svag i de övriga situationsparen. Detta ger därför inte en tillräckligt stor systematisk varians som beror på eleverna och som skulle ha minskat felvariansen. Då man lägger till att medelvärdesskillnaderna mellan effektivitetstalen i de didaktiska situationerna (tabell 22) inte heller är särskilt stor, ger detta också ett relativt litet bidrag till den systematiska variansen som beror av variationerna i de didaktiska situationerna. Dessa effekter resulterar i att F-värdet är för litet för att ge en signifikant skillnad mellan effektivitetstalen i de didaktiska situationerna.

Undersökningsresultatet visar således att nollhypotesen inte kan uteslutas, med konsekvensen att forskningshypotes 2 inte stöds. Att de uppmätta skillnaderna i elevernas uppfattning av effektivt lärande skulle bero av de didaktiska situationernas karakteristika kan inte konstateras vara säkerställt i form av statistisk signifikans.

Den statistiska styrkan, dvs. testets förmåga att upptäcka verkliga differenser, påverkas enligt Hassmén och Koivula (1996, s. 153) av sådana faktorer som den verkliga skillnaden mellan populationsmedelvärdena, variansen som inte beror på behandlingseffekten, antalet observationer, antalet upprepade mätningar och den valda signifikansnivån. Vid variansanalys kan man enligt Cohen (1988, s. 273–288) estimera styrkan med hjälp av $\phi = f\sqrt{n}$, där $f = \sqrt{\frac{\eta^2}{1-\eta^2}}$ är en estimering av förväntade medelvärdesskillnader (se också Hassmén & Koivula, 1996, s. 153–154). Effektstorleken mäts med eta-kvadratkoefficienten $\eta^2 = \frac{SS_A}{SS_T}$, som är ett mått på styrkan i sambandet mellan den oberoende och den beroende variabeln (Hassmén & Koivula, 1996, s. 30) eller enligt Cohen (1988, s. 275, 281) ett mått på spridningen av lika stora sampels medelvärden. Överfört på denna studie anger eta-kvadrat hur stor andel av variationen i den beroende variabeln (uppfattning av effektivt lärande) som beror på variationen hos den oberoende variabeln (didaktiska situationer). I denna studie är n = 12, SS_A = 1,060 och SS_T = 12,777, vilket ger f = 0,301 och ϕ = 1,042. Ur tabell över f-värden i Cohen (1988, s. 313) fås statistiska styrkan 0,32 (för signifikansnivån 5 %) och ur tabell över ϕ-värden i Hassmén och Koivula (1996, s. 210) fås styrkan 0,30. Dessa styrkor betraktas enligt Cohen (1988, s. 286) som medelstora.[1] Av detta kan man dra den slutsatsen att det i denna studie föreligger en relativt stor risk (sannolikhet ≈ 0,70) att göra ett fel av typ II, dvs. att på basis av undersökningen acceptera en felaktig nollhypotes.

6.1.2 Fördjupande analys

Den fördjupande analysen är av explorativ natur och fokuserar på en närmare analys av elevparens samarbete, de indikatorer som bygger upp variabeln uppfattning av effektivt lärande och struktureringen av den undersökta elevgruppen i nivåer av effektivitetsuppfattning.

[1] Eftersom skillnaderna i effektivitetstal inte är signifikant i denna studie är det strängt taget överflödigt att beräkna testets styrka. Beräkningen görs för valideringsdiskussionen i kapitel 7.

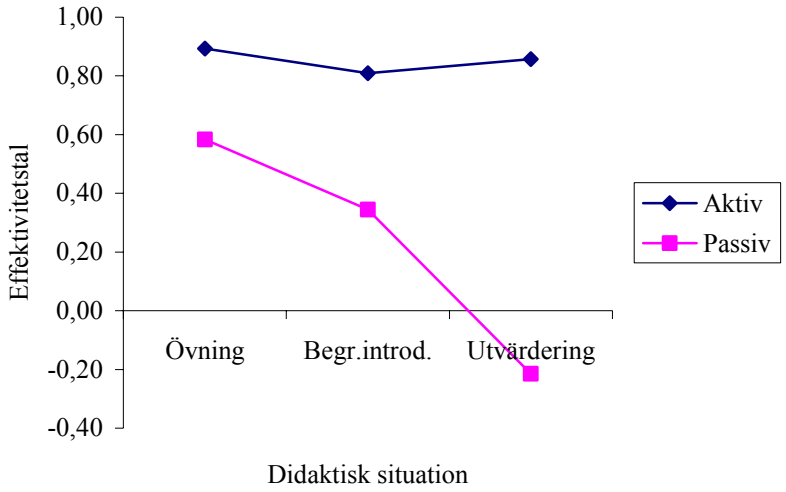
Aktiva och passiva elever i parsamarbete

I det föregående avsnittet nämns elevernas parsamarbete, som sker i de två första didaktiska situationerna övning och begreppsintroduktion, men inte i den tredje, utvärderingssituationen. Den sistnämnda är en situation, i vilken eleverna individuellt genomför ett prov med hjälp av PDRac-verktyget. Vid analysen av parsamarbetet utnyttjas de samarbetskategorier som i avsnitt 5.1.2 härletts ur intervjudata och observationer. Dessa kategorier, som används för analysen, har emergerat från data a posteriori genom ett slags induktionsprocess (jfr Wellington, 2000, s. 142).

Samarbetet mellan eleverna i paren fungerar på olika sätt och återspeglar tydligt både likheter och olikheter mellan parkamraterna. Situationsvariabeln parsamarbete kan karakteriseras i termer av jämlikhet och ömsesidighet i elevernas engagemang och avser i vilken grad eleverna i paret bidrar till att lösa uppgifter och delta i diskussionen (jfr Damon & Phelps, 1989). Samarbetet inom två av paren, nämligen BullsEye–Joker och Dufva–Einstein, kännetecknas av en stark jämlikhet och ömsesidighet. Var och en av eleverna i paren bidrar mer eller mindre lika mycket till en sammanhängande diskussion. Edison och HaleB verkar inte vara jämlika och ömsesidigheten är svag med den påföljden att parsamarbetet inte fungerar utan friktion. Samarbetet inom paren Hulda–MattiAht och Ice–Villemo kan tolkas i termer av svag jämlikhet och stark ömsesidighet. Både MattiAht och Ice står för merparten av förklaringarna och verkar ha mer kontroll på informationen än sina respektive parkamrater. I båda paren fungerar samarbetet som en viktig, social stimulering för den andra parten. Slutligen verkar paret Hook–Panther vara jämlikt, men knappheten i diskussionerna mellan dem tyder på att ömsesidigheten är svag. Resultatet visar att i så gott som varje par tar den ena eleven en aktivare roll än den andra.

En sammanfattning av kännetecknen på de elever som tar en aktiv, en mer engagerad roll visar att de tar mer initiativ, kommer med idéer, förklarar, styr diskussionen, är de som främst sköter datorhanteringen och vill handla mer systematiskt än de elever som karakteriseras som passivare (jfr Alonso & Norman, 1996). Den passivare eleven lyssnar, deltar gärna i diskussionen, men har inget emot att försjunka i egna funderingar. Några av de passivare eleverna tar också lättare på uppgifterna och anstränger sig mindre. Av de deltagande elevparen har Ice, MattiAht, BullsEye, Hook, HaleB och Einstein kännetecken som gör att de kan uppfattas som den aktivare parten, medan Joker, Villemo, Panther, Hulda, Dufva och Edison enligt denna kategorisering kan räknas som den passivare parten. Gränsen mellan de två kategorierna är dock inte skarp, ett faktum som speciellt gäller för de par där jämlikheten och ömsesidigheten är stark. En viss samvariation kan upptäckas, eftersom korrelationen mellan en dummyvariabel (aktiv elev = 1, passiv elev = 0) och elevernas totala effektivitetstal är stark ($r = 0{,}70$, $p < 0{,}05$). Dummyvariabeln korrelerar svagt, men positivt med effektivitetstalen i övning ($r = 0{,}35$) och begreppsintroduktion

(r = 0,46), men starkt med effektivitetstalen i utvärderingssituationen (r = 0,74, p < 0,01). I figur 38 (och tabell 14.1 i bilaga 14) visas fördelningen av de aktiva och passiva elevernas effektivitetstal över de olika didaktiska situationerna. De aktiva elevernas effektivitetstal är i stort sett konstant över alla didaktiska situationer, medan de passiva elevernas effektivitetstal sjunker kraftigt. En variansanalys visar att förändringen i de passiva elevernas effektivitetstal är signifikant (p < 0,05). Ett t-test visar att differensen mellan de aktiva och passiva elevernas effektivitetstal är signifikant (på 5 %-nivån) i utvärderingssituationen. Differensen mellan elevkategoriernas effektivitetstal är inte signifikant i situationerna övning och begreppsintroduktion. Man kan av detta dra den slutsatsen att den aktiva eleven i paret bättre klarar av att arbeta ensam i utvärderingssituationen än den passiva, medan detta inte har lika stor betydelse i de övriga situationerna, då de samarbetar med parkamraten. Aktiva elever känner enligt Alonso och Norman (1996, s. 213) att de har mer kontroll i sådana situationer som kontrolleras av eleven själv.



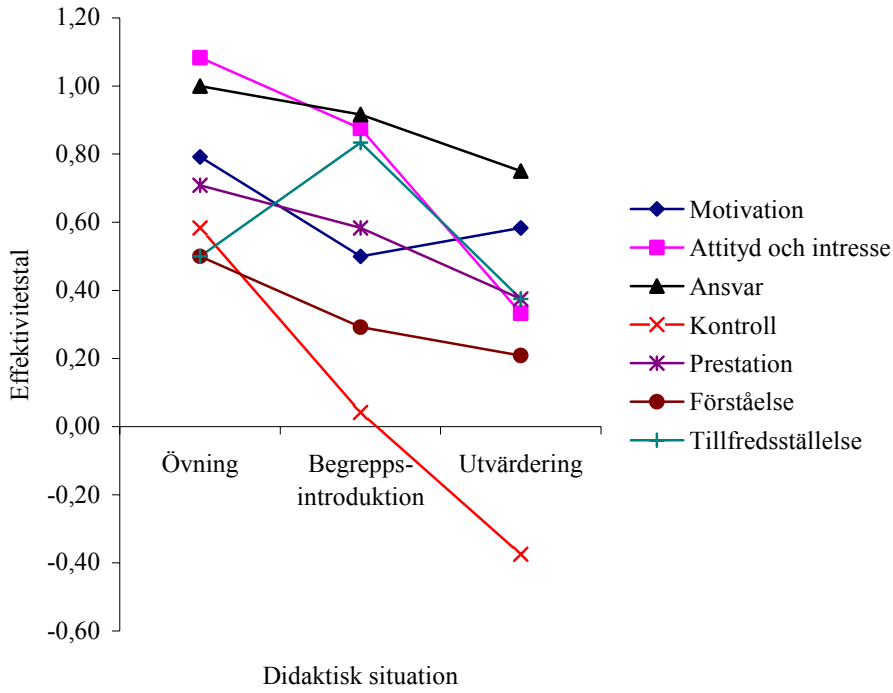
Figur 38. Fördelningen av effektivitetstalen på de aktiva och passiva eleverna.

Differensen mellan de aktiva och passiva elevernas totala effektivitetstal (dvs. medelvärdet av de situationsspecifika effektivitetstalen) är också signifikant. Ovanstående analys visar att förändringen i effektivitetstal från en didaktisk situation till följande inte gäller de aktiva eleverna utan endast de passiva. I stället för att helt överge hypotes 2 kan det vara nödvändigt att med en ad hoc-hypotes ta i beaktande denna elevkategorisering, som är baserad på iakttagelserna från parsamarbetet. De underhypoteser (2.1–2.3) som ställts upp för elevgruppen i sin helhet verkar på ett tydligare sätt gälla för de elever som kategoriserats som den passivare parten i elevparet.

Effektivitetsindikatorer i didaktiska situationer

Den beroende variabeln har byggts upp av sju indikatorer. En intressant frågeställning är hur effektivitetstalen fördelar sig över de olika indikatorerna i de olika didaktiska situationerna. I figur 39 presenteras denna fördelning med tilläggsinformation i tabell 14.2 i bilaga 14.

Diagrammet visar att ansvar är den indikator i effektivitetsuppfattningen som bidrar med de största effektivitetstalen, medan kontroll har låga värden, rentav negativt värde i utvärderingssituationen. Attityd och intresse samt ansvar har nästan lika stora effektivitetstal i de två första didaktiska situationerna, men de skiljer sig kraftigt från varandra i den tredje. Förståelse kommer inte upp till särskilt höga effektivitetstal i någon av situationerna. Motivation, prestation och tillfredsställelse har måttligt höga värden.



Figur 39. Effektivitetstal på de olika effektivitetsindikatorerna i de tre didaktiska situationerna.

Sammantaget kan man säga att motivation samt attityd och intresse, vilka svarar för den affektiva faktorn i undervisnings- och lärandeprocessen, utfaller med måttligt höga positiva effektivitetstal. Samspelsfaktorn, som representeras av ansvar och kontroll, motverkar varandra så att eleverna känner stort ansvar, men

de har inte den kontroll de önskar. Den affektiva indikatorn tillfredsställelse och den kognitiva faktorn som representeras av prestation och förståelse står för måttliga eller relativt låga effektivitetstal.

Korrelationen mellan indikatorernas effektivitetstal i de didaktiska situationerna är starkt positiv i samtliga fall och nästan signifikant på situationsparet begreppsintroduktion och utvärdering ($r = 0,79$, $p < 0,05$). Det verkar finnas en samvariation mellan effektivitetstalen på indikatornivå. En variansanalys som görs på effektivitetsindikatorerna i de olika didaktiska situationerna ger det resultat som visas i tabell 24.

Tabell 24. *Variansanalys av effektivitetstal med avseende på indikatorerna i de tre didaktiska situationerna.*

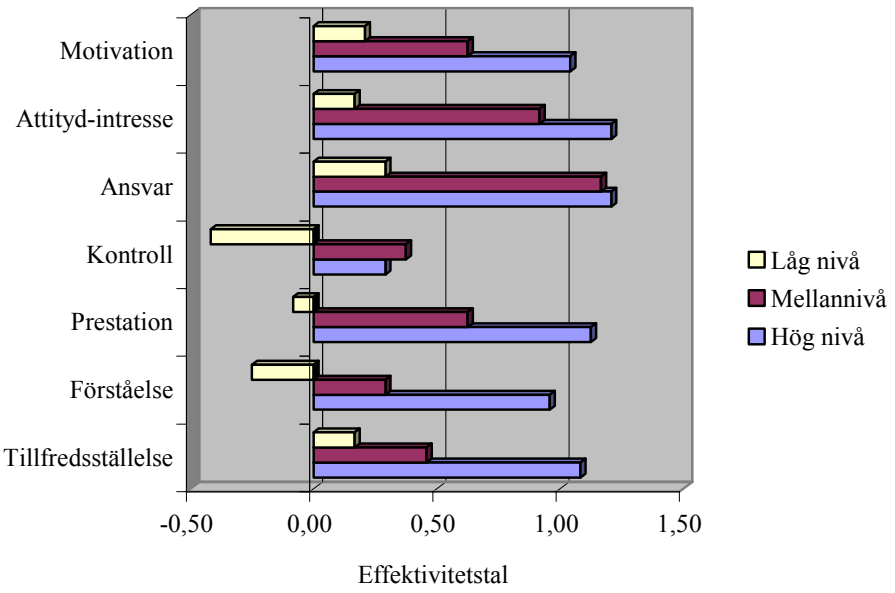
Variationsorsak	SS	df	MS	F	p
Didaktiska situationer	0,618	2	0,309	8,527	< 0,01
Indikatorer	1,294	6	0,216	5,948	< 0,01
Rest	0,435	12	0,036		
Totalt	2,347	20			

I analysen har principen för variansanalys för beroende mätningar använts på samma sätt som i tabell 23. Som variationskälla har i stället för elever använts de sju effektivitetsindikatorerna. Som indata har använts medelvärdet av elevernas effektivitetstal för varje indikator i de didaktiska situationerna. Analysen visar att den systematiska variansen som beror av indikatorerna är tillräckligt stor för att ge en liten felvarians och därmed en signifikant skillnad mellan effektivitetstalen i de didaktiska situationerna. Resultatet av korrelations- och variansanalysen visar att det finns en slags mönstermatchning (se Trochim, 2000) mellan indikatorerna. Med detta avses att de indikatorer som tillskrivs höga effektivitetstal i övningssituationen också tillskrivs höga effektivitetstal i de övriga (och tvärtom). Dessutom gäller att för fem av sju indikatorer sjunker effektivitetstalen från en didaktisk situation till följande (figur 39). Undantag är motivation och tillfredsställelse. Det höga effektivitetstalet på tillfredsställelse i den mellersta situationen och det relativt låga för motivation har kraftigt bidragit till att inte alla korrelationer är signifikanta. De didaktiska situationerna skiljer sig således från varandra då man studerar dem ur indikatorsynvinkel. Den statistiska styrkan är 0,6, vilket betyder att testet ändå inte på ett riktigt övertygande sätt kan spåra tydliga skillnader.

Nivåer av effektivitetsuppfattning

Utgående från de totala effektivitetstalen (från tabell 9) har eleverna indelats i tre (till elevantalet) lika stora grupper, som svarar mot olika nivåer av uppfattningar av effektivt lärande: låg nivå, mellannivå och hög nivå. Fördelningen presenteras i bilaga 14 (tabell 14.3) och figur 40. Resultatet visar att gruppen med låg effektivitetsuppfattning (gruppens medelvärde $M_{låg} = 0,01$) har negativa värden

på kontroll, prestation och förståelse och låga positiva effektivitetstal på de övriga indikatorerna. Gruppen med hög effektivitetsuppfattning ($M_{hög}$ = 0,99) har höga värden på alla övriga indikatorer utom kontroll. Gruppen med måttlig effektivitetsuppfattning (M_{mellan} = 0,64) har ett något högre värde på kontroll än högnivågruppen. Ansvar tillskrivs det största effektivitetstalet bland indikatorerna.



Figur 40. Effektivitetstal på de olika effektivitetsindikatorerna enligt nivå på elevernas uppfattning av effektivitet.

En karakterisering av de olika grupperna baserad på situationsvariabler och personliga egenskaper visar på en skillnad mellan grupperna på några punkter. Samtliga elever i gruppen med hög effektivitetsuppfattning har löst första uppgiften i utvärderingssituationen utan att begära hjälp av läraren (ett arrangemang som gjordes för att eleverna säkert skulle komma vidare och hinna arbeta med de följande uppgifterna). Gruppen har högsta medelpoängtalet och lägsta medelvärdet på tiden för att lösa uppgiften.

Ett intressant faktum är att gruppen med låg effektivitetsuppfattning har högre medelpoängtal och kortare tid för att lösa uppgifterna än gruppen med måttlig effektivitetsuppfattning. Av tabell 11 framgår emellertid att samtliga elever i gruppen med låg effektivitetsuppfattning har begärt hjälp av läraren för att komma vidare i uppgiften. Konsekvensen av denna strategi är att de klarar av uppgiften på kortare tid än mellangruppen och kan börja koncentrera sig på de

följande uppgifterna, som ger ytterligare poäng. I mellangruppen har exempelvis HaleB använt hela den tillbudsstående tiden för att lösa första uppgiften utan att begära hjälp. Resultatet är därför att han får en relativt låg poängsumma. Villemo som också tillhör mellangruppen (som en följd av höga effektivitetstal i de två första didaktiska situationerna) har emellertid misslyckats i provet. Dessa två elever står därför för det största bidraget till mellangruppens låga poängmedelvärde.

Resultatet av analysen kan sammanfattas i fyra punkter. För det första finns det en relativt stark korrelation mellan elevernas poängtal i provet och deras effektivitetstal i utvärderingssituationen ($r = 0,68$, $p < 0,05$), vilket tyder på att resultatet i provet (tabell 11) samvarierar med elevernas uppfattning av effektivt lärande. Ytterligare kan man konstatera att korrelationen mellan medelvitsorden på de fysikkurser, som har hållits före klassexperimentet, och den poängsumma eleverna har fått i provet i utvärderingssituationen också är stark ($r = 0,77$, $p < 0,01$), medan korrelationen mellan medelvitsorden och effektivitetstalen är positiv men svag ($r = 0,35$). Det finns av allt att döma en tydlig samvariation mellan provresultatet i klassexperimentet och elevernas fysikvitsord, men inte lika tydlig mellan deras fysikvitsord och effektivitetsuppfattning. Initial-differenserna mellan eleverna kommer mer till synes i utvärderingssituationen än i de övriga didaktiska situationerna. PDRac-verktyget i en provsituation ser ut att förstärka elevskillnaderna (genom den stora standardavvikelsen) och det sker en återgång av elevbeteende och -resultat som liknar de traditionella kursprov-situationerna.

För det andra kan man konstatera att den aktivare parten i varje elevpar tillhör en högre nivå av effektivitetsuppfattning, förutom paret BullsEye–Joker, som båda tillhör samma nivå (tabell 25). Eleverna i gruppen med låg effektivitets-uppfattning har en parkamrat som tillhör mellannivån, förutom Hulda, som har en parkamrat i gruppen med hög effektivitetsuppfattning. Denna fördelning av elevparen står i överensstämmelse med den tidigare diskussionen om elever som är den aktivare respektive passivare parten i elevparen.

Tabell 25. *Elevparens fördelning på nivåerna av effektivitetsuppfattning. Eleverna som hör till samma par finns på samma rad.*

Elevpar	Hög nivå	Mellannivå	Låg nivå
1	BullsEye, Joker		
2		Hook	Panther
3		HaleB	Edison
4	MattiAht		Hulda
5	Ice	Villemo	
6		Einstein	Dufva

Den tredje iakttagelsen är att samtliga elever i gruppen med hög effektivitetsuppfattning har intresse för och kunskap om datorer och ett grundintresse för fysiken som ämne. I gruppen med låg effektivitetsuppfattning är det endast Panther som uppger att han är datorintresserad och Hulda som uppger att hon har som ett givet mål att klara fysiken bra. I mellangruppen varierar intresset för datorer och fysik.

Slutligen kan noteras att ett par elever i gruppen med låg effektivitetsuppfattning och ett par i gruppen med måttlig effektivitetsuppfattning fokuserar starkt på att det förekommer *varför*-frågor i problemsituationerna som ingår i elevernas övningshäften. Sådana frågor vållar irritation och eleverna anser sig vara ovana med den typen av frågor. De ifrågasätter också sin förståelse av det fysikaliska händelseförloppet och tvivlar på sin förmåga att lösa problemen. Tabell 14.4 (bilaga 14) visar också att dessa elever har negativa effektivitetstal på indikatorerna kontroll, prestation och förståelse. Eleverna i gruppen med hög effektivitetsuppfattning fokuserar mer på den potential som PDRac-miljön erbjuder. Deras effektivitetstal på de nämnda indikatorerna är höga (eventuellt bortsett från kontroll, där effektivitetstalet är måttligt). Utifrån teorier om individers självefffektivitet (jfr Bandura, 1993; Pajares, 1996; Schunk, 1991) verkar det som om eleverna i gruppen med hög effektivitetsuppfattning har en hög självefffektivitet, vilket tar sig uttryck i en större beredskap till ansträngning, uthållighet och känsla av lugn då de angriper svåra uppgifter och aktiviteter. Eleverna i gruppen med låg effektivitetsuppfattning verkar tycka att saker och ting är svårare än de är och de har en begränsad syn på hur ett problem bäst kan lösas, dvs. de har låg självefffektivitet. Eleverna i gruppen med måttlig effektivitetsuppfattning uppvisar en varierande grad av självefffektivitet.

6.2 Lärarstudien

6.2.1 Lärares uppfattning av effektivt lärande i en potentiell PDRac-miljö

Uppfattningar baserade på de makrodidaktiska variablerna

Analysen av lärarnas uppfattningar grundar sig på kvantitativa data ur tabell 16 och 18 i kombination med kvalitativa data från lärarnas skriftliga kommentarer och syftar till att testa hypotes 3. Lärarnas namn anges för att det ska gå att associera de verbala uppfattningarna med kvantitativa data. Lärarnas uppgift är i första hand att bekanta sig med PDRac-verktyget och lärarhandledningen. Deras ställningstagande grundar sig på de makrodidaktiska variablerna vid en potentiell implementering av PDRac-miljön i undervisningen av växelströmsläran.

Fem lärare kan tillskrivas en starkt positiv uppfattning (M ≥ 1) av effektivt lärande då de utvärderar verktygets potential i undervisningssammanhang. Två lärare har en negativ uppfattning. De övriga har måttligt till relativt starkt positiva uppfattningar. De få lärare som verbalt kommenterar verktyget visar på både skepsis gentemot och möjligheter för ett sådant verktyg i undervisningen. Kritiska synpunkter handlar om överskådligheten och mängden av den information som visas på dataskärmen och den terminologi som används (Ninni). Det är inte heller lätt för lärarna att snabbt sätta sig in i ett nytt verktygs funktion med den stora mängd information som finns tillgänglig (Lee). En del lärare har erfarenhet av datorbaserade program och vet att de kan fungera men också leda till misslyckande (Lee, My). En kombination av elevgrupp, tidpunkt och lärare är en avgörande faktor i sammanhanget (Lee). Det är alltså viktigt att kunna arrangera en undervisning som understöder kongruens, dvs. att elevernas lärandestrategier och lärarnas undervisningsstrategier kan förenas (jfr Vermunt & Verloop, 1999) eftersom lärare och elever kan ha olika uppfattningar om exempelvis ett och samma verktyg. Den unga generationen, dvs. eleverna, har dock en viss vana och motivation att arbeta i den digitaliserade världen och har således potential att kunna utforska verktyget och dess möjligheter (My). Några lärare visar också ett positivt intresse för verktyget (Ninni, Lee, Robbe) och ser att dess potential bäst kommer till sin rätt om eleverna har tillräckligt goda förkunskaper och intresse att fördjupa sin kunskap om växelströmskretsar (Robbe).

Flera lärare har allmänt kommenterat och kritiserat PDRac-verktyget. Ninni, Stella, Gert och Odin ser en potential i verktyget. Tre av dem planerar att sätta in det i sin undervisning. Odin ser verktyget som en brygga mellan ett experimentellt och teoretiskt angreppssätt i fysikundervisningen. Han räknar med att verktyget är lämpligt för elever som saknar matematiska färdigheter i exempelvis derivering av trigonometriska funktioner. Fred anser att det finns för många instruktioner, vilket i viss mån överensstämmer med Gerts förslag att minska detaljerna till förmån för helheten.

Enligt forskningshypotes 3 har PDRac-verktyget potential att fungera effektivt vid undervisningen av växelströmsläran. Undersökningsresultatet visar att totala effektivitetstalet M_{eff} är 0,59. Resultatet stöder således hypotes 3.

Uppfattningar baserade på de mikrodidaktiska variablerna

Analysen nedan grundar sig på kvantitativa data ur tabell 17 och 18 i kombination med kvalitativa data från lärarnas skriftliga kommentarer och syftar till att testa hypotes 4. Lärarnas uppgift är att analysera PDRac-verktygets tänkta funktion i klassundervisningen, dvs. hur verktyget kan tänkas fungera i didaktiska situationer med elever. Detta fokus ligger inom ramen för de mikrodidaktiska variablerna.

En tydligare skepsis uppenbaras i denna del av undersökningen, eftersom effektivitetstalen med några undantag är lägre än effektivitetstalen baserade på de makrodidaktiska variablerna. Robbe och Affe placerar sig nu bland de lärare som har en negativ uppfattning. Zaches uppfattning har sjunkit, men Emils har ökat en aning. Odin håller kvar sin starkt positiva uppfattning. Tre lärare (Lee, Wille och Ebbe) stärker sin tidigare positiva uppfattning.

Gert, som har testat verktyget i reella situationer med elever, kritiserar detaljrikedomen, som kan ta bort elevernas uppmärksamhet på helheten och minska deras engagemang. Det är en faktor i lärandemiljön som enligt Hanrahan (1998) förhindrar eleverna att engagera sig kognitivt.

Jesse och My ser att verktyget har potential att åstadkomma diskussion i elevparen. Fast eleverna sinsemellan kan vara på olika nivåer kan den starkare eleven undervisa den svagare och rentav fungera bättre än en lärare enligt My. Hon avser eventuellt att en lärare ofta kan använda ett sådant språk och sådana termer som är främmande för eleverna. Elevers gemensamma terminologi kan i det fallet gynna lärandet. En av fördelarna med verktyget är enligt My att eleverna kan arbeta i egen takt, vilket gynnar den ofta bortglömda gruppen av snabba elever. Detta står i överensstämmelse med Damon och Phelps (1989) som hävdar att då elever arbetar tillsammans bidrar det till att de upptäcker, ger varandra feedback och delar idéer i rikligt mått. Detta slag av samarbete är mest användbart i uppgifter som kräver nya insikter och sådana där eleverna ska utveckla djupare kunskapsstrukturer. I sådana situationer är det fördelaktigast att jämlikheten och ömsesidigheten är stor mellan eleverna i paret.

Eftersom problemlösningen i PDRac-miljön sker utan stöd av facit, något som eleverna traditionellt är vana vid, är lärarens roll som handledare viktig (Jesse), dock inte i rollen att endast demonstrera verktyget för eleverna (Ninni). Tydligare instruktioner än vad nu är fallet är enligt Ninni nödvändigt, men de kan ha den nackdelen att elevernas eget utforskande reduceras. Det är således viktigt att analysera verktygets funktion i ljuset av de mål som läraren har med fysikundervisningen. I PDRac-miljön sätts de traditionella undervisnings- och lärandestrategierna på prov och kan förorsaka friktion, vars positiva komponent är den konstruktiva friktionen (jfr Vermunt & Verloop, 1999). Det betyder att eleverna måste förbättra sina färdigheter i lärande- och tankestrategier. Ett annat stort problem är att lärarna ofta har svårt att hinna engagera sig i innovationer (Gert); dessa kräver mer tid än traditionell undervisning (Robbe).

Ninni har efter en djupare analys av PDRac-miljön utvecklat sina synpunkter och tar fram de svårigheter eleverna kan få med att se samband mellan storheterna och växelströmskomponenternas inverkan på varandra. Detta är ett problem som bland annat har att göra med relationell kunskap och möjligheter att kunna utveckla förklaringsstrukturer (jfr exempelvis Perkins et al., 1995). Robbe vidhåller sin tidigare åsikt om verktygets möjligheter att ge eleverna en

djupare förståelse och kunskap om växelströmskretsar. De visuella representationerna utgör ett viktigt komplement till traditionell undervisning (Jesse).

Enligt forskningshypotes 4 har lärarna en positiv uppfattning om PDRac som ett effektivt verktyg i elevernas lärande i didaktiska situationer. Undersökningsresultatet visar att totala effektivitetstalet M_{eff} = 0,36 och att hypotes 4 får ett visst stöd.

Jämförelse av resultaten i lärarstudien utgående från de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna

I undersökningen är lärarnas uppgift att först fokusera på de makrodidaktiska variablerna och ge sina uppfattningar och därefter låta uppfattningarna ”färgas” av de mikrodidaktiska variablerna (jfr forskningsdesignen i figur 35). Det är fråga om en upprepad mätning med samma personer men under något olika premisser. De uppfattningar som lärarna bidrar med kan inte vara varandra uteslutande, isolerade. Det är därför av intresse att jämföra de båda mätresultaten. En variansanalys av effektivitetstalen från de två ovan analyserade delarna av lärarstudien presenteras i tabell 26 och sker analogt med klassexperimentet (avsnitt 6.1.2).

Tabell 26. *Variansanalys av effektivitetstal från lärarstudien.*

Variationsorsak	SS	df	MS	F	p
Makrodidaktiska-mikrodidaktiska variabler	0,477	1	0,477	10,693	< 0,01
Lärare	8,439	17	0,496	11,134	< 0,01
Rest	0,758	17	0,045		
Totalt	9,673	35			

Korrelationen mellan effektivitetstalen från de två delarna av undersökningen baserad på makrodidaktiska och mikrodidaktiska variabler är stark ($r = 0,84$, $p < 0,01$). Resultatet är att den systematiska variansen som beror av lärarna är stor och ger en liten felvarians (rest). Variansanalysen visar att det estimerade F-värdet ger en signifikant skillnad mellan effektivitetstalen i undersökningen av lärarnas uppfattningar som grundar sig på de makrodidaktiska (M_{eff} = 0,59) och mikrodidaktiska variablerna (M_{eff} = 0,36).

Resultatet visar att lärarna anser att PDRac-miljön (en makrodidaktisk variabel) har potential att fungera effektivt i elevernas lärande i växelströmsläran. De har inte en lika starkt positiv uppfattning av hur implementeringen av verktyget realiseras i form av didaktiska situationer (dvs. de mikrodidaktiska variablerna). Estimationen[2] visar att f = 0,228 vilket ger styrkan värdet 0,27 för signifikans-

[2] Se avsnitt 6.1.1 för beräkningar.

nivån 5 %. Enligt Cohen (1988) ligger styrkan av den experimentella effekten i gränstrakten mellan liten och medelstor. Det betyder att undersökningen visar på brister i precisionen att tillhandahålla reliabla svar på frågan om skillnaderna i praktiken existerar.[3]

6.2.2 Fördjupande analys

Den fördjupande analysen fokuserar på de indikatorer som bygger upp variabeln uppfattning av effektivt lärande och på strukturering av den undersökta lärargruppen på nivåer av effektivitetsuppfattning.

Effektivitetsindikatorer på makrodidaktiska och mikrodidaktiska variabler

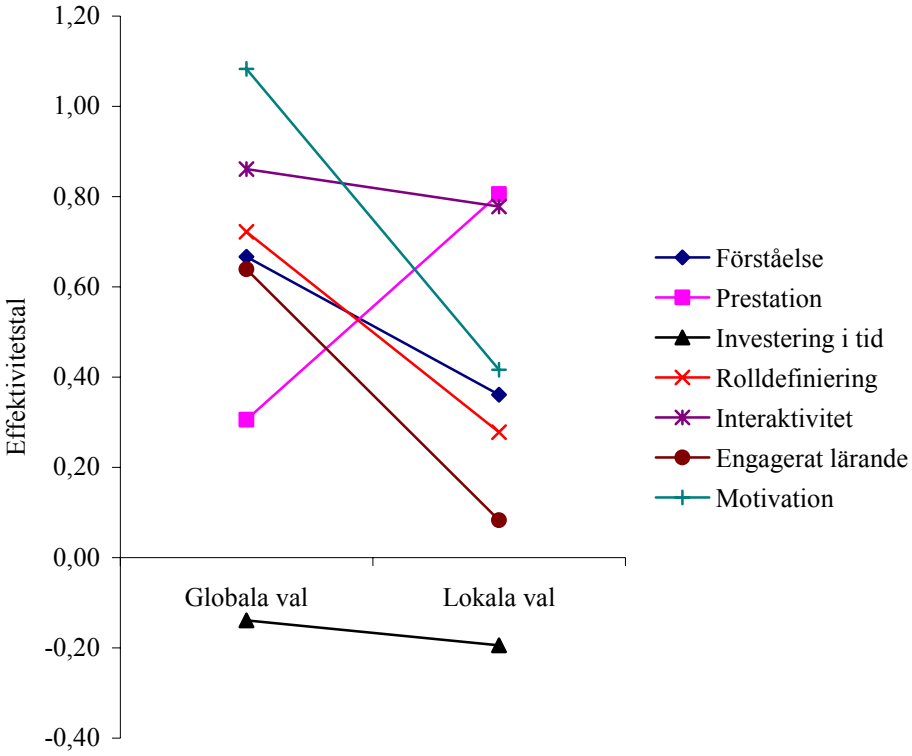
Fördelningen av effektivitetstalen på den beroende variabelns sju indikatorer med avseende på de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna, presenteras i figur 41 (och tabell 15.1 i bilaga 15).

Diagrammet visar att de indikatorer som bidrar med de största effektivitetstalen är motivation och interaktivitet. Lärarnas uppfattning av den tid som måste investeras i en tänkt implementering av PDRac-verktyget är däremot negativ. Det är ett mått på de marginella möjligheter en lärare har att introducera något som avviker från det traditionella och som kräver alternativa undervisnings- och lärandestrategier. Indikatorn engagerat lärande, som huvudsakligen fokuserar på parsamarbetet mellan eleverna i PDRac-miljön visar på ett något motsägelsefullt resultat. Det verkar som om lärarna inte uppfattar engagerat lärande som en effektiv komponent i lärandet, dvs. att eleverna i de didaktiska situationerna arbetar sig fram till gemensam kunskap. Ytterligare anser lärarna att eleverna i prestationshänseende kan konstruera meningsfull kunskap, men inte tolka graferna. Lärarna ser svårigheter med att det saknas entydigt facit i de uppgifter som eleverna ska lösa och avser indirekt att eleverna inte kan ta på sig rollen att självmant inhämta och bedöma den information som ska leda till lärande. Till den delen svarar inte programmet mot lärarens idéer. Lärarna hyser dock en viss förhoppning om att eleverna kan nå något slags förståelse av och dra slutsatser om växelströmskretsens funktion.

I lärarstudien förekommer endast en svag korrelation ($r = 0{,}46$) mellan indikatorernas effektivitetstal på de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna. Därför föreligger det inte heller någon signifikant skillnad mellan effektivitetstalen på de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna ur indikatorperspektiv. Den största orsaken till detta är indikatorn prestation som visar ett lågt effektivitetstal i testet baserat på de makrodidaktiska variablerna

[3] I lärarstudien har emellertid ingen forskningshypotes ställts upp om skillnader i lärarnas uppfattningar baserade på de makrodidaktiska och mikrodidaktiska variablerna, utan denna analys har gjorts i jämförelsesyfte med stöd av statistiska beräkningar i analogi med klassexperimentet.

och ett högt effektivitetstal på de mikrodidaktiska variablerna. Det finns dock en antydan till mönstermatchning mellan de övriga indikatorerna. Lärarnas uppfattningar, sedda ur indikatorperspektiv, divergerar något.



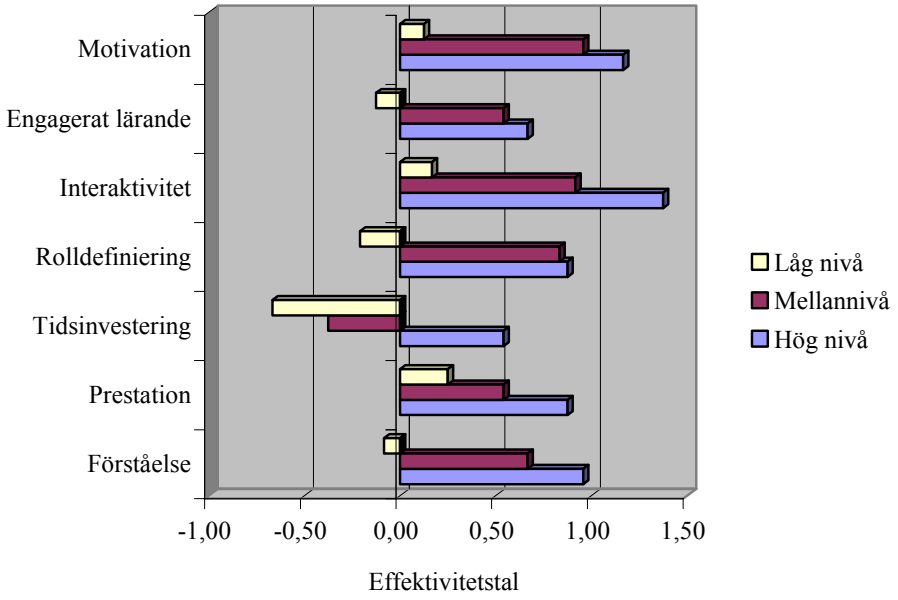
Figur 41. Lärarnas effektivitetstal på de olika indikatorerna med avseende på de makrodidaktiska (globala val) och mikrodidaktiska variablerna (lokala val).

Nivåer av effektivitetsuppfattning

Utgående från de totala effektivitetstalen (från tabell 18) har lärarna indelats i tre lika stora grupper, som svarar mot olika nivåer av uppfattningar av effektivt lärande: låg nivå, mellannivå och hög nivå på effektivitetsuppfattningen. Fördelningen presenteras i bilaga 15 (tabell 15.2 och 15.3) och figur 42.

Resultatet visar att gruppen med låg effektivitetsuppfattning ($M_{låg}$ = –0,08) har negativa effektivitetstal på engagerat lärande, rolldefiniering, tidsinvestering och förståelse. Gruppen har låga positiva medelvärden på de övriga effektivitets-indikatorerna. Gruppen med måttlig effektivitetsuppfattning (M_{mellan} = 0,58) har negativt effektivitetstal på indikatorn tidsinvestering och måttliga eller höga positiva effektivitetstal på de övriga. Gruppen med hög effektivitetsuppfattning

($M_{hög}$ = 0,92) har höga effektivitetstal på alla indikatorer med undantag av tidsinvestering, för vilken effektivitetstalet kan klassas som måttligt. Anmärkningsvärt är att effektivitetstalet på tidsinvestering är positivt.



Figur 42. Effektivitetstal på de olika indikatorerna enligt nivå på lärarnas uppfattning av effektivt lärande.

Lärarna i lågnivå- och mellannivågruppen verkar, i motsats till högnivågruppen, ha inställningen att det kräver mycket arbete och investering i tid att implementera en PDRac-miljö för en alternativ undervisning av växelströmskretsar. Hög- och mellannivågruppen skiljer sig tydligt från lågnivågruppen främst i fråga om engagerat lärande, rolldefiniering och förståelse. Lärarna bedömer att eleverna har kapacitet att engagera sig i lärandeprocessen genom kunskapsbyggande strategier, t.ex. genom diskussion och resonemang kring de fysikaliska problemen. Dessutom anser de att elevernas och lärarnas roller kan definieras och att resultatet av lärandeprocessen leder till förståelse av de fenomen som är associerade till växelströmskretsen. Trots det relativt stora antalet datorer i de undersökta gymnasierna är datoranvändningen i fysikundervisningen inte särskilt påfallande (tabell 19). Man kan inte heller upptäcka någon skillnad mellan lärarna i låg-, mellan- och högnivågrupperna ifråga om datorantal i skolan och lärarnas datoranvändning (tabell 15.4, bilaga 15).

6.3 Sammanfattande analys

Mikro- och makrodidaktiska variabler och effektivitetsuppfattning

I klassexperimentet förutsätts att variationerna i de didaktiska situationerna (den oberoende variabeln) har en inverkan på elevernas uppfattningar av effektivt lärande (den beroende variabeln). Emellertid finns det åtminstone två komplikationer i analysen av det förväntade sambandet. För det första har det kommit fram i undersökningen att det inom de didaktiska situationerna finns ett antal situationsvariabler, som förorsakar variationer i elevernas uppfattningar, då de tar ställning till påståendena i enkäten eller uttrycker sig i intervjuerna. För det andra kommer personrelaterade variabler att bidra till ställningstagandena.

I figur 24 i avsnitt 4.1.3 och figur 26 i avsnitt 4.2.1 framkommer att eleven befinner sig i en växelverkan med PDRac-miljön. Denna miljö består av PDRac-verktyget, handlednings- och övningsmaterialet och parkamraten. Enligt Brousseau (1997) inkluderas också elevens och parkamratens kunskaper i miljön. Situationsvariablerna, som kan kopplas till den ovannämnda växelverkan, sammanfattas kort nedan.

- Den första situationsvariabeln avser de didaktiska situationernas natur i PDRac-miljön. Situationerna har en komplicerad innehållsstruktur, eftersom de är planerade för en lärandeprocess som är mer utforskande än vad som traditionellt är fallet i fysikundervisningen. Lärandeprocessen grundar sig mer på elevernas kvalitativa resonerande än på formelanvändning i fysiken.
- Den andra situationsvariabeln handlar om att eleverna befinner sig i adidaktiska situationer, där de genom fri produktion försöker få kunskapen att fungera och utvecklas effektivare än vid traditionell undervisning (jfr Brousseau, 1997). Det didaktiska kontraktet ställs på prov, samspelet mellan lärare och elev är inte klart definierat. Det uppstår stressfaktorer som bland annat beror på elevernas möjligheter att hinna genomföra de förelagda uppgifterna på den tid de har till förfogande. Detta kommer speciellt till uttryck då eleverna är osäkra på när en given problemsituation är genomförd, dvs. när en given uppgift är färdigt löst. Antalet genomförda övningar och resultat av provet är faktorer som ingår i denna variabel.
- Den tredje situationsvariabeln gäller elevernas parsamarbete i de didaktiska situationerna övning och begreppsintroduktion. Olika grader av jämlikhet och ömsesidighet mellan eleverna bestämmer hur diskussionen utvecklas och kategoriserar eleverna i en aktivare och passivare part i elevparet. I situationen utvärdering är samarbetsfaktorn inte aktuell eftersom eleverna arbetar individuellt.
- Den fjärde situationsvariabeln har att göra med PDRac-verktygets egenskaper att parallellt, dynamiskt och interaktivt representera data i bildform, i numerisk och grafisk form. Andra egenskaper är verktygets layout på dataskärmen, variationer i dataskärmens utseende och mängden av

olika slags data. Också datarepresentationernas visibilitet versus opacitet och representationernas förändringshastighet på skärmen är egenskaper som kan nämnas.
- Den femte situationsvariabeln gäller handledningsmaterialet med instruktioner och övningar för eleverna. Exempel på sådana faktorer som påverkar elevernas uppfattningar är uppgifternas antal och deras natur, förekomsten av *varför*-frågor och avsaknaden av facit till uppgifterna.
- Den sista situationsvariabeln gäller endast utvärderingssituationen. Eleverna har vid behov möjlighet att få hjälp av läraren (”köpa tips”) för att kunna lösa den första provuppgiften. Denna uppgift bestämmer nämligen hur eleven kan fortsätta med de påföljande uppgifterna.

De personrelaterade variablerna är associerade till eleven själv. Följande tre faktorer har kommit fram i undersökningen:
- Den första personvariabeln handlar om att eleverna har med sig varierande förkunskaper i fysik och likaså varierande kunskaper och färdigheter i att använda en dator. Denna bestämmer hur elevernas fria produktion fungerar i de adidaktiska situationerna.
- Den andra personvariabeln gäller elevernas uppfattningar baserade på faktorer som t.ex. ett inneboende intresse för fysik, fysikens praktiska tillämpningar och datorer inklusive tillämpningar.
- Den tredje personvariabeln gäller individuella karaktärsdrag, såsom emotionell läggning, personlig samarbetsförmåga, ambitionsnivå och själveffektivitet. Dessa är faktorer som är involverade i sambandet mellan didaktiska situationer och uppfattning av effektivt lärande.

I lärarstudien har det framkommit tre variabler som styr lärarnas ställningstagande i fråga om uppfattningen av effektivt lärande.

- Den första variabeln gäller lärarnas synpunkter på PDRac-verktyget och handledningsmaterialet. Lärarna lyfter fram sådana faktorer som handlar om dataskärmens överskådlighet, visuella representationer och mängden och detaljrikedomen av den information som finns på dataskärmen. Också den använda terminologin och instruktionerna som ska vägleda eleven har kommenterats.
- Den andra variabeln handlar om lärarnas inneboende faktorer, t.ex. intresse att engagera sig i innovationer i undervisningen, lärarnas tidigare erfarenheter av datorbaserad undervisning, samspelet lärare–elev–tidpunkt och lärarnas målsättning i kombination med tillgång till verktyg i undervisningen.
- Den tredje variabeln gäller lärarnas syn på elevens lärandeprocess i PDRac-miljön. Det handlar då delvis om att eleverna har potential att utforska PDRac-verktyget tack vare motivation och vana att leva i en digitaliserad värld. PDRac-miljön har också potential att åstadkomma elevdiskussioner, där eleverna kan undervisa varandra. Eleverna får arbeta i egen takt enligt

sina förutsättningar. Verktyget kan skapa en djupare förståelse och kunskap om växelströmsfenomen, men det kan vara svårt för eleverna att se samband mellan storheter och undersöka växelströmskomponenternas inbördes påverkan. Ett par villkor för ett fruktbart lärande i PDRac-miljön är enligt lärarna goda förkunskaper i fysik och intresse att fördjupa sig i ämnet.

Mätresultaten i elev- och lärarstudien av PDRac-verktygets didaktiska potential och dess implementering i didaktiska situationer stöder tre av fyra huvudhypoteser (hypotes 1, 3 och 4) och två av tre underhypoteser (hypotes 2.1 och 2.2) som ställts upp. Hypotes 1 förutsätter att eleverna har en positiv uppfattning av effektivt lärande i didaktiska situationer, där eleven befinner sig i en växelverkan med en miljö, som består av ett datorbaserat PDRac-verktyg och i två av situationerna en parkamrat och vid behov en lärare. I den tredje didaktiska situationen arbetar eleven ensam i PDRac-miljön. Den andra hypotesen förutsätter att det finns skillnader i elevernas uppfattningar, som beror på att de didaktiska situationerna har olika inriktningar, i betydelsen att olika pedagogiska principer följs, och att de dessutom har olika svårighetsgrader. Hypotes 2 kan dock inte bekräftas i den meningen att skillnaderna skulle vara signifikanta. Effektivitetstalen, som är ett mått på elevernas uppfattningar av effektivt lärande, sjunker dock successivt i de tre didaktiska situationerna. I fråga om de två första didaktiska situationerna, övning och begreppsintroduktion, påvisas att eleverna har positiva uppfattningar av effektivt lärande (underhypotes 2.1 och 2.2). Resultaten från utvärderingssituationen stöder emellertid inte underhypotesen 2.3, som uttrycker att elevernas effektivitetsuppfattning är negativ. Emellertid har det visat sig att effektivitetstalet varierar i den förutsagda riktningen på ett tydligt sätt närmast för de elever som hade den passivare rollen i elevparet, medan effektivitetstalet hålls konstant för den aktivare elevgruppen.

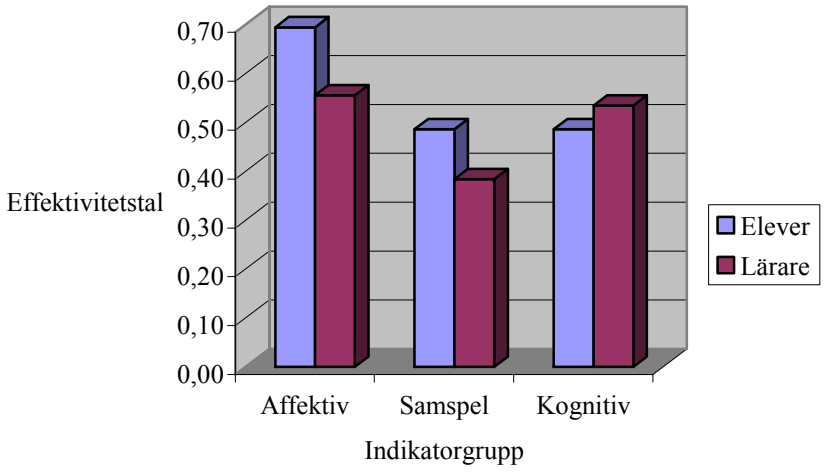
I lärarstudien har de deltagande lärarna endast undersökt PDRac-verktyget och medföljande handledningsmaterial, men inte använt verktyget i klassituationer (med ett par undantag). Mätningen av lärarnas uppfattning stöder hypoteserna, som för det första uttrycker att PDRac-miljön har potential till effektivt lärande (hypotes 3) och för det andra kan fungera i (för läraren) tänkta didaktiska situationer med elever (hypotes 4).

Grupper av effektivitetsindikatorer

Den beroende variabeln *uppfattning av effektivt lärande* mäts med hjälp av indikatorer som utgör subkonstruktioner till konstruktionen *effektivt lärande*. Indikatorerna är associerade till effektivitet i lärandeprocessen. Sju indikatorer har definierats i både elev- och lärarstudien. Eftersom indikatorerna inte är identiskt lika i de båda studierna har likartade indikatorer sammanförts till grupper (se avsnitt 4.3.1, tabell 5). På det sättet ges det en möjlighet att strukturera den beroende variabeln för att kunna jämföra resultaten i elev- och lärarstudien. Indikatorgrupperna associeras till affektiva aspekter, samspels-

aspekter och kognitiva aspekter av lärandeprocessen i implementeringen av PDRac-miljön. Det finns också en antydan till kronologi i den meningen att de affektiva aspekterna i allmänhet berör tiden före och under undervisnings-lärandeprocessen, medan samspelsaspekterna berör tiden under och de kognitiva aspekterna tiden under och efter undervisnings-lärandeprocessen. Indikatorn tillfredsställelse är placerad tillsammans med de kognitiva aspekterna eftersom tillfredsställelsen är den ”belöning” som är resultatet av lärandeprocessen. Denna kronologi ska dock inte överbetonas. Likadant är det med placeringen av indikatorn tidsinvestering. Resultaten från de båda studierna presenteras i figur 43.

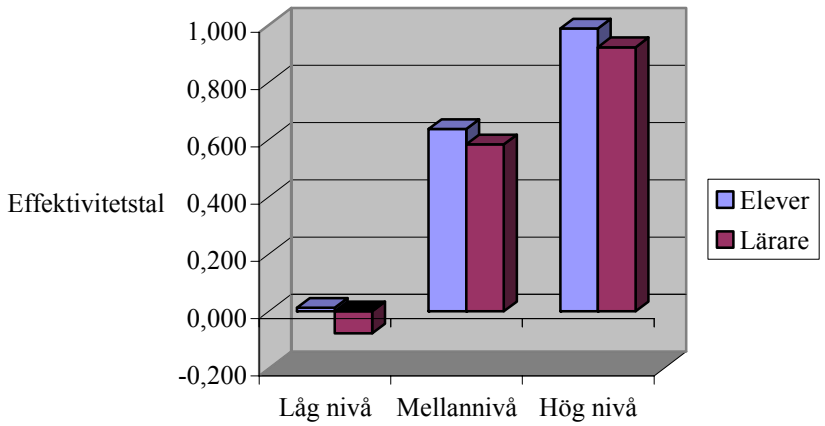
Effektivitetstalens fördelning på indikatorgrupperna i elev- och lärarstudien visar på en likadan trend. De affektiva aspekterna ger det största positiva bidraget till både elevernas och lärarnas effektivitetsuppfattning. PDRac-verktyget och den lärandemiljö som byggs upp påverkar aktörerna mest i fråga om motivation, attityd-intresse och engagerat lärande. Däremot ger samspelsaspekterna det minsta bidraget till effektivitetsuppfattningarna. Fastän ansvaret och interaktiviteten bidrar till att höja effektiviteten så motverkas de av en svag känsla av kontroll, otydlig definiering av elev- och lärarrollerna och svag beredskap att investera i den tid som behövs för att lärandeprocessen ska betraktas som effektiv. Slutligen bedöms de kognitiva aspekterna vara något starkare i lärarnas uppfattning än i elevernas.



Figur 43. Effektivitetstal på indikatorgrupperna, som åskådliggör olika aspekter av lärandeprocessen i implementeringen av PDRac-miljön från elev- och lärarsynpunkt.

Nivåer av effektivitetsuppfattningar

En jämförelse av elev- och lärargrupperna utgående från en indelning i tre nivåer av effektivitetsuppfattning visas i figur 44. Trenden är också här likadan i både elev- och lärarstudien. Nivåerna av läraruppfattningarna är lika inhomogena som elevernas. Lärarna har något lägre effektivitetstal på alla nivåer och det märks speciellt i gruppen med låg effektivitetsuppfattning, där lärarna uppvisar en negativ uppfattning. Resultatet visar att det finns en grupp elever och en grupp lärare som inte har uppfattningen att PDRac-miljön har potential för effektivt lärande. För lärarnas del beror det låga effektivitetstalet närmast på indikatorerna tidsinvestering och rolldefiniering. I elevgruppen är det i huvudsak indikatorerna kontroll och förståelse som bidrar med låga effektivitetstal. Det finns också en grupp elever och lärare som tydligt tar till sig denna form av lärande i fysik – de som har hög nivå på effektivitetsuppfattning. Bland eleverna är det indikatorerna attityd och intresse, ansvar och prestation som svarar för de högsta värdena, bland lärarna är det interaktivitet, motivation och förståelse.



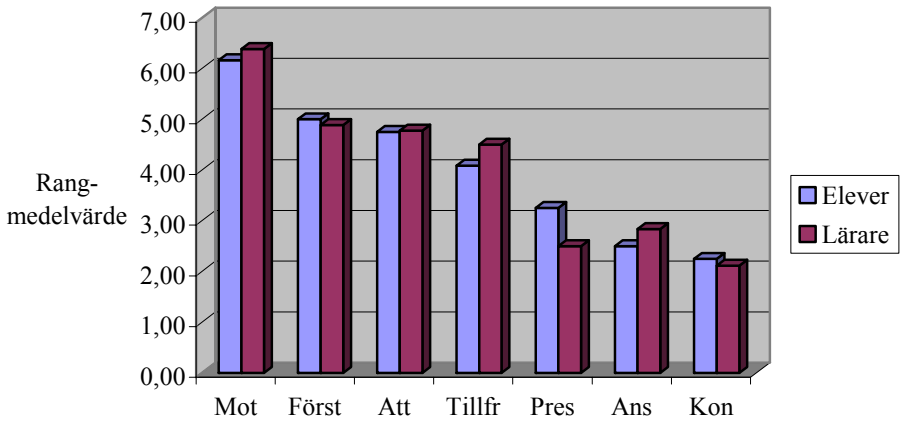
Figur 44. Effektivitetstal på de olika nivåerna av effektivitetsuppfattning.

Rangordning av effektivitetsindikatorer

Resultatet av undersökningen, där eleverna och lärarna rangordnar de sju effektivitetsindikatorerna *motivation, attityd och intresse, ansvar, kontroll, prestation, förståelse* och *tillfredsställelse* visas i figur 45 (och bilaga 16, tabell 16.1). Denna rangordning avser generellt undervisnings-lärandekontexten i fysik, inte specifikt PDRac-miljön. Diagrammet är uppgjort enligt elevernas

rangordning. Resultatet visar att elever och lärare rangordnar på samma sätt, förutom i ett fall. Lärargruppen har ett lägre rangmedelvärde på prestation än på ansvar. Det finns synbarligen en samstämmighet mellan elever och lärare i denna fråga.

Motivation, förståelse och attityd är de faktorer som betraktas som viktigast i fysikundervisningen. Däremot tycks faktorer som ansvar och kontroll inte anses lika betydelsefulla. Det är att observera att samma indikatorer har använts i klassexperimentet, där elevernas uppfattningar av effektivt lärande undersöktes i didaktiska situationer i PDRac-miljö. En rangordning, som baseras på effektivitetstalen på indikatorerna (bilaga 14, tabell 14.2), visar att ordningsföljden i klassexperimentet här är en annan: *ansvar, attityd och intresse, motivation, tillfredsställelse, prestation, förståelse* och *kontroll*. Ansvaret får således en primär betydelse i lärandeprocessen i PDRac-miljön i jämförelse med traditionell fysikundervisning.



Figur 45. Elevernas och lärarnas rangordning av sju effektivitetsindikatorer i en generell undervisnings- och lärandekontext i gymnasiefysiken.

Val av centrala fysikbegrepp

De 18 fysikbegrepp (vilka här avser fysikaliska storheter och/eller fenomen) som ingår i undersökningen bland eleverna och lärarna kan grovt indelas i två kategorier: enkla och komplexa (tabell 27). Enkla begrepp i denna kontext är sådana som har liten eller ingen koppling till andra begrepp (som har betydelse i sammanhanget), medan komplexa begrepp beror av flera andra begrepp. Denna indelning är inte på något sätt generell utan görs lokalt i denna studie för att åskådliggöra PDRac-verktygets möjligheter att bidra till att förklara begreppen.

Några exempel ges. Resistans är i denna kontext en enkel storhet. Resistansens värde (i enheten ohm) beror givetvis av faktorer som temperatur, det ämne resistorn är tillverkad av eller av resistorns geometri. Dessa faktorer står inte i fokus i PDRac-miljön, utan resistorns egenskaper karakteriseras endast av dess resistans. Resistorn betraktas i detta fall som en ”black box”. Generellt klassificeras de storheter som användaren kan mata in direkt i PDRac-verktyget som enkla storheter. En komplex storhet kan t.ex. representeras av induktiv reaktans, som beror av både frekvens och induktans. En annan komplex storhet är induktionsspänning, som beror av spolens induktans och strömstyrkans tidsderivata. Den sistnämnda beror i sin tur av tiden, frekvensen och strömstyrkans amplitud. De sex sista komplexa begreppen i tabell 27 kan klassificeras som de svåraste i växelströmsläran.

Resultatet av undersökningen, där eleverna och lärarna har valt ut fem begrepp, visar att lärarna prefererar de komplexa begreppen, medan eleverna har flera enkla begrepp högst på listan (se tabell 15 och 21 avsnitt 5.1.2 respektive 5.2.2). I den övre halvan av tabellen har lärarna sju komplexa (av vilka tre är de svåra) och två enkla begrepp. Eleverna har på motsvarande sätt fyra komplexa (av vilka två är svåra) och fem enkla begrepp högst på listan.

Tabell 27. *Kategorisering av fysikaliska begrepp, dvs. storheter och fenomen i växelströmsläran i PDRac-miljön. Begreppen är sorterade gruppvis i bokstavsordning.*

Enkla begrepp	Komplexa begrepp
Frekvens	Induktiv reaktans
Induktans	Kapacitiv reaktans
Kapacitans	Kondensatorns laddningsfaser
Period	Potential
Resistans	Toppvärde, momentanvärde, ef-
Totalspänningens toppvärde	fektivvärde (spänning, strömstyrka komponentvis)
	Fasdifferens
	Impedans
	Induktionsspänning
	Serieresonans
	Självinduktion
	Strömstyrkans tidsderivata

Tre lärare har kommenterat valet av fysikbegrepp. Ninni har valt två enkla och tre komplexa begrepp och konstaterar att PDRac-verktyget inte tillför undervisningen särskilt mycket. Hon anger emellertid som orsak att hon borde arbeta mycket med materialet för att kunna optimera dess användning. Theo har valt fem komplexa (av vilka fyra är ”svåra”) begrepp och anser att elevernas

förståelse av dessa underlättas med verktygets hjälp. My anser att växelströmsläran är ”full av nya begrepp, fenomen och formler” och att en visualisering av dessa hjälper eleverna. Hon har också valt ut fem komplexa begrepp, av vilka tre tillhör de s.k. svåra begreppen enligt den temporära kategoriseringen ovan.

Man kan dra den slutsatsen att PDRac-verktygets största potential ligger i möjligheterna att representera de komplexa begreppen på ett dynamiskt och interaktivt sätt, där eleverna själva kan styra händelseförloppet genom att variera de enkla storheterna. Genom att studera de parallella representationerna, som består av de numeriska fälten, grafiska fönstren och bilderna, kan eleverna se olika aspekter av de fysikaliska begreppen och iaktta hur de samverkar.

7 Validering

Den didaktiska ingenjörskonsten som forskningsmetod karakteriseras av en tydlig struktur (se figur 34) och avslutas med en validering av forskningens slutsatser. Valideringen består här av två huvudmoment: valideringen av empirin och valideringen av PDRac-produkten inklusive implementeringen. Valideringen av empirin är en konfrontation mellan a priori- och a posteriori-analysen och behandlar slutledningsvaliditet, inre validitet och begreppsvaliditet. I studien spelar produkten, dvs. PDRac-verktyget inklusive handledningsmaterialet och deras didaktiska potential, en central roll. Valideringen avslutas med ett avsnitt som behandlar produktvaliditeten. Produktvalidering (jfr forskningsprocessens steg i figur 34) har sin utgångspunkt i de preliminära analyserna (kapitel 3) och är nära sammankopplad med designfasen i de globala valen och implementeringen i de lokala valen (kapitel 4).

7.1 Validering av klassexperimentet och lärarstudien

Valideringen av de empiriska undersökningarna syftar till att svara på den tredje forskningsfrågan (avsnitt 3.6), som gäller huruvida PDRac-verktyget och dess implementering påverkar elevernas och lärarnas uppfattning av effektiviteten i lärandeprocessen.

Slutledningsvaliditeten är kopplad till analysen av empiriska data och avser att fastställa huruvida det finns ett samband mellan de ingående variablerna i den empiriska studien. De variabler som avses här består av mikrodidaktiska variabler, som tillhör de lokala valen, och de makrodidaktiska variablerna, som tillhör de globala valen (jfr undersökningsdesignen i figur 35). De mikrodidaktiska variablerna är underställda de makrodidaktiska.

I klassexperimentet fungerade en svit av *didaktiska situationer* som oberoende variabel och betraktades som en manipulerad mikrodidaktisk variabel. Till de mikrodidaktiska variablerna hörde också de *situationsvariabler* som emanerade ur a posteriori-analysen. Som beroende, uppmätt variabel definierades variabeln *uppfattning av effektivt lärande*. I lärarstudien fanns ingen egentlig oberoende variabel, utan en kombination av makro- och mikrodidaktiska variabler fungerade som input för lärarnas uppfattningar. Dessa variabler kom till genom teoretiska överväganden i kapitel 4.

Trochim (2000) gör en indelning av forskningen i *teorilandet* och *observationslandet*. Teorilandet innehåller teorier om orsakskonstruktionen, verkankonstruktionen och sambandet mellan dessa. Observationslandet behandlar programmet, observationerna (eller utfallet) och sambandet mellan dem.

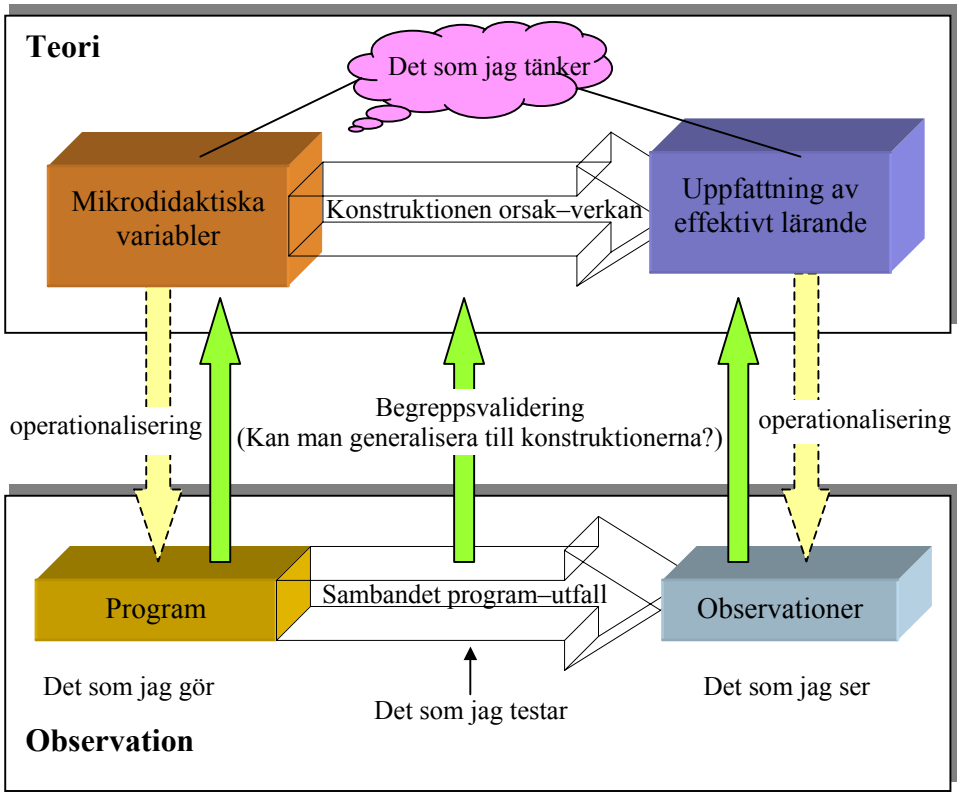
De mikrodidaktiska variablerna, den beroende variabeln och sambandet mellan dem åskådliggörs i teorilandet i figur 46. Operationaliseringen av variablerna till program, som här avser PDRac-verktyget och dess implementering i didaktiska situationer, och observationer av elevernas och lärarnas uppfattning av effektivt lärande förflyttar fokus till observationslandet. Slutledningsvaliditeten handlar om att validera slutsatserna om ett möjligt samband mellan program och utfall (observationer).

Observationslandet är det valideringsobjekt där den inre validiteten sätts under luppen i ett försök att avgöra huruvida ett potentiellt samband är orsaksmässigt. Denna validering är kopplad till designen av de empiriska undersökningarna. Därefter behandlas begreppsvaliditeten, som handlar om huruvida operationaliseringen av program, konstruktioner och variabler har gjorts på det sätt som varit avsikten. Vid valideringen är det ändamålsenligt att beakta de specifika validitetshoten som kan vara anledningen till att felaktiga slutsatser kan dras.

Det är svårt att tillhandahålla övertygande bevis på mätningars validitet (Zeller, 1988, s. 322) och man kan därför inte vara absolut säker på validitet. Man kan endast göra något slags anspråk på att det test och den metod man använt är valida. Varje validitetsdiskussion vilar helt på den grund på vilken man har definierat de karakteristika man har gjort mätningar på (Wellington, 2000, s. 30–32). Som exempel kan man ta variabeln *uppfattning av effektivt lärande*. Variabeln kan definieras på ett bestämt sätt, och hur detta sedan har gjorts kan öka validiteten i det som läggs fram för att mäta den. Varje validitetsutvärdering beror därför i hög grad på definitionen av termer eller meningen med det som ligger bakom dem. Många termer som används i forskningen är extremt problematiska t.ex. förståelse, attityd, prestation, lärande, utveckling, fysikkunskap eller IT-kunskap.

Wellington (2000) hävdar vidare att ”det är i grund och botten ett olöst problem med inre validitet i forskningen och i all vår kunskap i allmänhet” (s. 30, egen övers.). Man kan få kännedom om verkligheten endast genom att observera eller mäta den. Sedan måste man konstatera att det inte är enkelt att veta hur långt mätningarna eller observationerna motsvarar verkligheten. Enligt Wellington har människan sin iakttagelseförmåga att appellera till när hon ska bedöma huruvida hennes iakttagelseförmåga motsvarar verkligheten. I det fallet är alla fångade i samma cirkelfälla. Därför är det viktigt, säger han, att ”dela med sig, kommunicera och kontrollera intersubjektivt och ömsesidigt”. Exempelvis föreligger faran att forskaren vid tolkning av insamlade data uttyder elevresponser i betydelsetermer som avviker mycket från elevens egna idéer. I extrema fall kan tolkningen av t.ex. intervjudata mera frambringa tolkarens förståelse eller missuppfattning av det undersökta ämnet än elevens förståelse (Duit, Treagust & Mansfield, 1996, s. 18–19).

Medveten om att dessa faror har kantat min forskningsväg har jag för avsikt att ge mig i kast med uppgiften att diskutera genomförandet av den aktuella forskningen och åtgärder avsedda att stärka validiteten av de slutsatser som dras i den aktuella studien. I valideringen gäller det först och främst att reflektera över och redogöra för läsaren hur avhandlingen har utarbetats för att ge en sanningsenlig bild av den studie som genomförts. Enligt Tate (1988, s. 100, egen övers.) är ”detaljerade beskrivningar av försökspersoner, behandlingar och uppläggningar kritiska element då man ska fastställa validiteten av slutsatserna av en studie”. En god forskningsdesign ökar validiteten och minimerar rimliga alternativa förklaringar för det hypotetiserade sambandet mellan orsak och verkan. Validitet är också en fråga om grad såtillvida att en slutsats kan variera från låg till hög grad av validitet (Lund, 2005, 2. 121). Lund hävdar vidare att validitetssystemet, som består av slutledningsvaliditet, inre validitet, begreppsvaliditet och extern validitet, är användbart i både kvantitativ och kvalitativ forskning.



Figur 46. Översikt över teorilandet och observationslandet, operationalisering och validering (efter Trochim, 2000). Med program avses PDRac-verktyget och dess implementering i didaktiska situationer.

Enligt Lund kan det vara så att endast delar av validitetssystemet är relevanta i ett givet forskningsobjekt. Forskningsproblemet och det allmänna syftet med en studie är det väsentliga då man ska avgöra relevansen av slutsatserna och deras validitet (s. 122).

I individuella studier och utvärderingar av programimplementeringar är det enligt Trochim (2000) inte givet att en traditionell dikotom design med experimentgrupp versus kontrollgrupp är mycket annat än ett relativt grovt och oinformativt tillvägagångssätt. Han hävdar att en kvasiexperimentell design i forskning inom undervisning är ett realistiskt alternativ, som under de senaste decennierna har utvecklats och fått ökad betydelse, men som samtidigt gör forskningen komplicerad. Allt kvasiexperimenterande innebär att forskaren måste ägna sig åt en grannlaga bedömning och kritik. Kvasiexperimentell forskning baserar sig på multipla och varierande beviskällor och bör vara mångfasetterad i genomförandet. Viktigt är att ge akt på processen lika väl som resultatet. Processen fungerar bättre när den drivs av teori och leder i sista hand till multipla analyser som försöker stänga in effekterna av ett program inom ett rimligt område.

7.1.1 Slutledningsvaliditet

Slutledningsvaliditet är relevant då man försöker avgöra om det finns något samband i de observationer som görs. Ursprungligen har man med statistisk slutledningsvaliditet tänkt sig endast frågan om statistisk inferens (Trochim, 2000), dvs. att det finns ett statistiskt samband mellan två fenomen, då en specificerad signifikansnivå och erhållna varianser är givna (Cook & Campbell, 1979, s. 41). Numera är det uppenbart att slutledningsvaliditet är relevant också i kvalitativ forskning (Trochim, 2000).

En av delfrågorna i denna studie är huruvida man kan säga att det finns en samvariation mellan de mikrodidaktiska variablerna och uppfattning av effektivt lärande. Resultatet i klassexperimentet visade att elevgruppen i alla didaktiska situationer hade en positiv uppfattning av effektivt lärande enligt det beräknade effektivitetstalet, som var ett mått på elevernas uppfattningar. I situationerna övning och begreppsintroduktion överensstämde resultatet med hypoteserna. I utvärderingssituationen var effektivitetstalet lägst men positivare än förväntat. Resultatet visade sig därför inte överensstämma med hypotesen. Trots att provsituationen var ”tuff” och ”annorlunda” visade eleverna, i högre grad än förväntat, både seghet och tålighet i att framhärda trots sina varierande framgångar – med en svag, men positiv uppfattning som resultat.

I klassexperimentet användes en experimentdesign, som var en form av upprepade mätningar. Den var lämplig för att undersöka förändringar och trender och hade fördelen att varje deltagare fungerade som sin egen kontroll (jfr t.ex. Hassmén och Koivula, 1996, s. 14, 19). Den slumpmässiga heterogeniteten

bland respondenterna kunde minskas. Designen gav därför möjlighet att jämföra de tre didaktiska situationerna.

Vid en jämförelse av dessa tre successiva, didaktiska situationer visade det sig att effektivitetstalet som förväntat sjönk från en didaktisk situation till följande. Skillnaderna var dock inte statistiskt signifikanta. Det fanns en korrelation mellan effektivitetstalen i situationerna övning och begreppsintroduktion, men inte mellan de didaktiska situationspar där utvärdering fanns med som variabel. Situationsfaktorer och personliga egenskaper (se avsnitt 6.1.1) kom att påverka på ett mer likartat sätt i situationerna övning och begreppsintroduktion. Dessa situationer uppvisade sinsemellan flera likheter med varandra. Variabiliteten i effektivitetstalen var större i utvärderingssituationen än i de två föregående didaktiska situationerna. Efter en uppdelning av elevgruppen i en aktiv och passiv grupp utgående från arten av elevparens samarbete visade det sig att den s.k. aktiva gruppens uppfattning av effektivt lärande hölls konstant över de didaktiska situationerna, medan den passiva elevgruppens uppfattning sjönk kraftigt och var negativ i utvärderingssituationen. Med andra ord, det var den passiva elevgruppens effektivitetstal som sjönk på ett sätt som hypoteserna förutsade.

I lärarstudien understödde mätresultaten hypoteserna. Lärarna hade positiva uppfattningar av effektivt lärande i undersökningarna som baserade sig på de globala och lokala variablerna. Skillnaden i effektivitetstal var signifikant.

I den empiriska studien utnyttjade jag en uppsättning kvantitativa och kvalitativa data som analyserades på ett flertal sätt. Detta förfarande hör till metodiken didaktisk ingenjörskonst. Den kännetecknas av att forskaren samlar olika slag av data (se Artigue, 1992, s. 55). Med dessa data försöker forskaren belysa problemen ur flera synvinklar för att ge så god information som möjligt och för att stöda förklaringsmodellerna. Det ska inte betraktas som ett försök att ”fiska” efter specifika resultat (jfr Cook & Campbell, 1979, s. 42), ett hot som är aktuellt i sådana fall då man drar slutsatsen att det finns ett samband fast det inte finns något.

De flesta hoten mot slutledningsvaliditet har att göra med problemet att dra slutsatsen att det inte finns något samband mellan variablerna fast det i själva verket finns ett samband. Eftersom en del av de slutsatser som dras grundar sig på statistiska resultat redogörs i det följande för de huvudsakliga hoten mot slutledningsvaliditet.

Reliabilitet i mätinstrument och implementering av behandling

Reliabilitet är en bedömning av i vilken utsträckning ett test, en metod eller ett verktyg ger konsistenta resultat över en räcka uppläggningar. Den är länkad till idén om i vilken utsträckning ett forskningsobjekt kan kopieras eller upprepas

för att ge samma resultat i en annorlunda kontext med andra forskare. En testprocedur som är välgjord förväntas producera resultat som inte i alltför hög grad beror av en specifik uppsättning av frågor, tidpunkten då testet görs eller de personer som utför testet (Livingston, 1988, s. 386). Forskare som studerar den sociala världen kan inte uppnå total reliabilitet (Wellington, 2000, s. 30–32). Reliabilitetsdiskussionen har här tagits med enbart som stöd för validitetsresonemanget.

Mätinstrumentet utarbetades delvis på basis av erfarenheter från ett pilottest. Själva mätinstrumentet bestod av frågeformulär som till det yttre såg likadana ut. Det fanns två påståenden per effektivitetsindikator. De var blandade med avseende på indikatorer så att två påståenden från samma indikator inte gränsade till varandra (jfr Selwyn, 1997, s. 39). Dessutom fanns påståenden med negativa ordalydelser. Mätinstrumentet uppfyllde därför det första av kriterierna på Likertskalor (Anderson, 1988, s. 428), vilket innebar att påståendena ur respondentens synvinkel borde representera både gynnsamma och ogynnsamma attityder.

Den empiriska undersökningen presenterades i kapitel 5. I avsnitt 5.1.1 beskrevs på ett detaljerat sätt undervisnings- och testproceduren i klassexperimentet och i avsnitt 5.2.1 testproceduren i lärarstudien. Resultat som baserades på kvantitativa och kvalitativa data presenterades noggrant i avsnitt 5.1.2 och 5.2.2 (och bilagorna 14–16). I avsnitt 5.1 beskrevs också databearbetningsprocessen, som sedan utgjorde grunden till en mångfasetterad a posteriori-analys av klassexperimentet i avsnitt 6.1 och lärarstudien i 6.2. En sammanfattande analys gjordes i avsnitt 6.3.

Implementeringen av PDRac-miljön och den efterföljande testningen var noga genomförd. Att forskaren fanns med som stöd var ett slags garanti för att implementeringen skulle fungera så klanderfritt som möjligt. Det fanns inga sådana situationsdistraktioner som allvarligt kunde ha äventyrat datainsamlingen. Eleverna hade fått öva sig i att fylla i formuläret i samband med en handledning i hantering av PDRac-verktyget inför klassexperimentet. Frågeformuläret ifylldes direkt efter var och en av de didaktiska situationerna och eleverna genomförde ifyllandet koncentrerat – deras tankar var uppfyllda av det de hade varit med om, vilket gav större garanti för att de markerade rätt. Några få påståenden kunde eventuellt missuppfattas och leda till felsvar. En nackdel med experimentdesignen kunde vara *carry-over*-effekten (Sheskin, 2000, s. 434), dvs. att ett givet poängtal i en behandling kunde påverka poängtalet i följande. Den korta tiden för ifyllandet av frågeformuläret gav emellertid inte eleverna möjlighet att reflektera över vad de hade markerat i formuläret i den föregående didaktiska situationen. C*arry-over*-effekten bedöms därför vara liten.

Eleverna valde i 21 % av svarsmarkeringarna det neutrala alternativet ”jag har ingen uppfattning beträffande påståendet”, vilket därför inte kunde anses vara

överrepresenterat bland svaren. Med andra ord tog eleverna ställning till påståendena utan att förfalla till det neutrala alternativet i alltför hög grad. En undersökning av testresultatets stabilitet över tid gjordes så att eleverna i samband med intervjun på nytt fick bedöma vilka Likert-markeringar de hade gjort och antingen bekräfta dem eller förändra dem som visade sig vara verkliga felmarkeringar. Exempelvis kunde eleverna korrigera felmarkeringar som berodde på att de inte hade uppmärksammat nekningsordet ”inte”. De få korrigeringar som gjordes har presenterats i avsnitt 5.1.1. I samband med intervjun uppmanades eleverna att inte diskutera det som framkommit i intervjuerna förrän alla elever hade intervjuats.

Det andra kriteriet (*Likert's Criterion of Internal Consistency*) enligt Anderson (1988) var att elevsvaren på varje påstående borde korrelera signifikant med totalsumman av hela uppsättningen av påståenden. Av de 14 påståenden som fanns i varje frågeformulär visade sig 9, 10 respektive 12 påståenden i de tre successiva didaktiska situationerna korrelera starkt[1] med totalsumman av markeringarna. En hopslagning av påståenden som tillhörde samma effektivitetsindikator visade att 6, 6 respektive 7 indikatorers effektivitetstal (av sammanlagt sju indikatorer) korrelerade med totalsumman. De åtgärder som beskrivits ovan kan anses ha garanterat en tillräckligt hög reliabilitet i klassexperimentet.

Delar av diskussionen ovan gäller också lärarstudien. Beträffande mätinstrumentet visade Likert-kriteriet enligt Anderson (1988) att av 14 påståenden som fanns i varje frågeformulär korrelerade 11 respektive 12 påståenden starkt med totalsumman av markeringarna (se fotnot). På motsvarande sätt korrelerade 5 respektive 7 indikatorers effektivitetstal med totalsumman. Det var omöjligt att kontrollera hur lärarna genomförde testen och svarsprocessen på de två frågeformulären. Resultatet visade emellertid en samstämmighet mellan svaren i de två mätningarna som grundade sig på de makro- (PDRac-miljön) och mikrodidaktiska (didaktiska situationer) variablerna. Lärarna valde i 23 % av svarsmarkeringarna det neutrala alternativet ”jag har ingen uppfattning beträffande påståendet”, vilket därför inte kunde anses vara överrepresenterat bland svaren.

Statistisk styrka

Experimentdesignen – upprepade mätningar med samma försöksdeltagare – tillåter relativt få deltagare för att uppnå en tillräckligt hög statistisk styrka (jämfört med t.ex. *between-subjects design*). Vid jämförelsen av de didaktiska situationerna i klassexperimentet visade resultatet att styrkan var måttlig. Effekterna av variationerna av de mikrodidaktiska variablerna visade sig vara relativt

[1] De flesta var signifikanta på nivåerna 0,01 och 0,05, ett fåtal på nivån 0,10.

små, dvs. den sanna styrkan av ”signalen” var relativt svag (se variansanalysen i avsnitt 6.1.1).

En viktig parameter i beräkningen av den statistiska styrkan är sampelstorleken. I klassexperimentet deltog en grupp på 12 fysikelever. Vilka möjligheter hade funnits att öka sampelstorleken? Fler skolor kunde ha tagits med i undersökningen. Det hade emellertid inneburit att göra flera parallellundersökningar med i stort sett samma sampelstorlek. Premisserna hade varit olika i de olika skolorna och analysen hade då haft karaktären av komparativ undersökning. Detta var inte syftet med studien. En annan möjlighet hade varit att hitta en skola med många elever, som hade valt den aktuella fysikkursen, och med många datorer tillgängliga för experimentet. Detta bedömdes vara osannolikt med beaktande av att det i allmänhet är ett relativt litet antal elever som väljer att studera fysik i de finlandssvenska gymnasierna. Dessutom kunde man utgå ifrån att ett gymnasium som erbjuder kursen i elektromagnetism fler än en gång per år inte kan förlägga dem parallellt under samma period. Ett tredje alternativ hade varit att välja ut några elever från varje finlandssvenskt gymnasium att delta i undersökningen. För det första hade det varit svårt att genomföra undersökningen i geografiskt skilda gymnasier ifall undersökningen hade förlagts då kursen pågick i skolorna. För det andra hade det betytt att eleverna plockats ur sin undervisningskontext. För det tredje hade elevernas kunskaper i växelströmslära befunnit sig i olika grader av aktualitet: En del elever höll på att läsa kursen i växelströmslära, andra hade just läst den och en del hade kanske läst den en termin tidigare. Idén med forskningen var ju att PDRac-miljön skulle implementeras i undervisningen i realtid med hela den grupp som läste fysikkursen med växelströmsläran. Klassexperimentet genomfördes lyckligtvis under ett läsår som visade sig ha den största fysikgruppen på många år i den undersökta skolan.

Skillnaden i effektivitetstal mellan de didaktiska situationerna var således mindre än förväntat – en logisk följd av att resultatet i utvärderingssituationen var betydligt positivare än förväntat. Effekterna var emellertid riktade i den hypotetiska riktningen och bekräftade till den delen antagandena i a priori-analysen. En ökning av de didaktiska situationernas komplexitet åtföljdes av en minskning av effektivitetstalet. Att effektivitetstalet inte sjönk så kraftigt som förväntat kunde till en del bero på de nackdelar som var förknippade med upprepade mätningar. Eleverna kunde ha uppgett ett högre effektivitetstal på grund av att de med tiden fick mer praktik i att hantera PDRac-verktyget. De elever som redan var skickliga på att hantera datorn påverkades ändå knappast av detta. De elever som hade varit de passiva i elevparen i de två första situationerna fick i utvärderingssituationen klara datorhanteringen själva. Detta hade snarare effekten att dessa elevers effektivitetstal sjönk. Den tidigare nämnda uppdelningen av eleverna i en aktiv och passiv kategori och den efterföljande analysen av de två kategorierna ger stöd åt detta.

Man kunde också resonera så att effekterna av variationer i undervisningsprogram av denna typ i allmänhet är små. Detta exemplifieras i följande tankeexperiment. Effektstorleken $\eta^2 = \frac{SS_A}{SS_T}$ uttrycker enligt Hassmén och Koivula (1996, s. 30) ”hur stor andel av variationen i den beroende variabeln som beror på variationen hos den oberoende variabeln”. I klassexperimentet hade η^2 värdet 0,08, vilket kunde tolkas så att 8 % av variationen tillskrevs de mikrodidaktiska variablerna. Detta motsvarar den statistiska styrkan 0,3 för signifikansnivån 5 %. För att få en statistisk styrka på 0,8 med samma effektstorlek borde elevgruppen ha varit tre gånger så stor (se Cohen, 1988). Å andra sidan kan man resonera så att om man önskade en statistisk styrka på 0,8 med den elevgrupp som deltog i studien borde effektstorleken ha ökat till ca 20 %. Det kan sedan diskuteras om denna variation skulle ha varit betydande eller inte i undervisningssammanhang. Det skulle i varje fall ha betytt att 80 % av variationen i den beroende variabeln ändå hade förklarats av något annat än variationen i den oberoende variabeln! En variansanalys av enbart de sex s.k. passiva elevernas effektivitetstal visade att skillnaden mellan effektivitetstalen i de tre didaktiska situationerna var signifikant ($p < 0,05$) och att η^2 hade värdet 0,27, vilket gav en statistisk styrka på 0,5. Detta stöder ad hoc-hypotesen att elevernas funktion i parsamarbetet var en avgörande faktor.

I lärarstudien var ca hälften av de finlandssvenska gymnasierna representerade. Resultatdata visade att fysiklärarna ansåg att PDRac-verktyget (makrodidaktisk variabel) potentiellt var effektivt för undervisning av växelströmsläran och lämpligt att implementera i didaktiska situationer (mikrodidaktisk variabel). Trots att skillnaden i effektivitetstal baserade på makro- respektive mikrodidaktiska variabler var signifikant, var den statistiska styrkan dock relativt låg.

Man kan med stöd av ovanstående diskussion och a posteriori-analysen sammanfatta följande: I klassexperimentet visade analyserade data att PDRacverktyget och den genomförda implementeringen i didaktiska situationer allmänt taget framkallade en positiv uppfattning av effektivt lärande hos eleverna, ett resultat som stödde hypotes 1. Statistiska beräkningar, som gällde jämförelsen mellan de didaktiska situationerna, gav inte stöd åt hypotes 2, som uttryckte att det var en skillnad mellan elevernas uppfattningar i de olika situationerna. Dock understödde data två av tre underhypoteser till hypotes 2. Då situationsvariabeln parsamarbete togs i beaktande växte stödet för hypotes 2 och dess underhypoteser till den delen det handlade om den passivare halvan av elevgruppen. Reliabiliteten och implementeringen ansågs goda, medan den statistiska styrkan var relativt låg delvis som en följd av att experimentgruppen var liten. Medelmåttig statistisk styrka förorsakade ett relativt stort typ II-fel (se t.ex. Hassmén och Koivula, 1996, s. 150; Trochim, 2000). Oddsen var alltså stora att säga att det inte fanns någon behandlingseffekt fast den existerade. Det betydde att variationerna i de didaktiska situationerna inte framkallade tillräckligt stora skillnader mellan effektivitetstalen, då man betraktade hela elevgruppen. De

skillnader som resultatet visade i a posteriori-analysen pekade dock i rätt riktning i enlighet med a priori-analysen. Den kvalitativa analysen baserad på intervjuer och observationer gav också stöd åt detta. Jag drar ändå den rimliga slutsatsen att det i klassexperimentet fanns ett svagt samband mellan programmet och utfallet, dvs. mellan de mikrodidaktiska variablerna och den beroende variabeln uppfattning av effektivt lärande. I lärarstudien är slutsatsen också att det fanns ett samband mellan de makro- respektive mikrodidaktiska variablerna och uppfattning av effektivt lärande. Samstämmigheten mellan resultaten i elev- och lärarstudien (se avsnitt 6.3) stöder också slutsatsen. Lärare uttrycker t.ex. att den ”starkare” eleven kan hjälpa den ”svagare” eleven under pararbete vid datorn och att detta dessutom i vissa fall är effektivare än lärarhjälpen. Också rangordningen av indikatorer för effektivt lärande i en mera traditionell fysikundervisning visar på överensstämmelse mellan lärargruppen och elevgruppen, något som tyder på att båda parterna har en likartad kännedom om undervisningskontexten.

7.1.2 Inre validitet

Inre validitet har relevans endast för den studie man gör och betyder att man vill ha belägg på att det som gjordes i studien (programmet) orsakade det som observerades (utfallet) (Trochim, 2000). Att variationer i den beroende variabeln helt, eller åtminstone till största delen, kan hänföras till den oberoende variabeln indikerar att man har inre validitet. Kan jag i denna studie hävda att uppfattningar av effektivt lärande förorsakades av de didaktiska situationerna och att variationer i dessa uppfattningar förorsakades av variationer i dessa situationer? För studier som utvärderar effekterna av program eller implementeringar i undervisningen, som t.ex. PDRac-miljön, är den inre validiteten det primära övervägandet (se Artigue, 1992, s. 55):

> [V]alidation processes for didactical engineering cannot rely on the statistical comparison between experimental and control group performance. Validation necessarily has to be of an internal nature and to refer to the internal analysis and control of the engineering design (Artigue, 2000, s. 10).

Inre validitet kräver att tre kriterier uppfylls (Cook & Campbell, 1979, s. 50; Trochim, 2000). För det första måste kriteriet om tidsföreträde uppfyllas. I klassexperimentet var eleverna engagerade i en didaktisk situation innan de fyllde i det frågeformulär som utvärderade deras uppfattningar om effektivt lärande i den upplevda situationen. Detta upprepades sedan tre gånger. Intervjuerna, som ytterligare gav information om det eleverna hade varit med om, genomfördes en tid efter de didaktiska situationerna. Därmed kan man fastslå att tidskriteriet uppfylldes.

Det andra kriteriet handlar om att om man introducerar, avlägsnar eller förändrar nivån på en behandling eller ett program borde man observera någon förändring i mätresultaten, dvs. det finns en samvariation i den oberoende och beroende

variabeln. A priori-analysen inklusive hypoteserna förutsade att elevernas uppfattning av effektivt lärande skulle försvagas eller sjunka i takt med svårighetsgraden hos de fysikaliska förloppen och komplexiteten hos sambanden mellan flera fysikaliska variabler som eleverna hanterade i de didaktiska situationerna. Detta har behandlats ovan i slutledningsvaliditeten. Där konstaterades att effektivitetsuppfattningen kunde sättas i samband med de mikrodidaktiska variablerna.

Det tredje kriteriet är betydligt mer komplicerat att hantera, nämligen huruvida den förmodade orsaken är den enda rimliga förklaringen till förändringarna i mätresultaten. Frågan är huruvida det fanns andra variabler som stod för en alternativ förklaring till sambandet mellan orsak och verkan.

Hot mot inre validitet

Det historiska hotet kunde uteslutas. Mellan de didaktiska situationerna fanns det ingen påvisbar händelse som kunde tänkas ha påverkat utfallet. Eleverna uppgav i intervjuerna att de inte hade haft möjlighet att använda PDRac-verktyget och övningsmaterialet mellan de didaktiska situationerna. De hade därför inte skaffat sig extra erfarenhet av verktyget genom att öva på fritiden (se avsnitt 5.1.2). Eleverna hade haft ett digert program med tunga skoldagar under tiden för experimentet och man kunde utgå ifrån att de uppfattningar de dokumenterade hade förvärvats under de didaktiska situationerna i experimentet.

Mognad kunde i något enstaka fall ha varit ett hot i klassexperimentet. Elever kunde ha mognat till en insikt som påverkade dem att ändra markeringarna vid intervjuerna, eftersom det gått en tid mellan experimentet och intervjuerna. De flesta ändringar (se avsnitt 5.1.1) verkade ändå vara konsekvensen av att eleverna upptäckte att de hade markerat fel. Eventuellt kunde en eller möjligen två elever i någon mån ha försökt försköna resultatet i samband med intervjun. Dessa förändringar i effektivitetstal var dock mycket marginella.

Eftersom eleverna markerade sina uppfattningar i flera på varandra följande didaktiska situationer, kunde detta förorsaka att de påverkades av sina tidigare svar. Detta testningshot, som behandlades ovan i samband med *carry-over*-effekten, ansågs marginellt och det kunde konstateras att elevernas uppfattningar i huvudsak dikterades av den nyss genomgångna didaktiska situationen och inte av någon tidigare.

Instrumenthotet innebär att förändringar i ett test från situation till situation kan påverka mer än själva programmet. Testinstrumentet, som delvis har tagits upp i slutledningsvaliditeten ovan, hade samma utformning i varje didaktisk situation och de olika frågeformulären var designade för att vara likvärdiga beträffande frågetyper och nivå på svårighet. Några elever reagerade på påståenden med svaga och otydliga formuleringar, vilket ledde till svårigheter att välja det gynn-

sammaste alternativet på Likertskalan. Ett sådant var påståendet ”Detta övertygade mig om betydelsen av nya hjälpmedel i utvärdering” i fråga om indikatorn tillfredsställelse (bilaga 10). Påståendet klargjorde inte entydigt att det avsåg PDRac-verktygets betydelse. Det andra gällde samma indikator tillfredsställelse. Ordet *oväntade* i påståendet ”Jag gjorde oväntade upptäckter, vilket kändes mycket angenämt” förorsakade en mer negativ inställning än vad som var avsikten. Trots dessa defekter anses ändå instrumenthotet vara försumbart i den kvantitativa delen av undersökningen. Vid intervjuerna kunde instrumenthotet få en viss relevans, eftersom instrumentet var en mänsklig observatör, som kunde påverkas av trötthet, ouppmärksamhet och oskicklighet. En annan effekt som kunde påverka resultatet var att intervjuaren blev bättre på att observera nyanser i elevers uttalanden som resultat av större erfarenhet efter varje gjord intervju. Vid intervjun hade alla elever inte lika långa intervjutider, vilket berodde på yttre omständigheter (se avsnitt 5.1.1). Instrumenthotet anses dock inte äventyra resultatet av klassexperimentet. Den triangulering som gjordes mellan forskarens observationer, enkäten och intervjun stödde resultaten. Exempel på detta är situationsvariabler som härletts ur både observationer och intervjuer och som visade sig vara överensstämmande med varandra.

Eftersom alla elever deltog i samtliga didaktiska situationer, fyllde i alla frågeformulär, markerade sin uppfattning på alla påståenden och deltog i intervjun var mortalitetshotet ur bilden.

Orsaksfaktorer

Trots att de flesta hoten enligt ovanstående redogörelse kunde uteslutas var det inte möjligt att helt utesluta samtliga. Kan jag hävda att uppfattningar av effektivt lärande förorsakades av de didaktiska situationerna och att variationer i uppfattningarna berodde på variationer i situationerna, dvs. med avseende på syfte, innehåll och svårighetsgrad, eller fanns det någon tredje variabel som står för en alternativ förklaring? I a posteriori-analysen framkom att effektivitetstalet för varje didaktisk situation minskade vartefter, men att denna minskning inte gav signifikanta skillnader mellan situationerna då hela elevgruppen beaktades. Den statistiska styrkan var medelmåttig och sannolikheten för fel av typ II var relativt stor. Kunde minskningen bero på en ökad komplexitet i situationerna? Då man jämförde indikatorerna för effektivt lärande med varandra framkom att indikatorernas effektivitetstal sjönk från en situation till följande för fem av de sju indikatorerna. Variansanalysen visade en signifikant skillnad mellan effektivitetstalen (figur 39, tabell 24). Minskningen antogs delvis bero på den ökande komplexiteten i situationerna.

Eleverna rangordnade indikatorerna för effektivt lärande i traditionell fysikundervisning på ett sätt som inte överensstämde med den rangordning som var resultatet av experimentet. Man kunde då tänka sig att eleverna baserade sina uppfattningar av effektivt lärande i PDRac-miljön på andra faktorer än de gjorde

i traditionell undervisning i fysik. Det fanns således stöd för att förändringar i effektivitetsuppfattningarna förorsakades av de didaktiska situationerna och variationerna i dem.

Undersökningen resulterade också i sex situationsvariabler, som direkt kunde relateras till de didaktiska situationernas karakteristika. Dessa situationsvariabler härleddes ur intervjuerna och delvis ur forskarens observationer. Ytterligare kunde tre personliga inre variabler härledas. Situationerna övning och begreppsintroduktion var likadant uppbyggda men med större komplexitet, fler problemsituationer och fler *varför*-frågor (som krävde djupare resonemang) i den senare. PDRac-verktyget var detsamma och samma elevpar arbetade tillsammans i båda situationerna. Bilden förändrades då samarbetsfaktorn var eliminerad i utvärderingssituationen. Analysen visade att det var den passiva elevgruppens effektivitetsuppfattning som kom att överensstämma med hypoteserna. Elevernas olika roller i parsamarbetet i de två första didaktiska situationerna samvarierade dessutom med elevernas effektivitetstal i situationen utvärdering, dvs. de passiva eleverna hade lägre och de aktiva högre effektivitetstal. Någon motsvarande samvariation var inte fallet i de två första situationerna.

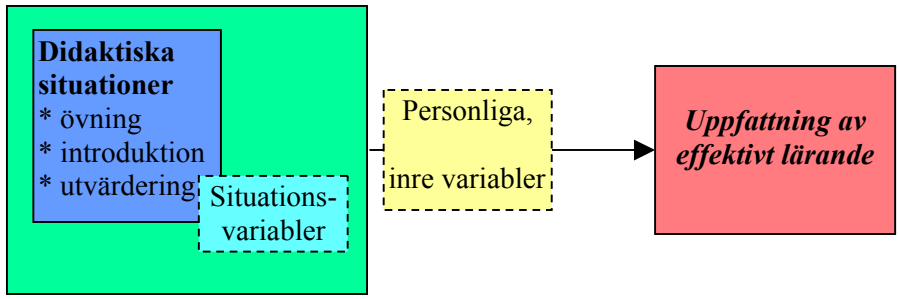
Uppdelningen i hög-, mellan- och lågnivå av effektivitetsuppfattning gav möjlighet att upptäcka nya mönster. Eleverna i högnivågruppen begärde ingen hjälp av läraren under provet, medan alla elever i lågnivågruppen gjorde det. Hjälpen var en del av det didaktiska kontraktet (och en situationsvariabel) och antalet tips som eleverna önskade få visade sig korrelera negativt med effektivitetstalet i utvärderingssituationen, medan det totala poängtalet i provet korrelerade positivt med effektivitetstalet i nämnda situation. Poängtalet i provet korrelerade också med medelvärdet av elevernas fysikvitsord. Inga motsvarande (starka) korrelationer mellan effektivitetstal och poäng gällde för situationerna övning och begreppsintroduktion. Den tidigare nämnda indelningen av eleverna i kategorierna aktiva och passiva elever baserades på skillnader i elevernas aktivitet i parsamarbetet. Dessa kategorier emanerade ur intervjuerna och forskarens observationer. Denna indelning visade sig vara koherent med elevparens fördelning på nivåer av effektivitetsuppfattning. Dessa nivåer var i sin tur härledda från den beroende variabeln. Det fanns alltså en rad variationer i situationsvariablerna som tycktes ha ett samband med effektivitetsuppfattningen.

De personliga inre variablerna, förkunskaper, grundintresse för fysik och datorer samt individuella karaktärsdrag, syntes i nivåerna av effektivitetsuppfattning. Det verkade som om de också relaterades till provresultatet i utvärderingssituationen. Påverkade dessa personliga variabler både situationsvariablerna och effektivitetsuppfattningarna, eller filtrerades variationerna i de didaktiska situationerna av dessa personliga variabler så att de syntes i effektivitetsuppfattningarna?

Resonemanget ovan tyder på att både variationer i de didaktiska situationerna och variationer i övriga variabler, gemensamt kallade situationsvariabler, förorsakade variationer i elevernas effektivitetsuppfattning. Man kan därför dra slutsatsen att förklaringsfaktorerna fanns i de mikrodidaktiska variablerna (omfattande de didaktiska situationerna och deras situationsvariabler). De personliga, inre variablerna hade eleverna med sig till de didaktiska situationerna. Variationer i dessa variabler kan också ha påverkat på olika sätt. Personliga egenskaper kunde också klassificeras som en tredje variabel som påverkade både de didaktiska situationerna och effektivitetstalen.

Eftersom de flesta hoten mot inre validitet kunde uteslutas var det möjligt att dra den slutsatsen att variationer i elevernas uppfattningar av effektivt lärande åtminstone till största delen kunde tillskrivas variationer i de didaktiska situationerna och deras situationsvariabler. En marginell alternativ förklaring kunde sökas i elevernas personliga, inre variabler som till en viss grad kunde fungera som filter mellan eller påverka både den oberoende och den beroende variabeln och var huvudsakligen koncentrerad till utvärderingssituationen (se figur 47).

Uppfyllandet av kriterierna för inre validitet i *lärarstudien* måste bygga på förtroendet för lärarna, dvs. att de noggrant följde de instruktioner som de fick (se bilaga 13). I allmänhet kunde man förutsätta att de lärare som deltog i undersökningen också genomförde den med omsorg, så att kriteriet om tidsföreträde uppfylldes. De kommentarer som (11 av 18) lärare hade skrivit vittnade om det. Det skulle kännas meningslöst för en lärare att fylla i frågeformulären utan föregående fördjupning i PDRac-verktyget och handledningsmaterialet. Det fanns givetvis också en risk för att endast de lärare som hyste intresse för datorbaserad undervisning deltog.



Figur 47. Sambandet mellan de mikrodidaktiska variablerna (didaktiska situationer inklusive situationsvariabler), elevernas personliga, inre variabler och elevernas uppfattning av effektivt lärande.

I a posteriori-analysen framkom att undersökningen stödde de hypoteser som lagts fram i a priori-analysen. I diskussionen om slutledningsvaliditeten fastslogs att det fanns ett samband mellan de makro- och mikrodidaktiska variablerna och den beroende variabeln. Det historiska hotet och mognadshotet kunde uppenbarligen uteslutas eftersom man kunde utgå ifrån att lärarna genomförde undersökningen inom en relativt kort tidsperiod, dvs. då de hade bestämt sig för att ge tid åt den. Beträffande instrumenthotet hänvisas dels till reliabilitetsdiskussionen ovan, dels till resonemanget om motsvarande hot i klassexperimentet. Påståendet ”Eleverna uppmuntras i denna miljö att ställa frågor och diskutera sig fram till en lösning av problemen” – tillhörande indikatorn engagerat lärande (se bilaga 10) – kan ha varit tvetydigt. En av lärarna hade svårigheter att avgöra huruvida begreppet ”miljö” avsåg PDRac-miljön eller en generell miljö med datorstödd undervisning. Ett relativt obetydligt mortalitetshot kan nämnas i och med att sammanlagt fem Likert-markeringar (av 504) saknades och ersattes med en neutral uppfattning i den statistiska analysen.

En försiktig slutsats är att lärarna avgav sina uppfattningar av effektivitet i lärandet som ett resultat av att de gjorde sig bekanta med PDRac-verktyget och handledningsmaterialet.

Grupperingen av indikatorerna i en affektiv aspekt, en samspelsaspekt och en kognitiv aspekt av lärandeprocessen uppvisade en samstämmighet vid jämförelse av elever och lärare. Likaså fanns en samstämmighet mellan elever och lärare vid jämförelsen av de tre nivåerna av effektivitetsuppfattning och slutligen vid jämförelsen av deras rangordning av effektivitetsindikatorerna. Denna form av triangulering stärker också slutsatsen att de makro- och mikrodidaktiska variablerna påverkade de uppfattningar elever och lärare dokumenterade.

7.1.3 Begreppsvaliditet

Begreppsvaliditet handlar om ”i vilken grad man kan dra slutledningar från operationaliseringarna i studien till de teoretiska konstruktionerna på vilka dessa operationaliseringar baseras” (Trochim, 2000, egen övers.) eller med andra ord: Det som man gjorde i programmet var det som man ville göra och det som man observerade var just det som man önskade observera (se figur 46). Varje konstruktion (eller begrepp) översätts till en operationalisering. Begreppsvaliditeten är den approximativa sanningen av slutsatsen att operationaliseringen korrekt reflekterar konstruktionen. Som forskare vill jag förstå hur mina konstruktioner eller teorier om programmet och mätningarna opererar i teorin och jag önskar förete evidens på att de i praktiken betedde sig på det sätt som jag föreställde mig. För att fastställa begreppsvaliditet måste tre villkor uppfyllas enligt Trochim (2000).

För det första måste de begrepp som operationaliseras placeras i ett semantiskt nät. Det betyder att man talar om vad konstruktionen liknar, då man tolkar dess

betydelse. Enligt Cook och Campbell (1979, s. 60, egen övers.) ska man ”i förväg noga förklara konstruktionerna så att definitionerna är klara och i överensstämmelse med den allmänna förståelsen av de ord som används”. För det andra måste man påvisa att man kan kontrollera operationaliseringen av konstruktionen. Man måste kunna förklara varför man operationaliserade frågorna på det sätt som man gjorde. Slutligen måste man påvisa att de data man fått stöder den teoretiska synen man har på sambandet mellan konstruktionerna. Det tredje villkoret specificeras av Cook och Campbell (1979, s. 60) så att ett test ska göras i en sådan omfattning att den oberoende variabeln förändrar det som den är avsedd att förändra. Vidare borde testet genomföras så att man kan fastställa att en oberoende variabel inte korrelerar med besläktade men avvikande konstruktioner. Vad de beroende variablerna beträffar borde de ledas in på de faktorer som de är avsedda att mäta. Slutligen borde de beroende variablerna inte domineras av irrelevanta faktorer så att de mäter mera eller mindre än vad som avses.

Då forskningen startade hade jag en föreställning om – eller ett teoretiskt mönster över – hur det implementerade programmet (PDRac-verktyget med handledningsmaterialet och deras implementering i didaktiska situationer) och mätningarna skulle relateras till varandra (och till andra teoretiska termer). I resonemanget ovan kring slutledningsvaliditet och inre validitet hävdade jag att det fanns ett orsakssamband i min studie. Kan jag då hävda att programmet på ett bra sätt reflekterade min *konstruktion* av programmet och att min mätning av uppfattning av effektivt lärande på ett bra sätt reflekterade min idé om *konstruktionen* av mätningen? Med andra ord: Implementerade jag det program som jag avsåg att implementera och mätte jag det utfall som jag önskade mäta? Operationaliserade jag på ett bra sätt idéerna om orsak och verkan? Jag vill med andra ord kunna dra slutsatsen att jag gjorde ett trovärdigt arbete med att operationalisera mina konstruktioner, dvs. att jag kan utvärdera begreppsvaliditeten av denna slutsats. Enligt Trochim (2000) operationaliserar forskaren då han ”rör sig” från teorilandet till observationslandet och utför en begreppsvalidering då han går i motsatt riktning, dvs. han försöker fastställa hur bra han har översatt idéerna eller teorierna till program eller mätningar (se figur 46).

Mikrodidaktiska variabler

Den lokala organisationen av de didaktiska situationerna (avsnitt 4.2) utmynnade i den egentliga orsakskonstruktionen. Inom ramen för de lokala valen planerades sådana didaktiska situationer som ansågs vara mest relevanta för det aktuella stoffet i växelströmsläran så att PDRac-verktygets didaktiska potential utnyttjades så effektivt som möjligt (bilagorna 2–5). Utgående från teorin om didaktiska situationer (avsnitt 2.1) och analysinstrumentet för PDRac-verktygets funktion (avsnitt 4.1.3) gjordes en detaljerad operationalisering av de problemsituationer som var aktuella i undervisningen av växelströmsläran (avsnitt 4.2.2–4.2.4 inklusive bilagorna 6–8). En noggrann beskrivning av det didaktiska

innehållet i problemsituationerna och den förväntade interaktionsprocessen mellan eleven och PDRac-miljön gjordes. Operationaliseringen gav en god detaljerad beskrivning av innehållsdomänen i de delar av växelströmsläran som var föremål för undervisningen. De tre utarbetade didaktiska situationerna med var sitt syfte och med olika svårighetsgrader utgjorde grunden för en mikrodidaktisk variabel (definierad i avsnitt 4.3.1) eller en oberoende variabel, dvs. en manipulerad variabel. Av situationsvariablerna kan nämnas *par-samarbete*, som i denna avhandling avser det som begränsas av diskussionen mellan pareleverna och det ömsesidiga arbetet vid datorn under studiet av PDRac-problemen. Denna situationsvariabel hade inte operationaliserats i förväg utan dess definition emanerade ur data (se kapitel 5).

Operationaliseringen av de varierande didaktiska situationerna kan anses återspegla på ett tydligt sätt syftet med den motsvarande teoretiska konstruktionen – ett kriterium för en god översättningsvaliditet i enlighet med Trochim (2000). En god operationalisering av den oberoende variabeln bedöms därför klara av hotet mot begreppsvaliditet kallat *Inadequate Preoperational Explication of Constructs* (Cook & Campbell, 1979, s. 64ff; Trochim, 2000).

Ett annat hot, *Mono-Operation Bias*, som gällde mikrodidaktiska variabler undveks genom att implementera multipla versioner av programmet. Detta realiserades bland annat genom att de tre didaktiska situationerna – enligt ovan – hade tre olika fokus. Situationsvariabeln parsamarbete varierades och verktygets egenskaper att representera data på en mängd olika sätt med olika layouter utnyttjades. En annan situationsvariabel gällde antalet övningar i de didaktiska situationerna. Eleverna hann inte gå igenom alla de övningar som förutsattes. Detta hot mot begreppsvaliditet (motsvarar ungefär hotet *Confounding Constructs and Levels of Constructs*) kunde inte undvikas.

Effektvariabeln

Konstruktionen av den beroende variabeln *uppfattning av effektivt lärande* (verkankonstruktionen) – eller effektvariabeln – var en delikat uppgift. Den teoretiska utvecklingen av de begrepp som ingick i variabeln måste svara på viktiga frågor: ”Inkluderade definitionen alla relevanta aspekter av begreppet? Uteslöt definitionen några relevanta aspekter av begreppet?”

Enligt Zeller (1988, s. 324) kan man inte säkert besvara sådana frågor p.g.a. den fundamentala öppenheten i begreppens betydelse. Detta gäller speciellt många begrepp i social- och beteendevetenskaper. I avsnitt 3.5 behandlades teorier kring ett antal faktorer, som jag ansåg vara viktiga i lärandeprocessen. Med dessa teorier som stöd konstruerade jag den beroende variabeln med hjälp av sju av dessa faktorer, kallade indikatorer. I avsnitt 4.3.1 gjordes sedan en teoribaserad konstruktion av mätvariabeln, en för klassexperimentet och en för lärarstudien. Av de sju indikatorerna för effektivt lärande var tre gemensamma

(motivation, prestation och förståelse) i båda studierna. Indikatorerna kunde dock sammanföras till tre aspekter av lärandeprocessen, affektiv aspekt, samspelsaspekt och kognitiv aspekt för att kunna göra en gemensam, sammanfattande analys och jämförelse av de två studierna.

Operationaliseringen av de nämnda indikatorerna resulterade i ett mätinstrument med tre uppsättningar påståenden i klassexperimentet och två i lärarstudien. Varje formulär innehöll fjorton påståenden, två för varje indikator (se bilagorna 9, 10 och 13). För att åstadkomma en god översättningsvaliditet strävade jag efter att hitta kärnan av teorin bakom varje indikator och relatera denna till de situationer som eleverna deltog i. Jag strävade efter att göra översättningen så tydlig och klar som möjligt för att eleverna skulle förstå innebörden i påståendena och kunna associera dem till lärandeprocessen i de didaktiska situationerna. Enligt Zeller (1988, s. 324) borde empiriska indikatorer (i detta fall avses påståendena i frågeformuläret) designas för att vara så specifika, så exakta och så bundna som begreppsdefinitionerna och forskningsuppläggningen tillåter. Påståendena kan emellertid aldrig kopiera eller ens fullständigt uttömma betydelsen av respektive begrepp. Zeller anser dock att det är viktigt att göra åtminstone en måttlig ansträngning att fastställa innehållsvaliditeten hos påståendena.

I avhandlingen användes lokala definitioner på de sju indikatorerna. Som exempel kan nämnas att begreppet *förståelse* operationaliserades i elevstudien i begreppen instrumentell och relationell förståelse, eftersom dessa slag av förståelse var viktiga och framträdande i arbetet med PDRac-verktyget. I lärarstudien operationaliserades begreppet i kausal förståelse. Operationaliseringen av samtliga indikatorer framkommer i a priori-analysen i avsnitt 4.4.

Genom att implementera multipla mätningar (sju indikatorer) av konstruktionen *effektivt lärande* försökte jag fånga så många aspekter som möjligt av konstruktionen. Varje indikator representerades av två påståenden i var och en av de tre didaktiska situationerna. Jag ville skaffa mig visshet om att jag verkligen mätte elevernas och lärarnas uppfattning av effektivt lärande i de kontexter som denna forskning handlade om. På det sättet försökte jag komma undan hotet *Mono-Method Bias*. Det fanns visserligen en risk med att mäta ett så brett fält av uppfattningar, t.ex. i betydelsen att indikatormarkeringarna kunde ta ut varandras effekter. Ett exempel på detta var att indikatorn *ansvar* hade höga effektivitetstal, medan *kontroll* hade låga. Detta fick en modererande verkan på samspelsaspekten, som i elevstudien bestod av de två nämnda indikatorerna. Samma effekt gällde i lärarstudien, där samspelsaspekten förutom *roll-definiering* bestod av en högt rankad indikator *interaktivitet* och en lågt rankad *investering i tid*.

Sambandet mellan de mikrodidaktiska variablerna och effektvariabeln

Resonemanget kring sambandet mellan orsaks- och verkankonstruktionen inleddes med att i avsnitt 3.6 lyfta fram de specifika syften som jag hade med forskningen och ställa forskningsfrågorna. Till ingenjörskonstens metodik hörde sedan att a priori analysera de didaktiska situationerna och det som förväntades inträffa då de genomfördes (avsnitt 4.4). I lärarstudien ingick också de makrodidaktiska variablerna i denna a priori-analys. Analysen avslutades med att ställa upp hypoteser om sambandet mellan de makrodidaktiska respektive mikrodidaktiska variablerna och den beroende variabeln.

Eleverna och lärarna deltog inte passivt i forskningsprojektet. Det fanns en risk för att de försökte komma underfund med vad studien gick ut på (*Hypothesis Guessing*, se t.ex. Cook & Campbell, 1979, s. 64–67; Trochim, 2000). De gissade kanske vad det verkliga ändamålet med studien var och baserade eventuellt sitt beteende på det som de gissade, inte bara på behandlingen. Dock utgår jag från att detta var synnerligen marginellt. Både elever och lärare hade fått tydliga instruktioner att ärligt och uppriktigt framföra sina åsikter. Jag fick den uppfattningen att respondenterna var uppriktiga. Eventuellt kunde jag i början av intervjuserien komma med ledande frågor, speciellt för elever som inte var så talföra. Av det inbandade materialet framgår dock att detta var marginellt (avser hotet *Experimenter or Researcher Expectancies*). Eleverna i studien var abiturienter och var därför vana att bli utvärderade varför hotet *Evaluation Apprehension* sannolikt inte förekom i någon högre grad.

A posteriori-analysen visade att det inte fanns tillräckligt stora variationer i de olika didaktiska situationerna för att åstadkomma tydliga (signifikanta) effektskillnader på den beroende variabeln. En ökning av den tid som reserverades för de didaktiska situationerna, eller en minskning av antalet uppgifter kunde eventuellt ha förändrat resultatet (avser hotet *Confounding Constructs and Levels of Constructs*). Då eleverna besvarade frågeformuläret var markeringarna deras sammanfattning av alla de tankar och uppfattningar de samlat från de komplexa didaktiska situationerna. Analysen visade att den didaktiska situationen utvärdering motsvarade en mer traditionell utvärdering av ett fysikavsnitt. Ur elevens synvinkel liknade den andra provsituationer (se avsnittet inre validitet ovan).

Hotet *Interaction of Different Treatments*, anses ha undvikits eftersom eleverna inte hade tillgång till andra undervisningsprogram i fysik under experimenttiden. I fråga om arbete vid datorerna ägnade de sig till en del åt e-postkommunikation, chattande och surfande på nätet, datorspelande eller ordbehandling. Man kunde eventuellt räkna med att testningen eller mätningen kunde göra gruppen mer sensitiv eller receptiv för behandlingen (avser hotet *Interaction of Testing and Treatment*), men å andra sidan var eleverna vana att hela tiden utsättas för test och prov av olika slag.

Av ovanstående framgår att många validitetshot har undvikits varför jag är beredd att hävda att slutsatserna om en tillräckligt god operationalisering av konstruktionerna lever upp till kravet på begreppsvaliditet. Man måste dock uttala sig med en viss försiktighet och konstatera att en forskare, enligt Zeller (1988, s. 329), inte fastställer validitet en gång för alla. En forskare skaffar sig bitar av information som är eller inte är överensstämmande med en tolkning av begreppsvaliditet. Då mönstret av sådana bitar av information mer systematiskt börjar överensstämma med begreppsvaliditet, ökar också tilliten till tolkningen.

7.2 Validering av PDRac-verktyget och implementeringen

Valideringen av PDRac-verktyget syftar till att svara på den första forskningsfrågan, som handlar om hur ett didaktiskt, datorbaserat verktyg kan vara beskaffat så att det kan representera fysikaliska samband i numerisk och grafisk form parallellt och dynamiskt på dataskärmen (se avsnitt 3.6). Valideringen av implementeringen är kopplad till den andra forskningsfrågan, som handlar om hur PDRac-verktyget kan implementeras för att det ska fungera som stöd i elevernas lärandeprocess i växelströmsläran. Valideringen av empirin, som gjordes i avsnitt 7.1, är delvis också ett svar på den andra forskningsfrågan.

7.2.1 Produktvaliditet

Begreppet produktvaliditet är en form av utvärdering som handlar om riktigheten i en produkts representation och beteende och ställer frågan: ”Har jag konstruerat den rätta produkten?” (efter en definition av Balci, Ormsby, Carr & Saadi, 2000). Denna definition kan kopplas samman med två begrepp som hör ihop med datorbaserade lärandemiljöer. Det första begreppet är *tillgänglighet* eller *tillgång* (eng. *affordance*).[2] Tillämpad på PDRac-verktyget syftar tillgänglighet på ”den önskvärda egenskapen att det ska vara självklart för användaren vad [verktyget] används till och hur man gör, och att det finns till hands när man behöver det (och inte heller är i vägen när man inte behöver det)”. Det andra begreppet *användbarhet* (se samma fotnot) är också en önskvärd egenskap hos datorer, program och användargränssnitt och är nära besläktat med tillgänglighet: ”Användbarheten är hög om det är lätt att förstå vad [verktyget] ska användas till, lätt att förstå hur man gör och lätt att göra det.” I begreppet användbarhet ingår både betydelsen *nytta* (*usefulness*) och *god form och funktion* (*usability*). Tillgänglighet och användbarhet handlar i detta valideringsavsnitt om sambandet mellan datorbaserade verktyg i allmänhet, inklusive PDRac-verktyget för undervisningssyfte, och deras användare: eleverna och lärarna. Fokus sätts på undervisningsprodukten, PDRac-verktyget

[2] Termens definition härrör från Computer Sweden språkwebb:
http://computersweden.idg.se/tjanster/sprakwebb/default.asp

inklusive handlednings- och övningsmaterialet, vilka studerades i avhandlingen inom ramen för den didaktiska ingenjörskonsten.

För att få en teoretisk bakgrund till forskningsobjektet behandlade jag i de preliminära analyserna (kapitel 3) frågor om datorbaserad undervisning. Växelströmsläran var ett lämpligt område, där den tillgänglighet som datorteknik erbjöd skapade möjlighet att i undervisningen fokusera på de problem eleverna hade med de fysikaliska begreppen. Den traditionella klassrumsundervisningen, läroplanen och undervisningsmetoderna i fysik (avsnitt 3.1.1–3.1.2) utgjorde plattformen för forskningsobjektet. I avsnitt 3.2 granskades begreppsbildning och representationer i fysiken med en översikt av grafiska, numeriska, statiska och dynamiska representationer (avsnitt 3.2.2) och utmynnade i ett fokus på innehållet i växelströmsläran (avsnitt 3.2.3). Datorbaserade verktyg konstaterades vara synnerligen lämpliga att använda som medier för representation och hjälpmedel för begreppsbildningen. I avsnitt 3.3 redogjorde jag därför för datorbaserade verktyg med en kategorisering av fyra datorimplementeringar, som jag ansåg relevanta i fysikundervisningen. I avsnittet redogjordes för de olika verktygens möjligheter och begränsningar och detta skapade samtidigt den referensram inom vilken mitt PDRac-verktyg kunde placeras. Datorers funktion i undervisningen som verktyg för interaktion, begreppsförändring och upptäcktspedagogik togs sedan upp i avsnitt 3.4.

De ovannämnda avsnitten utgjorde den teoretiska referensramen för de globala och lokala valen som innefattade de makro- och mikrodidaktiska variablerna. Den globala organisationen av det didaktiska ingenjörsarbetet (avsnitt 4.1) utgjorde en snävare referensram för forskningsobjektet och inkluderade de makrodidaktiska variablerna *datorteknologi i fysikundervisningen*, *PDRac-verktyget* och *handlednings- och övningsmaterialet*. I avsnitt 4.1.1 behandlades allmänna frågor kring datorteknologins möjligheter och begränsningar i en rad olika dimensioner. Det var inom den ovan presenterade referensramen som designen av PDRac-verktyget (avsnitt 4.1.2) och dess funktion i didaktiska situationer (avsnitt 4.1.3) togs upp. En presentation av handlednings- och övningsmaterialets uppbyggnad avslutade de globala valen i avsnitt 4.1.4.

Datorteknologi i fysikundervisningen

Webb (2005) har i en översikt analyserat studier som gäller användning av IKT[3] i naturvetenskaper. Hon tillämpar begreppet tillgänglighet[4] på datorbaserade lärandemiljöer inom naturvetenskapliga ämnen. Denna referensram är överförbar på fysikundervisningen i gymnasiet. Webb menar att tillgänglighet

[3] IKT = informations- och kommunikationsteknik eller informations- och kommunikationsteknologi

[4] Webb tillämpar begreppet *affordance* enligt Gibsons (1979) definition, som har vidareutvecklats av framförallt Norman (1988) och analyserats bland annat av McGrenere och Ho (2000).

erbjuds genom interaktioner mellan *hårdvara, mjukvara, andra resurser, lärare* och *andra elever,* dvs. det som Brousseau (1997) kallar *miljö* i samband med didaktiska situationer. Huruvida en elev upplever tillgänglighet eller inte beror mycket på den tillbudsstående informationen och på elevens disposition att ta emot informationen. I undervisningssammanhang kan lärare, andra elever och andra resurser erbjuda tillgänglighet, öka graden av den tillgänglighet som baseras på datorer och bidra med mer eller klarare information om den tillgänglighet som datorn i sig erbjuder (s. 707–708).

Anskaffning av datorteknologi är en fråga som alltid vållat diskussioner i skolvärlden. Stylianidou, Boohan och Ogborn (2005), som beskrev forskning kring de faktorer som gynnade eller hindrade lärare att ta in innovativa datorverktyg i undervisningen av naturvetenskaper, fann att skillnader i resurser för anskaffningar och skillnader i lärarnas grundsyn påverkade de förväntningar lärare och elever hade på varandra och således om interaktionen med verktyget. En annan faktor var verktygets beskaffenhet, som formade möjligheterna till aktivitet och interaktion. Detta begränsade det som man kunde göra med verktyget, vilket inte alltid rimmade väl med vad läraren önskade göra. Lektionerna fick anpassas till typ av anskaffning, tekniska svårigheter och de fordringar av praktisk natur som datorerna och verktygen ställde.

Den utrustning som flera lärare i denna studie uppgett sig ha tillgång till var av typen datorbaserad mätutrustning, även kombinerad med grafiska räknare som dataloggar. Ytterligare förekom några få program som användes till att simulera specifika fysikaliska förlopp och för utforskning av den fysikaliska världen.

Lärarens pedagogiska resonemang kring betydelsen av IKT i lärandemiljöer grundar sig på hennes kunskap, uppfattningar och värderingar (Webb, 2005, s. 726–727). Resonemanget leder dels till produktion av lektionsplaner och arbetsscheman som införlivar de resurser som är lämpliga för lärande, dels till sådana lärarbeteenden som under lektioner möjliggör för eleverna att dra nytta av dessa resurser. För att kunna planera och välja lämpliga pedagogiska övningar är det viktigt att lärarna förstår sambandet mellan tillgången till en rad IKT-resurser och detaljerade kunskaper om begrepp, processer och färdigheter i sitt ämne. Lärarna behöver använda sin kunskap om elever tillsammans med sin sakkunskap i ämnet för att kunna välja lämplig IKT-resurs, som erbjuder tillgänglighet och gör det möjligt för eleverna att nå målen i sitt lärande. Lärarna behöver också besluta hur de utvecklar dessa resurser i helklass, i individuell undervisning och i smågruppsundervisning så att lämplig tillgänglighet erbjuds och att eleverna upplever och förstår tillgängligheten och är motiverade att begagna sig av den (Webb, 2005, s. 727).

De flesta lärarna i min studie använde datorer i sin fysikundervisning i synnerligen begränsad omfattning. De hade varierande erfarenheter av att använda datorprogram i undervisningen. Läraren, elevgruppens sammansättning och den

optimala tidpunkten då ett datorbaserat verktyg var lämpligt att tas i bruk ansågs vara avgörande faktorer. Det fanns dock flera lärare som uttalade en förhoppning om att öka andelen datorbaserad undervisning i framtiden.

För att ta IKT-rika miljöer i effektiv användning behöver lärarna dels tro på att tillgängligheten till dessa miljöer kan stöda elevernas lärande, dels övertyga sig själva om att de har en central roll i att planera och hantera sina erfarenheter av lärandet så att tillgängligheten stämmer överens med elevernas behov av lärande och att eleverna kan upptäcka och utnyttja den. Lärarnas uppfattningar om undervisning behöver ändras för att få till stånd förändringar i elevernas och lärarnas roller i klassrummet, så att båda parterna kan stödas av IKT och samtidigt göra det möjligt att utnyttja formativ utvärdering[5] i samband med undervisning i IKT-rika miljöer (Webb, 2005, s. 731–732).

Stylianidou et al. (2005) visade att det fanns skillnader mellan lärare i vad de trodde om sig själva, vilka de var, vad de kunde göra och hur de satte sig i relation till andra människor. Det fanns också en skillnad i hur lärarna hanterade den spänning som fanns mellan ämnesområdet och det praktiska arbetet vid datorn. En lärarkategori var intresserad av att använda datorn för att bjuda ut det naturvetenskapliga innehållet, en annan trodde mer på balans och blandning: ”Man gör vad man kan”. Den tredje kategorin av lärare fokuserade på den erfarenhet som eleverna skulle få med datorverktyget.

I min avhandling framkom att det fanns en grupp lärare som hade en låg nivå av effektivitetsuppfattning, en uppfattning som avvek klart från de två andra grupperna på mellan- och högnivå. De hade en skeptisk inställning till datorns möjligheter att engagera eleverna i sitt lärande och skapa förståelse för fysikaliska begrepp. Tydligast syntes deras skepsis i fråga om den tid datorbaserad undervisning krävde och hur rollerna kunde fördelas mellan eleverna och läraren. Också gruppen på mellannivå ansåg att engagemang i innovationer tog mer tid än traditionell undervisning. Däremot hade lärarna i högnivågruppen en positiv uppfattning på indikatorn investering i tid.

White (1998, s. 66) anser att då nyheter införs i undervisningen kan saker och ting bli värre innan de blir bättre. Lärare behöver tid att utveckla och bli skickliga i att använda nya metoder och elever behöver tid att lära sig hur de kan dra nytta av dem. Introduktion av teknologi i effektivt lärande och undervisning fordrar samarbete mellan användarna:

[5] Med formativ utvärdering avser Black och Wiliam (2002) en undervisnings-lärandemodell, som har visat sig leda till signifikanta förbättringar i elevernas lärande. I korthet är de väsentliga komponenterna i modellen att öka elevernas självkänsla, att eleverna ska öva sig i självutvärdering och att undervisningen ska utvecklas mot en effektivare växelverkan mellan läraren och eleverna.

> The ultimate realization of the planned innovation occurs when the users (i.e., teachers and students) are able to incorporate it into practice in a way that will effectively serve their instructional requirements. The design, therefore, must be sufficiently flexible to allow these ultimate users to adapt the technology to meet their needs (Koschmann, Myers, Feltovich & Barrows, 1994, s. 228).

Trots att datorprogram kan vara användarvänliga kan det ta längre tid än vad lärarna är villiga att offra, innan eleverna kan göra det de önskar med ett program. En del lärare vill få ett givet arbete gjort inom fastställd tid, vilket begränsar tiden för att ytterligare ta in ännu mera stoff i ämnet (Tobin, Espinet, Byrd & Adams, 1988). Detta kan äventyra introduktionen av datateknik i lärarens repertoar av undervisningsstrategier (Roth, Woszczyna & Smith, 1996, s. 1007).

Webb (2005) hävdar vidare att IKT-relaterad forskning fäster en begränsad uppmärksamhet vid betydelsen av elevers kunskaper, värderingar och uppfattningar trots att det finns belägg för att användningen av IKT ökar elevernas motivation. Om eleverna också får vara med i det pedagogiska resonemanget blir de mer medvetna om vad de inte förstår, hur de lär sig och vilka slag av material de föredrar att använda. En ökad diskussion mellan lärare och elever om lärandeprocesser gör att eleverna bättre klarar av planeringen av sitt eget lärande (s. 729). Det kan göra lärandet effektivare men ökar samtidigt komplexiteten i planeringsprocessen. Eleverna får under lektionerna mer kontroll över vad de behöver lära sig, hur mycket tid de avsätter på ett ämnesområde och vilka aktiviteter de gör (s. 731).

Lärarna i min studie ansåg att eleverna i allmänhet var både vana och motiverade att arbeta med digitala hjälpmedel. Eleverna ansågs därför ha potential att utforska datorbaserade verktyg. En viktig förutsättning var dock enligt lärarna att eleverna hade tillägnat sig goda förkunskaper och därtill ett gediget intresse för att fördjupa sina kunskaper.

PDRac-verktyget

Datorsimuleringar ger enligt Webb (2005, s. 728) tillgång till en ny form av lärande. Simuleringar är användbara speciellt på fenomen som man inte lätt kan observera och undersöka i den reella världen. I anslutning till laboratorieexperiment kan datorbaserade simuleringar befrämja interaktion och fenomentänkande. Aktiviteter kring simuleringar kan åstadkomma begreppsförändring och ge eleverna möjlighet att arbeta på högre kognitiva nivåer. Simuleringar och andra teknologirika tillämpningar vidgar elevernas erfarenheter som relateras till naturvetenskap i den reella världen.

PDRac-verktyget är en hybrid av två artefakter: simulering och virtuellt experiment (jfr avsnitt 3.3.3–3.3.4). Syftet med produktionen av verktyget är att tillhandahålla ett hjälpmedel för att studera seriekopplade, växelströmsmatade

RLC-kretsar och att undervisa elever om dem. PDRac-verktygets funktion baseras på teorier om elektrodynamiken i växelströmskretsar och verktyget förutsätts fungera som modell för teorin (jfr Rieber, 1994, s. 240). Eleverna kan testa och bearbeta teorier om de komplexa fenomenen kring RLC-kretsar. PDRac-verktyget medför en större tillgänglighet för eleverna än vad laborationsutrustning normalt gör.

I avhandlingens avsnitt 4.1.3 analyserades PDRac-verktygets didaktiska potential och dess funktion i didaktiska situationer med hjälp av ett därtill konstruerat analysinstrument, som tog fasta på elevens och PDRac-miljöns potentiella interaktion i adidaktiska situationer. Analysinstrumentet var konstruerat med stöd av teorierna i avsnitt 3.2 och 3.3.

PDRac-verktygets användbarhet beror på många faktorer som måste beaktas i samband med designen av undervisningsgrafik för datorbaserade verktyg. Rieber (1994, s. 15) framhåller att det endast är undervisningen som har potential att påverka lärandet, inte datorn. I undervisningsdesign[6] är det följaktligen viktigt att komma ihåg att det är undervisningsprocessen som ska bestämma produkten.

> Guiding the design of graphics in educational computing is especially important as the graphical power of computers increases. The temptation to incorporate a wide array of graphics, simply given the awesome ability to do so, can be overwhelming. Guidance is needed to ensure that instructional processes direct instructional product development (Rieber, 1994, s. 29).

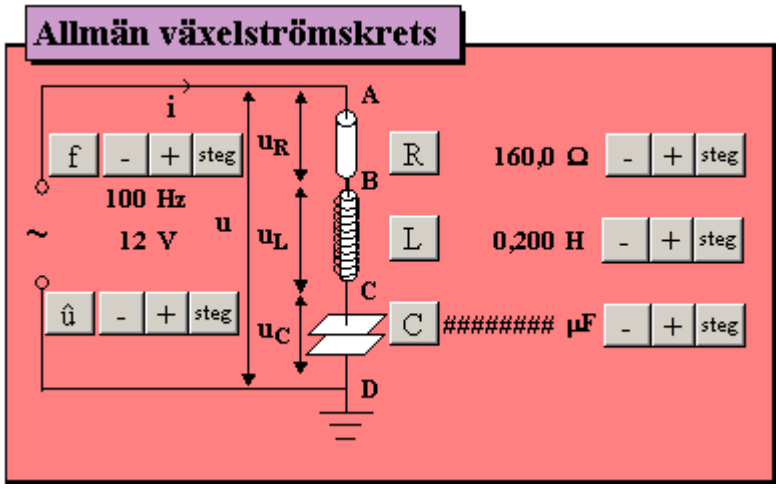
Produktvalideringen av PDRac-verktyget görs här med hjälp av Riebers (1994) allmänna principer för design av datorbaserade undervisningsverktyg. Dessa principer behandlar typen av undervisningsgrafik och syftet med den. Tre typer av grafik är vanliga i undervisningsmaterial: representationsgrafik, analogigrafik och godtycklig grafik (*arbitrary graphics*). Rieber nämner fem syften som de grafiska applikationerna borde fylla: kosmetiskt och motivationsskapande syfte, uppmärksamhetsväckande syfte, presentations- och övningssyfte.

Representationsgrafik påminner mycket om det objekt som det representerar och kan vara realistiskt eller abstrakt i varierande grad. I PDRac-verktyget illustreras RLC-kretsens komponenter – resistor, spole och kondensator – med abstrakta symboler, som i någon mån påminner om de verkliga objekten (figur 48).

Analogigrafik används för att illustrera ett objekt eller en idé. Objektet som illustreras kan eventuellt bara förete vissa likheter med det verkliga objektet. Ett exempel i PDRac-verktygets grafik är att spänningen över en komponent i

[6] Instructional design: ”A learner-centered approach with evaluation of instruction based on the goals or objectives of the lesson, the needs of the learner, and the nature of the task” (Rieber, 1994, s. 32).

kretsen illustreras med en dubbelpil mellan komponentens båda ändpunkter. Idén kan här tolkas så att en voltmeter måste anslutas parallellt med komponenten i kretsen. Ett annat exempel utgörs av de knappar som används för att mata in och förändra storheters värden. I verkligheten ändras inte en resistors resistans genom att användaren trycker på en knapp. En tryckning på R-knappen är analog med åtgärden att sätta in t.ex. en potentiometer (eller ett dekadmotstånd) i kretsen. En tryckning på plus-minus-knapparna betyder att man vrider på potentiometern för att ändra resistansen. Motsvarande resonemang gäller de övriga knapparna. Analogigrafikens användbarhet är givetvis beroende av elevernas förkunskaper, annars finns det risk för missuppfattningar.



Figur 48. Grafiktyper i PDRac-verktyget.

Godtycklig grafik, som är en samlingsterm för all annan slags grafik, påminner inte om reella eller imaginära objekt, men innehåller visuella eller spatiala kännetecken som har en specifik betydelse. Tabeller, diagram och grafer i koordinatsystem är representanter för denna typ av undervisningsgrafik. I PDRac-verktyget används en uppsättning av grafer i kartesiska koordinatsystem för att framställa relationer mellan variabler. Merparten av dessa grafer är tidsgrafer.

Innan läraren tar in grafik i undervisningen är det viktigt att hon bestämmer syftet med undervisningen och vilken roll grafiken ska ha. Enligt Rieber (1994) har undervisningsgrafik fem olika syften uppdelade i en affektiv och en kognitiv funktion. För det första har grafik, som har kosmetiska och motivationsskapande syften, samtidigt en affektiv funktion i undervisningen. För det andra har grafik en kognitiv funktion. I den funktionen används grafiken i syfte att väcka elevens uppmärksamhet, att presentera information och att ge visuell feedback på elevens praktiska aktiviteter.

Det kosmetiska syftet med grafiken är inte att åstadkomma lärande i sig men att få ett datorbaserat verktygsprogram att se mera tilltalande ut. I bästa fall hjälper det eleven att uppehålla intresset och motivationen i sitt lärande, men i sämsta fall kan attraktiv grafik ha distraherande effekter så att elevens uppmärksamhet riktas bort från det som är viktigt (Rieber, 1994, s. 59). Vid konstruktionen av PDRac-verktyget har använts olika färger i olika fält på dataskärmen. Syftet med detta är att avgränsa olika slag av information så att användaren lättare har kontroll på den information som för ögonblicket är den viktigaste. Som exempel kan nämnas att fältet för RLC-kretsen och numeriska indata har *en* färg (röd), fälten för numeriska utdata har andra, sinsemellan olika färger (brun, gul, grön, blå) och knappar en tredje färg (grå). De olika typerna av utdata ger gruppvis information om momentanvärden, effektivvärden, skalor etc.

Distraktionseffekter, som kan vara ett hot mot lärande på grund av att korttidsminnet bara kan lagra en begränsad mängd information (Rieber, 1994, Ashcraft, 1998), leder resonemanget vidare på PDRac-verktygets visibilitet versus opacitet. För att inte distraktionseffekterna ska vara alltför påtagliga kan användaren gömma den numeriska information som för stunden är onödig. Likaså kan grafiska fönster stängas då motsvarande information inte behövs. Dataskärmens överskådlighet och mängden av information är objekt för några lärares och elevers kritik. Denna kritik är delvis obefogad. Användaren behöver inte ha mer information synlig än den som är behövlig i situationen. Det krävs då av eleverna (och lärarna) en viss selektiv förmåga att utnyttja enbart den information som är relevant och gömma all annan information. I den aktuella versionen av PDRac-verktyget är de tre växelströmskomponenterna i RLC-kretsen synliga. I en kommande version är avsikten att den eller de komponenter som inte är inkopplade i kretsen göms, för att ytterligare minska mängden överflödig representationsgrafik på dataskärmen.

Det motivationsskapande syftet med undervisningsgrafik har flera sidor. Enligt Rieber (1994) anser många forskare att grafikens motiverande attraktion ofta beror på nymodigheten, men att denna effekt är temporär och försvinner gradvis med tiden. Eleverna kan lätt bli mätta på visuell stimulus som lätt kan förlora sin betydelse i undervisningen. Andra forskare anser emellertid att om uppgiftens natur är tillfredsställande, relevant och utmanande ökar den tid eleverna lägger på uppgiften och därmed också lärandets kvalitet. En god balans i användningen av datorproducerad visuell stimulus är nödvändig. Elev- och lärarstudien har visat att nymodighetsaspekten var framträdande, men att också nytänkande och möjligheten att lösa problem på ett nytt och annorlunda sätt i växelströmsläran var motivationsskapande faktorer. PDRac-verktygets affektiva funktion gav upphov till de mest positiva uppfattningarna av effektivt lärande i de båda delstudierna.

Grafikens syfte att fånga uppmärksamheten har en kognitiv funktion eftersom det kan påverka elevernas lärande (Rieber, 1994). I PDRac-verktyget har därför

implementerats flera källor av uppmärksamhetsskapande stimuli. Animerade figurer kontrasterar mot en statisk bakgrund (Rieber, 1994, s. 61) och förstärker den information som är viktig att lyfta fram i problemsituationen. Den dynamiska framställningen av de numeriska och grafiska data har en central roll i PDRac-verktyget. Parallellrepresentationen av olika slag av data fokuserar elevernas uppmärksamhet, men medför risken att eleverna inte förmår övervaka en stor mängd dynamiskt varierande data. Den tidigare omtalade möjligheten att gömma irrelevanta data måste noga beaktas av eleverna. Med enkla musklick kan eleverna ta bort utdata som är överflödiga. Det finns också en speciell *Reset*-funktion som fungerar så att användaren med ett klick gömmer alla utdata på en gång.

Ett sätt att fokusera elevens uppmärksamhet på en och samma fysiska plats på dataskärmen har realiserats genom att placera dubbelgrafen av storheterna $u(t)$ och $i(t)$ (spänning och strömstyrka som funktion av tiden) i ett och samma koordinatsystem. Här har eleverna möjlighet att jämföra hur spännings- och strömstyrkekurvorna ligger i förhållande till varandra. Emellertid föreligger faran att eleverna inte uppmärksammar att de två storheterna i allmänhet inte kan ha samma skala på ordinataxeln, trots att skalan synligt visas invid axeln. En annan fara som gäller axelskalorna har att göra med kalkylprogrammet Excels automatiska axelskalning. Det finns en risk att det ser ut som om ingenting händer i grafen trots att växelströmskretsens storheter förändras. Grafen kan i vissa fall se ut att vara statisk, medan skalan obemärkt ändrar värden! I PDRac-verktyget finns därför inbyggt valmöjligheten att fixera skalan på ordinataxeln med hjälp av en makrofunktion, som aktiveras med ett klick på avsedd knapp. Eleverna måste vara medvetna om denna möjlighet. Detta har beaktats i handledningsmaterialet.

Ytterligare exempel på applikationer att fånga uppmärksamheten är den rörliga tangenten på strömstyrkekurvan, varningsskylten för kortslutning och varningsrutan för att sätta kondensatorns kapacitans till noll farad. I det sistnämnda fallet visas en informationstext, som talar om att ifall kondensatorn tas bort ur kretsen är kapacitansen inte noll utan i stället mycket stor. Ett stort värde på kapacitansen appliceras samtidigt automatiskt via makroprogrammet så att användaren inte behöver vidta någon ytterligare åtgärd. En förbättring av en kommande version av PDRac-verktyget skulle i detta fall vara att eleven verkligen måste mata in denna stora kapacitans och därmed tydligare uppmärksammas på kapacitansens betydelse.

Ett annat förbättringsförslag består i att ersätta datafältet för effektivvärden på strömstyrka och spänningar med virtuella digitalmätare i anslutning till respektive komponent. Mätarnas digitala displayer uppdateras dynamiskt då kretsens egenskaper, t.ex. impedans, förändras. En kosmetisk förbättring skulle vara att designa graffönstren som bilder av oscilloskopskärmar. På det virtuella oscilloskopet kunde det då finnas knappar för att ställa in axelskalor. Dessutom

kunde varje graffönster klickas bort med en knapp på oscilloskopet. På det sättet kunde man ta bort fältet för inställning av axelskalorna och de s.k. X-knapparna på det specialgjorda knappbordet. De omnämnda förändringarna skulle ge dataskärmen en bättre layout, minska mängden redundant information och göra verktyget mera verklighetstroget.

Undervisningsgrafik i presentationssyfte är troligen den mest allmänna användningen enligt Rieber (1994). Grafiken presenterar på ett visuellt sätt kritisk information som är nödvändig för att eleven bättre ska förstå begreppen. Dynamiken i grafiken stöder elevens begreppsförståelse och hjälper honom att tolka samband mellan variabler. Kombinerad med textinformation fokuserar grafiken elevernas uppmärksamhet och hjälper dem att skapa visuella mentala modeller (Rieber, 1994, s. 63–64). Dynamiken i kombination med visualiseringen i PDRac-verktyget gör att eleven i realtid kan studera hur förändringar av en storhet påverkar andra storheter. Exempel på kritisk information är strömstyrkekurvans tangent som visuellt lyfter fram begreppet *ändring av strömstyrka* – ett centralt begrepp i elektrodynamiken (Faradays induktionslag). Den visuella framställningen av växelströmskretsens resonanstillstånd är ett annat, särskilt iögonenfallande exempel. Vid en variation av spolens induktans eller kondensatorns kapacitans i närheten av resonansfrekvensen uppvisar strömstyrkans amplitud ett kraftigt maximum då resonanstillståndet passeras.

Den viktigaste användningen av undervisningsgrafik är ändå övningsaktiviteter där grafiken fungerar som visuell feedback för eleverna då de funderar på olika slag av idéer och begrepp. Speciellt lämpade för detta syfte är interaktiva datorsimuleringar, där grafiken förändras fortgående från ögonblick till ögonblick beroende på elevernas inmatningar[7] (Rieber, 1994, s. 66, 161). I kombination med det skriftliga handlednings- och övningsmaterialet uppfyller PDRac-verktyget denna kognitiva funktion. De didaktiska situationerna övning och begreppsintroduktion skapar möjligheter för eleverna i elevparen att komma igång med en diskussion där kvalitativa resonemang utgör ett väsentligt inslag i interaktionen. I utvärderingssituationen interagerar eleven däremot ensam med verktyget för att lösa ett antal problem. Eleverna vägleds av övningsmaterialets frågor och instruktioner att fokusera på de väsentliga begreppen, de fysikaliska storheterna och deras samband, för att eleverna ska nå målet med problemsituationerna. Det finns emellertid alltid en risk att om eleverna inte kan förklara alla de dynamiska förändringarna, så tappar de intresset för de effekter som är möjliga i verktyget. Resultatet kan i värsta fall leda till ett meningslöst klickande bara för effekternas skull och inte för lärandets skull. Handledningsmaterialets funktion behandlas utförligare längre fram.

Förutom de ovan behandlade aspekterna på undervisningsgrafik – typ och syfte – kan man ta in en tredje aspekt, nämligen de representationsformer under-

[7] definierad som interaktiv dynamik enligt Brown (1983).

visningsgrafiken består av. Grafiken kan vara ögonblicksbilder, återge tidsförlopp eller vara tidsberoende (Titus, 1998). Var och en av dessa grafikformer kan dessutom representeras parallellt på dataskärmen med PDRac-verktyget.

En momentan bild kan antingen bestå av en ögonblicksbild vid en specifik tidpunkt eller en tidsoberoende bild. Bilden av RLC-kretsen, numeriska datafält, t.ex. momentanvärden, och en punkt i en tidsgraf är parallella, momentana visningar av ett tillstånd i RLC-kretsen. En punkt i ett fasdiagram (spänningen som funktion av strömstyrkan) är också en sådan statisk representation av ett specifikt ögonblick i kretsen. Reaktansernas och impedansens beroende av växelspänningskällans frekvens är exempel på en tidsoberoende graf.

Grafik som återger tidsförlopp kan fånga in händelser i olika tidsögonblick på samma bild. Exempelvis kan de tidsgrafer och fasdiagram som återger det som hänt i en krets under ett valt tidsintervall representera kretsens funktion under det givna tidsintervallet. Numeriska utdatafält, t.ex. effektivvärden, är exempel på grafik som har relevans endast då en tidssekvens har genomlöpts.

I tidsberoende grafik uppdateras bildelementen konstant och ger sken av rörelse eller förändring, dvs. dynamik eller animation. I PDRac-verktyget har denna slags dynamik realiserats på två sätt. I det ena fallet skapas dynamiken genom att förändra någon av de fem fysikaliska storheterna. De varierbara storheterna är växelspänningskällans spänning och frekvens och kretsens resistans, induktans och kapacitans. Genom att variera en av dessa storheter åt gången sker en samtidig uppdatering av hela kretsens tillstånd med resultatet att en förändring sker i alla de grafer och numeriska värden vilka beror av den varierande storheten. I det andra fallet skapas dynamiken så att man rekonstruerar tidsförloppet genom att simulera en klocka och i slow motion-takt studera kretsens beteende i tid. Genom att på detta sätt flytta en punkt i tidsgraferna kan eleven se sådana storhetsförändringar som beror av tiden, t.ex. momentanspänning, -strömstyrka och -effekt. En tangent i $i(t)$-grafen, dvs. strömstyrkans tidsderivata, visar hur strömstyrkan förändras med tiden.

Eleverna kan själva bestämma mängden och typen av parallell grafik på dataskärmen, med andra ord vilka numeriska fält och grafiska fönster som samtidigt ska visas. Skärmens fysiska mått begränsar dock detta antal. På en dataskärm med en låg skärmupplösning täcker tre graffönster samtidigt de numeriska fälten för momentanvärden och effektivvärden. Med en hög skärmupplösning kan så gott som alla numeriska och grafiska fönster visas parallellt.

Handlednings- och övningsmaterialet

Ett undervisningsverktygs användbarhet borde inte utvärderas endast i termer av hur effektivt man kan manipulera det utan hur verktyget lämpar sig för de avsiktliga lärandeuppgifterna. När det finns en synergi mellan dessa kan man

säga att mjukvarans användning och lärandeprocessen är integrerade (Squires & Preece, 1996, s. 16). I själva PDRac-verktyget finns inga texter som vägleder eleverna i lärandeprocessen vid interaktionen med verktyget. I stället har den textbaserade informationen och instruktionerna utarbetats separat och finns i ett särskilt häfte som eleverna har som stödmaterial.

Enligt Rieber (1994, s. 223) borde grafiken vara kongruent och relevant med åtföljande text för att inte skapa förvirring hos eleverna. Varje problemsituation inleds därför i övningshäftet med en information om vilka utgångsvärden eleverna ska ge de aktuella storheterna, vilka grafer och tabeller som lämpligen ska visas på dataskärmen och vilka axelskalor som är lämpliga i graffönstren. Syftet här är att eleverna inte ska behöva gissa sig fram till hur de ska börja, vilket lätt kan leda till ett lekfullt prövande av olika värden och inställningar. Rieber (1994, s. 180–181) framhåller att elever som ges en strukturerad simulering presterar bättre än elever som ges en ostrukturerad simulering. En strukturerad simulering har ett klart mål och vägleder eleverna i de olika stegen som ska läras.

Efter initialinställningarna vägleds eleverna genom simuleringen genom numrerade faser som talar om hur eleverna ska interagera med PDRac-verktyget. Eleverna får sedan tips om vad de ska iaktta och en rad frågor som vägleder dem att ”processa den information som innehålls i grafiken på ett uppenbart sätt” (Rieber, 1994, s. 223, egen övers.). Detta ökar möjligheterna för eleverna att aktivt fokusera på och använda den visuella informationen som presenteras.

Grafiken på dataskärmen är obehövlig om texten ensam producerar kunskap (Rieber, 1994, s. 223). Så är inte fallet med texten i övningshäftet. Texten kan i sig inte ge svar på några frågor. En genomläsning skapar snarast känslan av en nonsenstext. Det är osannolikt att eleverna utan att studera de olika representationerna på dataskärmen skulle kunna skapa en lämplig inre mental bild av det fysikaliska förloppet. Kombinationen av den strukturerade handledningen i övningshäftet och elevernas interaktion med och resonemang kring de olika, visuella representationerna på dataskärmen avser att stöda elevernas mentala konstruktioner av förloppen.

> Visual and verbal processing refer to two different sense modalities; animation and narration refer to two different presentation media. It also should be noted that, under certain circumstances, verbal material can evoke the construction of visual representations, and visual material can evoke the construction of verbal representations (Mayer & Sims, 1994, s. 390).

En viktig princip som är rotad i konstruktivismen är att meningsfullt lärande kan tolkas som graden av koppling mellan ny kunskap och det som eleverna redan vet (t.ex. Järvelä & Niemivirta, 1999). Det betyder att man i datorbaserad undervisning också borde etablera en struktur där eleven går från det kända till det okända (Rieber, 1994, s. 259). Den första problemsituationen i den didaktiska

situationen övning får fungera som ett exempel på detta. Eleverna ska undersöka hur spänningen över spolen beror av förändringen av den sinusformade strömstyrkan. Eleverna känner från tidigare till att en förändring av strömstyrkan åstadkommer en förändring av ett magnetflöde i en spole. Denna flödesändring åstadkommer i sin tur en spänning över spolen. I en växelströmskrets ökar strömstyrkan under den första kvartsperioden av den sinusformade vågen, men *förändringen per tidsenhet* (dvs. tidsderivatan) av strömstyrkan *minskar* med tiden. Detta resulterar i att den positiva spänningen över spolen minskar från ett maximivärde till noll under den första kvartsperioden. Den nya fysikaliska kunskapen är preciseringen av skillnaden mellan det som händer med strömstyrkan och det som händer med förändringen av strömstyrkan: Strömstyrkan ökar men ökningen avtar, dvs. strömstyrkans tidsderivata minskar. (Motsvarigheten i matematiken är en funktions förlopp versus derivatans förlopp.) Konsekvensen av detta är att (den inducerade) spänningen över spolen är positiv och minskar.[8]

I undervisningsdesignen är det enligt Rieber (1994, s. 260) också viktigt att ha balans mellan deduktivt och induktivt lärande. I övningssituationen är lärandeprocessen i huvudsak av deduktiv natur. Elevernas uppgift är att bekräfta fakta, men också att utvidga sina kunskaper om sådant som de tidigare gått igenom beträffande begrepp och fenomen i växelströmskretsen. Den didaktiska situationen begreppsintroduktion är däremot inriktad på induktivt lärande. Trots att tillvägagångssättet i övningshäftet också här är strukturerat handlar det om att eleverna på egen hand ska ägna sig åt utforskning och försöka dra slutsatser av det som de har upptäckt genom interaktionen med PDRac-verktyget.

För att inte eleverna ska känna att den strukturerade informationen i problemsituationerna blir alltför kokboksaktig kan de på egen hand utforska fysikaliska förlopp genom att pröva olika inställningar och förändringar av parametrarna. Då de vill återgå till övningsmaterialets instruktioner är det bara att återställa de föreslagna initialinställningarna och gå framåt. Det är viktigt att eleverna också föregriper och hänger sig åt tillfälligheter i lärandet. Lärande i konstruktivistisk anda följer sällan bestämda sekvenser som är lika för alla elever (Rieber, 1994, s. 261).

Både elever och lärare framhöll i undersökningen att mängden och tydligheten i instruktionerna inte får reducera elevernas eget utforskande. Färre detaljer och större helheter föreslogs. Elevernas egna upptäckter är viktiga, och en del lärare ansåg att de helst undvek att demonstrera PDRac-verktyget för eleverna. Några lärare nämnde att verktyget kunde få betydelse för den ofta förbisedda gruppen av elever som snabbt tillägnar sig kunskap. Dessa elever får enligt lärarna gå framåt i sin egen takt och bromsas inte in av den allmänna takten som råder i

[8] Att den inducerade spänningen är positiv betyder att den motverkar den elström som går genom spolen. Hur spänningens tecken bestäms är en definitionsfråga. Tecknet beror av den punkt där kretsen är jordad. Detta har behandlats tidigare.

helklassundervisning. En del av lärarna var övertygade om att det finns en potential i verktyget att åstadkomma en brygga mellan experiment och teori i fysikundervisningen. Verktyget kan också befrämja diskussion mellan eleverna.

Avsaknad av facit till uppgifterna ansågs göra lärarens handledarroll viktig. Verktyget förutspåddes ge eleverna en djupare kunskap om växelströmskretsar. Eleverna kan enligt lärarna ha svårigheter att se samband mellan de fysikaliska storheterna och vilken roll växelströmskomponenterna har i kretsen. Visuella representationer ansågs betydelsefulla i lärandet och kunde komplettera traditionell undervisning. Flera lärare visade starkt intresse för PDRac-verktyget och planerade att prova det i sin undervisning. Ett litet antal lärare hade redan använt verktyget i undervisningen.

Konklusion

Datorn är ett unikt medium som kan representera information på en mångfald olika sätt. Det är olyckligt om man i fysikundervisningen tvingas undvika att utnyttja datorn på grund av alla de begränsningar som gör den svår att implementera. Två utvecklingsförlopp är önskvärda för att garantera möjligheterna att effektivare kunna utnyttja teknologin. För det första borde den alltför snabba utvecklingen av både hårdvara och mjukvara mattas av och uppnå en stabilitetsnivå. Såsom fallet är nu föråldras tekniken och tillämpningarna på relativt kort tid och hinner inte få en varaktig förankring i undervisningen. Många lärare ger småningom upp ansträngningarna, om utvecklingen kontinuerligt avancerar i en sådan takt att de hela tiden känner att de ligger efter i kunskap och förmåga att använda teknologin. Läraren måste få tid att implementera den utvecklade programvaran så att den smälter in i hennes undervisningsmetodik. Skolornas resurser räcker inte heller till ständiga uppdateringar. Det är olyckligt om det fortsättningsvis bara finns en liten klick entusiastiska lärare som är villiga att sätta mycket tid på att implementera datorteknologi i undervisningen. Då stabilitet uppnås, då den önskvärda jämvikten i datorhanteringen infinner sig, hinner lärarna få en känsla av att behärska undervisning med datorverktyg.

För det andra kan man konstatera att optimal tillgänglighet uppfylls först då datorerna finns i den klass där undervisningen normalt sker, så att teknologin smidigt kan integreras i den pågående undervisningen. En önskvärd utveckling är då att datorns fysiska storlek minskas så att den närmar sig den grafiska räknarens för att datorteknologin inte ska förorsaka utrymmesproblem. Däremot borde dataskärmen ändå vara tillräckligt stor och ha en god upplösning för att kunna återge detaljer i representationerna på ett estetiskt tilltalande sätt. Om dessa två utvecklingsförlopp sker parallellt ökar möjligheterna till mer datorbaserad undervisning.

PDRac-verktyget, som har utvecklats med ett kalkylprogram som bas, har visat sig vara användbart för att lösa didaktiska problem i växelströmsläran. Det svarar mot ett efterfrågat behov att göra växelströmsläran mer förståelig för eleverna, ett behov som emanerat från erfarenheterna från den traditionella undervisningen. Eleven får rikare upplevelser än vid lösandet av formelproblem.

Skillnaden mellan PDRac-miljön och verkligheten är inte så stor i betydelsen att eleven i verkligheten inte heller kan *se* fenomenen i elektrodynamiska processer i växelströmskretsar. Den som studerar RLC-kretsar är beroende av mät-instrument för att registrera händelseförloppen. Förutom att PDRac-verktyget kan simulera mätinstrument har det dessutom utökade egenskaper att representera sådant som mätinstrument inte kan och därmed öka möjligheterna till ett effektivt lärande av de komplicerade sambanden. Implementeringen i didaktiska situationer ger ökade möjligheter till diskussion och engagerande resonemang kring dynamiken och de parallella representationerna i grafisk och numerisk form. Interaktiviteten och möjligheterna att pröva sig fram, testa, ställa upp hypoteser och få kontinuerlig feedback på det de gör inom ramen för adidaktiska situationer stöder elevens lärande.

Syftet har uppfyllts i fråga om implementeringen i didaktiska övningssituationer, där eleverna får simulera processer som tidigare har undervisats och demonstrerats med verkliga kretsar. Likaså har syftet uppfyllts i introduktion av nya begrepp och fenomen, där eleven först får utforska fenomenet och sedan får bekräftelse genom demonstration med en reell RLC-krets tillsammans med mät-instrument. Verktygets användbarhet i provsituationer kräver ytterligare tillvänjning och modifikation för att göras fungerande i undervisningen. En ökad tillgänglighet erbjuds också då verktyget kan användas av eleven på egen hand i icke-didaktiska situationer. PDRac-verktyget har i denna studie visat sig vara en funktionell produkt, som i didaktiska situationer har en potential att stöda elevens lärandeprocess på ett ändamålsenligt sätt.

Avslutningsvis vill jag hävda att PDRac-miljön är lämplig för att introducera ett nytt grepp på undervisningen och ändra synen på elevernas lärande och deras arbetsmetoder. Varje förändring kan enligt Black och Wiliam (2002) kännas som ett hot. Att betona utmaningen att ifrågasätta, att tänka själv och att tänka djupt kan kännas störande. En del elever och lärare gör motstånd mot en för-ändring av invanda rutiner. Lärarna – men också eleverna – måste ta risken att övertyga sig om att den extra tid som detta kräver av dem är en investering i framtiden värd att göra.

7.2.2 PDRac-miljöns didaktiska implikationer

Rapporter från den pedagogiska forskningen i olika delar av världen visar på både fördelar och nackdelar med implementeringar av datorbaserade verktyg (se t.ex. Pinto & Surinach, 2001). Trots att många datortillämpningar kan betraktas

som kognitiva verktyg med en verklig didaktisk potential är det fortfarande en långsam process att på ett naturligt sätt introducera datorteknologin i undervisningen.

I föregående avsnitt har jag diskuterat PDRac-verktygets produktvaliditet och funnit att det uppfyller kriterier för design av ett undervisningsverktyg som representerar data av olika slag parallellt och dynamiskt i interaktion med användaren. Implementeringen av verktyget i didaktiska situationer har som syfte att stöda elevens lärandeprocess i växelströmsläran.

I teorin för didaktiska situationer beskrivs den interaktiva dynamiken (det som Brousseau (1997) kallar *spel*, kapitel 2) mellan aktörerna i triangeln elev – miljö – lärare. Elevens interaktion med miljön sker inom den adidaktiska situationen. Med termen miljö menar jag här PDRac-miljön, som består av PDRac-verktyget, handlednings- och övningsmaterialet och elevens parkamrat (se figur 26 avsnitt 4.2.1). I studien fungerade eleverna i huvudsak i adidaktiska situationer i enlighet med teorin för didaktiska situationer. I klassexperimentet spelade läraren en relativt obetydlig roll i elevernas arbete med PDRac-verktyget och handlednings- och övningsmaterialet.

I analogi med Artigues (2000, s. 10) synpunkter på den gradvisa utvecklingen av teorin för didaktiska situationer kan man säga att adidaktiska faser producerar fysikkunskap som beror på speciella aktiviteter och kontexter. Läraren har här en viktig roll att hjälpa eleverna att relatera det som de har gjort i det adidaktiska arbetet till en mer institutionell form av kunskap som är målet för den didaktiska situationen. Det uppstår således en dubbelriktad process – en delegeringsprocess och en institutionaliseringsprocess – mellan två nivåer: adidaktisk kunskap i den adidaktiska och institutionell kunskap i den didaktiska situationen. Enligt Artigue (2000, s. 10) krävs det att man förstår detta komplexa spel mellan lärarens respektive elevens ansvar, mellan de två nivåerna i situationsmodellen, för att enligt teorin för didaktiska situationer a priori förstå den fysikaliska potentialen i en designad situation och a posteriori det fysikaliska livet i en observerad situation. Genom att studera relationerna i denna didaktiska triangel vill jag göra några reflektioner över idéer att utveckla PDRac-miljön.

Relationen mellan läraren och eleven

A posteriori-analysen visade att de flesta elever önskade mera vägledning från lärarens sida i de didaktiska situationerna och att deras resonemang och argument skulle få bekräftelse av läraren. Läraren hade behövt bistå med mera förklaringar, tips etc. för att eleverna skulle ha känt sig säkrare på vad som egentligen var målet med deras lärande i PDRac-miljön. För många elever var deras interaktioner med PDRac-verktyget inte tillräckliga för att på ett självständigt sätt komma åt den nödvändiga fysikaliska kunskapen inom en rimlig tid, dvs. inom de till buds stående didaktiska situationerna.

En viktig didaktisk implikation är därför att läraren borde betraktas som en situationsvariabel med en viktigare och mer framträdande roll i den didaktiska situationen än vad som var fallet i det genomförda klassexperimentet. Läraren borde enligt Artigue betraktas som en fullvärdig aktör i situationen. Lärarens roll ”kan inte reduceras till hanterandet av delegerings- och institutionaliseringsprocessen”.

> By her or his mediations, (s)he regularly modifies the medium, the way students interact with it and the possible cognitive effects of this interaction (Artigue, 2000, s. 19).

I fysikundervisningen används alltför sällan kvalitativa resonemang kring fysikaliska storheter och den verkan en förändring av en storhet kan ha på andra storheter och i förlängningen på ett helt fysikaliskt förlopp med många storheter inblandade (jfr Leonard, Dufresne & Mestre, 1996; Tao, 2001). De elever som deltog i klassexperimentet var vana vid att lösa fysikaliska problem där ekvationer användes, men de var ovana vid att föra kvalitativa resonemang kring en problemsituation i fysiken. I de didaktiska situationerna har det kvalitativa resonemanget kring problemsituationerna betonats. Det är här som lärarens roll synes vara viktigare än vad som förutsattes i experimentet. Läraren måste ha en förmedlande roll för att eleverna ska kunna göra de nödvändiga kopplingarna mellan resultatet av deras resonemang och vedertagen fysikkunskap – trycket på det didaktiska kontraktet måste alltså lättas. Eleverna måste ändå ha ett maximalt ansvar för att upprätthålla en tillräckligt hög nivå av *adidakticitet* (jfr Artigue, 2000, s. 19).

En undervisningsmetod som förstärker lärarens interaktiva roll i det didaktiska trippelspelet är formativ utvärdering. Metoden har visat sig leda till en förstärkt elevprestation (Black & Wiliam, 2001, 2002). Formativ utvärdering innebär att läraren sätter i gång aktiviteter eller situationer i akt och mening att locka fram information om elevens förståelse. Läraren eller eleven tolkar den erhållna informationen och handlar i enlighet med den. Eleven själv kan också spela en betydelsefull roll genom att engagera sig i en reflektiv process, en slags självutvärdering. Informationen, som är fokuserad på uppgiften – inte på eleven – används för att anpassa undervisning och lärande för att möta elevernas behov och för att eleverna ska kunna sätta sig in i vad de behöver för att prestera bättre. Varje innovation som förändrar en komponent av utvärderingsmodellen kan emellertid också ha en destabiliserande inverkan på en nödvändig jämvikt så att hela det pedagogiska mönstret kan påverkas.

Black och Wiliam (2002) har sammanfattat ett antal teser som deklarerar hur en förbättring av den formativa utvärderingen i undervisningen kan öka kvaliteten på elevernas lärande. Dessa teser får fungera som referensram i den fortsatta diskussionen.

> Feedback to any pupil should be about the particular qualities of his or her work, with advice on what he or she can do to improve, and should avoid comparisons with other pupils (Black & Wiliam, 2002).

De elever som i klassexperimentet har betraktats som aktiva i elevparen kan i allmänhet göra bra ifrån sig i en PDRac-miljö. De passivare eleverna behöver däremot vägledning och uppmuntran av parkamraten, men kanske framförallt av läraren. De är mera beroende av detta stöd för att bygga upp självkänslan i arbetet med PDRac-verktyget. Om den formativa utvärderingen förmedlas på rätt sätt kan de passiva eleverna bättre uppfatta att också de kan prestera ett bra resultat. Också de aktiva eleverna behöver diskutera med läraren och få sina fysikaliska resonemang och hypoteser bekräftade.

> Opportunities for pupils to express their understanding should be designed into any piece of teaching, for this will initiate the interaction whereby formative assessment aids learning (Black & Wiliam, 2002).

Undervisningsformen i de didaktiska situationerna med PDRac-verktyget kändes ny och oprövad för eleverna. Komplexiteten i det som skulle läras upplevdes vara stor. Eleverna hade svårigheter att använda kvalitativa resonemang i fysiken. Exempelvis visade det sig att de s.k. *varför*-frågorna vållade huvudbry. Den tid som behövdes för att lösa uppgifterna var för knappt tilltagen och gav inte möjlighet till ordentliga reflektioner kring det som eleverna behövde gå igenom.

Ovanstående visar att eleverna behöver mera stöd i samband med en annorlunda undervisningsform, som kräver mera kvalitativt resonerande. Lärarna förväntar sig ofta att eleverna ska utveckla en färdighet i kvalitativt resonemang för att tolka nya fysikaliska situationer med hjälp av de begrepp som de har utvecklat (McDermott, 1991, s. 303). Det krävs av eleverna ett engagemang i uppgiften för att de ska konstruera mentala strukturer på hög nivå. För att eleverna aktivt ska anpassa sig till en lärandesituation krävs att de har en känsla av självkontroll och att de litar på sina egna förmågor. Själva lärandesituationen borde också erbjuda tillräckligt med tid, möjligheter och stöd för eleverna att göra sig en föreställning om uppgifterna och fenomenen som de tar itu med. Det som är viktigare än att motivera eleverna med olika slag av stimuli i situationen är att stöda dem i deras engagemang i de relevanta processerna i tänkandet och problemlösningen. Teman som motiverar eleverna att samarbeta eller utforma gemensamma mål borde diskuteras. Det gör också att den individuella eleven engagerar sig i den gemensamma prestationen eller diskussionen (Järvelä, Niemivirta, 1999, s. 61–62).

> The dialogue between pupils and a teacher should be thoughtful, reflective, focused to evoke and explore understanding, and conducted so that all pupils have an opportunity to think and to express their ideas (Black & Wiliam, 2002).

I studien framkom de positiva aspekterna att eleverna i PDRac-miljön kunde diskutera och gå fram i egen takt på ett annat sätt än under traditionella fysiklektioner. Det är ofta så i den traditionella undervisningen att läraren ställer en fråga, väntar någon sekund och låter sedan de mest snabbtänkta eleverna svara.

Då eleverna diskuterar med läraren kan hon svara på och vid behov omorientera elevernas tänkande. Det är emellertid viktigt att läraren är tillräckligt flexibel och kan hantera oväntade situationer. I interaktionen med eleverna måste läraren dessutom vara på sin vakt mot att styra eleverna mot ett förväntat svar. Det är därför viktigt att läraren förbereder sig noga inför de didaktiska situationerna genom att själv gå igenom problemsituationerna med PDRac-verktyget och samtidigt anteckna frågor som är av mera kvalitativ natur. Läraren kan på detta sätt försöka sätta sig in i elevernas situation samtidigt som hon tänker igenom målen med problemsituationen. Det är viktigt att läraren ställer frågor och ifrågasätter och att eleverna resonerar sig fram till och utarbetar egna svar. Läraren kan ställa relevanta och kritiska frågor och sedan lämna elevparet så att eleverna i lugn och ro kan diskutera, få tid till tankeväckande reflektioner och anteckna de svarsalternativ som de kommit på. Läraren återkommer senare och utvärderar deras svar och diskuterar vidare.

Ett viktigt hjälpmedel i elevernas resonerande är begreppskartor, där eleverna skapar sig en översiktlig bild av de olika resultaten som PDRac-verktyget har producerat. Begreppskartor är användbara eftersom informationsmängden i PDRac-verktygets parallella och dynamiska representationer är stor. Samtidigt skulle begreppskartorna dels underlätta för läraren att snabbt göra sig en föreställning om hur eleverna har tänkt, dels utgöra underlag för den fortsatta diskussionen med eleverna.

> Tests and homework exercises can be an invaluable guide to learning, but the exercises must be clear and relevant to learning aims. The feedback on them should give each pupil guidance on how to improve, and each must be given opportunity and help to work at the improvement (Black & Wiliam, 2002).

I klassexperimentet visade det sig att alla elever inte hann genomföra alla uppgifter under de didaktiska situationerna. Till skillnad från forskningsimplementeringar kan man i den reella undervisningen vara mer flexibel – åtminstone i en viss utsträckning – så att man under följande didaktiska situation fortsätter att arbeta på de övningar som har blivit ogjorda. En annan lösning är att övningar som eleverna inte hinner göra under den didaktiska situationen kan ges som hemuppgifter. De måste då ha tillgång till PDRac-verktyget, vilket kan förverkligas på olika sätt – verktyget kan ges ut till eleverna på cd-skiva eller göras tillgängligt via Internet. I hemuppgifterna borde det ingå goda, kvalitativa frågor, som eleverna besvarar kvalitativt. Lärarna går igenom svaren och ger skriftliga kommentarer utan poängsättning. Lärandet förbättras då varje elev ges en specifik handledning i styrkor och svagheter utan att de bedöms med poäng eller vitsord, enligt Black och Wiliam (2002).

Relationen mellan eleven och PDRac-miljön

Enligt Black och Wiliam (2002) kan elever utvärdera sig själva när de har en tillräckligt klar bild av det önskade målet med sitt lärande. Det är väsentligt att de vet var de står för tillfället och på vilket sätt de kan nå målet. Eleverna blir mer engagerade och effektiva om deras utvärdering diskuteras med läraren och parkamraten.

> For formative assessment to be productive, pupils should be trained in self-assessment so that they can understand the main purposes of their learning and thereby grasp what they need to do to achieve (Black & Wiliam, 2002).

I min studie framkom som ett biresultat att en del av eleverna hade svaga förkunskaper som hindrade dem att förstå de dynamiska förloppen. Samtidigt kom det också fram att de var ovana vid att uppgifterna saknade facit.

En förbättring kan åstadkommas om elevens och parkamratens existerande idéer diskuteras tillsammans med läraren så att elevernas förkunskaper lyfts fram. Eleverna får då bättre kontroll på vad de vet och hur deras kunskaper relateras till det som de gått igenom tidigare i kursen och till den information som PDRac-verktyget ger. Läraren måste anpassa hjälpen beroende på om eleven är en s.k. aktiv eller en passiv elev. I formativ utvärdering finns en ”underliggande uppfattning att alla elever kan lära sig effektivare om man genom att agera taktfullt kan ta bort de hinder som satts upp av tidigare svårigheter om det så handlar om kognitiva fel som aldrig diagnostiserats eller om förlusten av personligt självförtroende eller en kombination av de två” (Black & Wiliam, 2002).

Relationen mellan läraren och PDRac-miljön

En anpassning av den s.k. PDRac-undervisningen till den traditionella undervisningen i fysik är nödvändig för att läraren ska kunna variera undervisningen med hjälp av verktyget. En viktig faktor är då lärarnas frivilliga engagemang att åta sig den extra mödan att arbeta med innovationer och få dem att naturligt smälta in i undervisningen. Studien visade att lärarna hade varierande intresse av att anta de utmaningar som fordras då innovationer tas i bruk i lärandemiljön eller att anamma nya sätt att tänka. Varje lärare kan sätta sin personliga prägel på de didaktiska situationerna och deras innehåll. En viktig sak är att utarbeta genomtänkta frågor – med tonvikt på kvalitativa frågor, i stället för enkla faktafrågor – så att eleverna måste reflektera över sitt lärande. De didaktiska situationerna och deras innehåll måste i viss mån omstruktureras, kanske förenklas något, eftersom eleverna behöver mera tid för att lära sig arbeta i PDRac-miljön.

Problemsituationerna, som presenterats i min avhandling, måste omorganiseras något så att de har ett tydligare mål med uppgifter som leder till fundamentalsituationer. Dessa borde genomföras under de didaktiska situationerna i skolan.

En del enklare uppgifter från övningssituationen kan göras till hemuppgifter. Till dessa överförs också de förberedande uppgifterna till begreppsintroduktionen, så att den fundamentala situationen *serieresonansfenomenet* kan genomföras under en didaktisk situation i skolan som en utforskningsuppgift för elevparen. I likhet med det genomförda klassexperimentet är det viktigt att serieresonansfenomenet också härleds teoretiskt i helklassundervisning och demonstreras med hjälp av oscilloskop och RLC-krets. Utvärderingssituationen, som till sin karaktär är mera summativ, måste förenklas om eleverna genomför den enskilt. Alternativt kan man tänka sig att det är elevparen som genomför situationen.

Emellertid kan man konstatera att PDRac-miljön kommer till sin fulla rätt först då eleverna har tillgång till datorer i fysikklassen eller laboratoriet. Problemsituationerna kan bättre integreras i undervisningen då eleverna kan idka parsamarbete vid egna datorer redan i fysikklassen. Att förlägga undervisningen till datasalen skapar avbrott som stör flytet i undervisningen. Dessutom kan man inte garantera att datasalen är ledig just då de viktiga didaktiska situationerna bäst borde genomföras.

Handlednings- och övningsmaterialet måste anpassas till de ovannämnda förändringarna. För närvarande har PDRac-pedagogiken fokuserat på hantering av begrepp och sambandet mellan dem. Eleverna borde liksom i studien konfronteras med kvalitativa fysikproblem – också sådana som har multipla lösningar. Tao (2001, s. 139) tar fram tre positiva effekter med att låta elever konfronteras med lösning av kvalitativa fysikproblem i samarbete med varandra. För det första förbättras elevernas begreppsförståelse och deras problemlösningsfärdigheter utvecklas. För det andra får det eleverna att mer reflektera över det sätt på vilket de närmar sig lärandet av t.ex. fysikaliska principer och problemlösningsstrategier och inte bara över själva innehållet. För det tredje får eleverna möjlighet att se saker på ett annorlunda sätt. De ser att det kan finnas flera lösningar på samma problem och dessutom att det finns andra sätt att lära sig fysik än de traditionella. Ofta konfronteras elever med svårbegripliga kvantitativa beskrivningar av ett område, men de saknar en vetenskaplig, kvalitativ förståelse. Följden blir inte sällan att vardagsuppfattningar vinner insteg. Ett centralt mål i undervisningen borde vara att eleverna tillägnar sig vetenskapligt adekvata kvalitativa begrepp och resonemang (Spada, 1994, s. 115).

Mera praktiska tillämpningsövningar är också viktiga att få in. Sådana är högtalarfilter, frekvensmodulering i radiosändare och -mottagare, generatoreffekter etc. En del uppgifter av denna typ fanns redan i det nämnda övningshäftet, men de kunde av tidsbrist inte användas i samband med klassexperimentet och inte heller efteråt.

Man kan införa tydligare övergångar från det som eleverna förväntas veta till det som för eleverna är nytt och okänt och kanske komplicerat. Problemsituationer

kan avslutas med tips och ledtrådar till de begrepp, fenomen och lagar som förklarar förloppet. Hänvisning kan göras till läroboken eller annan information inom kunskapsområdet. Steg-för-steg-instruktionerna kan småningom lämnas bort och eleven kan gå över till mera självkontrollerade och utforskande operationer.

7.3 Epilog

Det primära syftet med studien har varit att bidra till kunskapen om den komplexa verksamheten att producera datorbaserade verktyg för fysikundervisning, att implementera ett specifikt PDRac-verktyg för undervisningen av växelströmsläran i gymnasiefysiken och att utvärdera verktygets och implementeringens effekter på aktörerna i undervisnings- och lärandeprocessen: eleverna och lärarna. Elektrodynamiken och dess delområde växelströmsläran, som av gymnasieeleverna i fysik betraktas som ett svårt ämnesområde, har mycket sällan varit i fokus i den didaktiska forskningen. Den tudelade empiriska undersökningen omfattade ett klassexperiment med en grupp fysikelever i ett gymnasium och en lärarstudie med fysiklärare som representerade hälften av de finlandssvenska gymnasierna.

7.3.1 Designbaserad forskning i undervisningen

Forskningsmetoden didaktisk ingenjörskonst har utvecklats för att ta hänsyn till komplexiteten i klassfenomen och sambanden mellan lärande och de sociala och institutionella kännetecknen på de miljöer där lärandet äger rum. Ambitionen är att hitta ett sätt att kontrollera några resulterande didaktiska fenomen genom att bestämma didaktiska nyckelvariabler och kontrollera dem. Den didaktiska situationen ses som ett komplex av sociala relationer mellan olika aktörer – elever, elevgrupper och lärare – och [i min studie fysikalisk] kunskap (Artigue, 2000).

Didaktisk ingenjörskonst kan räknas till designbaserad forskning, som är en gemensam beteckning för ett flertal likartade metoder inom undervisningsforskningen. Designbaserad forskning är en teoribaserad empirisk forskning och grundar sig på speciella designer för studiet av kontexter i samband med undervisning och lärande (Sandoval & Bell, 2004, s. 199 -200; Tabak, 2004, s. 226). Målet är att utveckla effektiva lärandemiljöer och använda dem som naturliga laboratorier för att studera lärande och undervisning. I forskningen används ett flertal olika discipliner såsom utvecklingspsykologi, kognitionsvetenskap, lärandevetenskap, antropologi och sociologi. I designen utnyttjas datorvetenskap, läroplansteori, undervisningsdesign och lärarutbildning. Designbaserad forskning studerar innovativa lärandemiljöer som ofta omfattar nya undervisningsteknologier eller andra komplexa angreppssätt i klassrumsmiljö (Sandoval & Bell, 2004, s. 199 –200).

En allmänt förekommande metodologisk frågeställning är spänningen mellan att åstadkomma en funktionsduglig intervention i en komplex miljö och att tillfredsställa forskarens behov av empirisk kontroll. Inte sällan förekommer det att miljön tvingar fram en förändring av interventionen då behovet av förändring dyker upp. Forskaren igen försöker argumentera mot en förändring av ”behandlingen” (Sandoval & Bell, 2004, s. 199 –200). Designbaserad forskning bidrar med ”meningsfulla insikter om hur en mängd lokala variabler interagerar och medverkar till nya, ovanliga sätt att lära, men kan också begränsa vår analytiska lins och göra tillvägagångssättet känsligt för skevheter” (Tabak, 2004, s. 227, egen övers.).

För en forskare som strävar efter maximal stränghet i forskningen är kontextproblemet fundamentalt. I designbaserad forskning påverkas utfallet av designade interventioner, människans psykologi, personliga historia eller personliga erfarenheter och lokal kontext. Det är interaktionen mellan dessa som är forskningens utfall. Forskarna erkänner svårigheterna med experimentell kontroll, eftersom åtskilliga faktorer interagerar för att producera de mätbara utfallen som relateras till lärande (Hoadley, 2004, s. 204). Då forskning rapporterar icke-signifikanta resultat är ineffektivitet i undervisningsbehandlingen en av kanske flera rivaliserande hypoteser. Den mest sannolika orsaken är problem med forskningsdesignen (Rieber, 1994, s. 145). Hoadley (2004) anser att designbaserad forskning och experiment kompletterar varandra på många sätt. Min studie visar detta. Ett resultat av forskningsdesignen var t.ex. de situationsvariabler och personliga variabler som kunde extraheras ur experimentdata.

Ett problem som hör ihop med designbaserad forskning är generaliseringen, vilket beror på att det i allmänhet är relativt få deltagare som är involverade i djupanalyser. Dessutom är det svårt att generalisera beteenden då man vanligen inte kan undvika alternativa förklaringar. Det är svårt att veta vilka kombinationer av interventionens särdrag som bidrar till dess framgång. Likaså är det svårt att generalisera över kontexter på grund av komplexiteten i implementeringen och att identifiera de faktorer som bidrar till framgången. Kontexten är egentligen inte naturlig eftersom den består av forskarens, lärarens och elevernas gemensamma ansträngningar. Forskare deltar i vanliga fall inte i skollivet (O’Donnell, 2004, s. 257).

Människor upplever att de inte kan finna överensstämmelser i designbaserad forskning, vilket beror på att det inte finns någon enskild, bestämd form av detta slag av forskning. Man kan inte heller försöka åstadkomma en sådan, eftersom olika slag av undervisningsfenomen, som spänner över lång eller kort tid med många eller få deltagare, kräver olika forsknings- och designmetoder (Bell, 2004, s. 251).

En av de uppenbara begränsningarna i didaktisk ingenjörskonst som forskningsmetod var ursprungligen att den arbetade med begränsade system, där komplexiteten av elevernas kognitiva beteende gavs erkännande, medan läraren inte betraktades som ett problematiskt subjekt som förtjänade samma uppmärksamhet. Komplexiteten i lärarens roll och hans personliga och institutionella avgöranden togs inte i beaktande. Ett antal svårigheter bidrog till att den förenklade bilden av läraren måste revideras. Sådana svårigheter var att hitta fundamentala situationer (Brousseaus definition) på mer avancerad (matematik)nivå, att bemästra oväntade oförenligheter mellan a priori- och a posteriori-analyserna och att sprida ingenjörsprodukterna, trots att forskningen hade validerat dem. Som en konsekvens av detta förändrades småningom den teoretiska basen, uppfattningen och a priori-analysen av ingenjörsdesigner (Artigue, 2000).

I studien, som avslutas här, organiserades klassexperimentet mera enligt den traditionella formen av didaktisk ingenjörskonst, men som komplement gjordes en parallellundersökning med lärare som respondenter. Denna uppläggning bidrog med värdefull tilläggsinformation om lärarens roll. I föregående avsnitt anteciperades lärarens förstärkta roll i diskussionen om formativ utvärdering. Detta kan bidra till att den didaktiska ingenjörsprodukten, PDRac-miljön, blir en fungerande del av fysikundervisningen.

> Working on the necessary adaptations of experimental products and eventually specific training for possible users, considering the costs of introducing such products, the possible resistance of the institution and its actors and questioning their compatibility with present teaching – all this is necessary if one wants to have a positive action on the educational system (Artigue, 1998, s. 487).

7.3.2 Synpunkter på fortsatt forskning i undervisningen

> The input from secondary school teachers is necessary, not only because they are the potential users of didactic research, but also because they are professional experts: we know well that, in this kind of engineering work, one always has to fill the holes of the scientific work by using empirical and professional knowledge. The educational researchers enable us to take into account the limitations of the didactic perspective (Artigue, 1998, s. 487).

Den didaktiska forskningen i fysikundervisningen på gymnasienivå är inte särskilt starkt företrädd i Svenskfinland. Det finns många orsaker till att t.ex. gymnasielärare inte ger sig in på forskning. I gymnasiet är lärarens arbetstakt hög. Efter en lång arbetsdag återstår inte mycket tid att fördjupa sig i de komplexa frågor som omger forskning i undervisning. Studentexamen, som numera förekommer i full skala två gånger per läsår, styr också undervisningsarbetet så att läraren sällan ges tillräcklig tid att försöka experimentera och implementera egna idéer eller rekommendationer från forskning och teori. Bristen på lärare försvårar möjligheterna att få vikarie under tidsperioder då

läraren känner inspiration att utveckla någonting nytt och bedriva forskning. Inte heller finns sådana forskartjänster som skulle ge en forskande lärare den ekonomiska trygghet som han eller hon önskade.

Enligt White (1998, s. 63) belönas lärarna inte heller för att delta i forskning och det finns inga traditioner som visar aktning för bidragen från lärarens kunnande. Den individuella lärarens isolering betyder att även de framstående bland dem sällan dokumenterar sitt arbete – något som skulle ge tillägg till kunskapen om undervisning.

Att utöva forskning parallellt med undervisning är en verklig utmaning. En annan orsak till att lärarna inte tar allvarligt på forskning i undervisningen är att de ”inte tillräckligt bra förstår de metodologier som används för att bedöma effektiviteten i de processer som ingår” (Taber, 2000, s. 166). Taber hävdar vidare att de etiska frågorna och komplexiteten i undervisningskontexterna inte kan kontrolleras på samma sätt som fysikaliska fenomen. Det gör att läraren lätt tycker att resultaten av olika studier förefaller motsägelsefulla och har litet värde. En grundläggande träning i forskningsmetodologi och kritisk analys av forskningslitteratur borde ingå i lärarnas fortbildning. White (1998, s. 68) hävdar att stöd i form av medverkan från universitetsforskare och från administratörer, som bestämmer lärares arbetsvillkor sådana som timmar, klasstorlekar och friheten att experimentera, är några av de förutsättningar som måste uppfyllas för att höja undervisningens status så att läraryrket blir ett forskningsbaserat yrke. Det kommer alltid att finnas tillräckligt med lärare med förmåga, professionell nyfikenhet och engagemang att arbeta med forskning när de nämnda villkoren uppfylls.

Den didaktiska forskningen som jag har genomfört har varit en lärorik och stor utmaning, större och mer komplicerad än jag någonsin hade föreställt mig. Samtidigt har det funnits intressanta element i forskningsarbetet. Under forskningens gång har olika tankar dykt upp om vad som ytterligare kunde undersökas. Efter att ha bekräftat att det finns en didaktisk potential i PDRac-miljön och att aktörerna – eleverna och lärarna – har uppfattat att lärandet är effektivt i denna miljö är fokus på potentiella forskningsobjekt inriktat mera på själva lärandet i de didaktiska situationerna. Frågor som kunde vara intressanta att ytterligare fördjupa sig i är

- hur elevernas interaktion med PDRac-verktyget verkligen överensstämmer med den antagna didaktiska funktionen, hur eleverna i paret deltar i diskussionen, hur man kan försäkra sig om att diskussionen är produktiv, hur en produktiv diskussion leder till individuellt lärande och hur eleverna använder resonemangsstrategier i flera sekvenser (kedjetänkande) för att förklara fysikaliska fenomen och processer.

- hur eleverna i paret fungerar sinsemellan, hur de arbetar i adidaktiska situationer och hur läraren på ett optimalt sätt kan gå in och stöda lärande-processen.

- hur PDRac-verktygets parallella och dynamiska representationer förmår åstadkomma mentala representationer hos eleverna (jfr Greca & Moreira, 1997).

- hur PDRac-verktygets multipla modeller av växelströmskretsens funktion stöder elevens problemlösningsprocess (jfr Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991).

- huruvida lärandet sträcker sig bortom själva PDRac-verktyget så att eleven kan tillämpa det som har lärts vid datorn i andra situationer (jfr McDermott, 1990, s. 462).

8 Summary

Background

During the last two decades a variety of different computer-based tools have been used in upper secondary schools to represent the dynamic nature of changing variables in physics phenomena. The functionality of spreadsheets, with their powerful facilities for data visualization, can be utilised to design instructional graphics to serve as learning tools. Although the applications were expected to have a didactic potential, their implementation in physics teaching appeared to be a challenging task.

In this study the aim was to develop a computer-based simulation tool, with supplementary working material, to implement the tool in the physics teaching of electrodynamics and to investigate the students' and the teachers' conceptions of learning effectiveness when using the tool.

The methodological framework of the study is based on the French *ingénierie didactique*, didactic engineering. This research method is suitable for handling the complex learning processes in classroom situations and refers to the design, production, observation and analysis of teaching sequences in class (Artigue, 1992; 1994). Didactic engineering relies on the theory of didactical situations introduced by Brousseau (1997). In the thesis a summary version of this theory is introduced. The study is structured in distinct phases according to the research method. These phases were considered suitable for conducting the whole research process.

Preliminary analysis

The first phase in didactic engineering, the preliminary analysis, started with a review of "traditional teaching" and the core of the 1994 physics curriculum. One of the criticisms stated was that the teacher, leaving the students quite passive, dominated the traditional teaching-learning activities. The five main characteristic elements of physics teaching were introduction of a new subject domain, simple calculations using formulae and practice of problem solving, demonstration of the current physics phenomenon, laboratory work, and homework. However, many students liked this kind of structured teaching since they were not used to creating advanced explanations and interpretations of physics processes in detail.

The computer screen as a visual, external representational system can be made dynamic through the learner's interaction with the computer. High-resolution screens can nowadays display parallel representations of graphical and numerical data. In that sense the computer medium can be considered to have a cognitive potential as it can help the student in the formation of internal

representations, i.e., construction and modification of mental models of physical phenomena. Spreadsheet applications can benefit from linking several external representations of different kinds – numerical data in tables, equations, graphs, images, symbols and other iconic elements (lines, arrows, dots, etc.). Graphs are excellent devices in helping the learner interpret pointwise data, trends, speed and changes related to physics phenomena in a qualitative and quantitative way. However, students have difficulties in interpreting graphs and relating concepts in the graphs representing the physical phenomena. Furthermore, making connections between the graphs, the phenomena and reality seem to be problematic.

The alternating current course in the physics curriculum in upper secondary school is considered difficult, as the students are faced with a great number of concepts and sinusoidal graphs. Active participation in using graphs and numerical data as parallel and dynamic representations of induction phenomena in these alternating current circuits (series AC circuits or RLC circuits) is considered to make the students' learning a shared and a more meaningful activity in their construction of knowledge.

This thesis focused on three objectives. Firstly, the design of a computer-based learning software – a tool for parallel and dynamic representation of data – was examined. The tool was constructed with the help of Excel spreadsheets in order to represent numerical and graphical data generated by simple alternating current circuits (the acronym *PDRac* is used for the tool). Secondly, the implementation of the PDRac-tool in didactical situations was analysed. The third objective was to gain insight into the students' conceptions of learning effectiveness when they used the tool in their learning, and the teachers' conceptions of learning effectiveness when they inquired into the didactic potential of the tool. The research questions concerning the third objective were:

*Will the use of the PDRac tool, implemented in didactical situations, affect students' conceptions of learning effectiveness in a positive manner?
*Are there differences between students' conceptions of learning effectiveness in the different modes of didactical situations?
*Will the qualities and the didactic potential of the PDRac tool, and its proposed functioning in varying didactical situations, positively affect the teachers' conceptions of learning effectiveness?

Research design

The research design included choices at the global, or the macro-didactic, level and at the local, or the micro-didactic, level (Artigue, 1992). Three macro-didactic choices were considered relevant: computer technology in physics teaching, the design of a PDRac-tool and the preparation of supporting paper-based material. The first choice concerned issues of hardware/software, organisational issues, methodical and didactic issues and issues of computer

generated multiple representations. The second choice dealt with the design of the PDRac learning tool so that the learner's input of numerical data could cause instantaneous changes of other numerical data and of graphical data represented in parallel. These parallel dynamic representations of alternating current data, retained on the screen, at the same time allowed for multiple ways of formulating problems that could be answered mainly in a qualitative way. Important issues discussed in the design of the computer–user interface were the amount of information on the computer screen at the same time, the possibilities to hide redundant information and the mental processes concerning data input. The third choice concerned the production of paper-based training material. This material was prepared in order to guide the students into adidactical situations. The aim was to get them focused on the physical phenomena helping them to construct their knowledge through personal adaptation. These macro-didactic choices or variables concerned the first objective of the thesis, i.e., computer-based teaching with focus on the production of the PDRac-tool and its supplementary material.

The implementation of the PDRac-tool in didactical situations required that the didactic functioning was analysed in detail. For that purpose I constructed an instrument which could be used to analyse the potential interactions and the information flow between the student and the tool. This instrument was built up combining theories of students' conceptualisation processes, the theory of the student's free production in relation to the adidactic PDRac-milieu and the representational characteristics of the tool.

The local organisation of the teaching included choices which concerned the second objective of the thesis. Among all the potential micro-didactic variables in a teaching setting, three modes of didactical situations were chosen – practice, concept introduction, and assessment. In the *practice* situation the students were studying physical concepts and laws, e.g., the induction phenomenon, Faraday's law of induction and Lenz's law, which already had been taught earlier. They used the PDRac tool to study the behaviour of simple RLC circuits with a sinusoidally varying source of electromotive force, and to elaborate on the relationships between the concepts. New concepts and phenomena were introduced for the first time in the *concept introduction* situation. The students investigated the qualities of the concepts, and they were expected to construct some basic knowledge of RLC circuits in resonance. The problems set up in the didactical situations consisted of conditions that guided the student in the adidactical milieu. The student had to use his and his peer's knowledge and the possibilities that the PDRac-tool could offer in solving the problems, mostly in a qualitative way, by reasoning about what appeared on the computer screen. Finally, the students' understanding of concepts and phenomena was assessed, using a slightly different version of the PDRac tool, focusing mainly on the interpretation of graphs. In this didactical *assessment* situation the students worked individually.

The third objective of the study was to investigate the impact of the PDRac-tool and the learning in the PDRac-milieu on students' and teachers' conceptions of learning effectiveness. The three predefined situation variables (above) with their problem variables were chosen as an independent variable in the class experiment with students. In the teacher study the macro-didactic variables and the micro-didactic variables with the potential learning settings served as input for the teachers' opinions. In both studies the students' and teachers' opinions were measured with a dependent variable named *conceptions of learning effectiveness*. This variable had to be operationalized through indicants relating to the construct. These presumed indicants were motivation, attitude/interest, responsibility, control, achievement, understanding and satisfaction referring to affective aspects, aspects of interplay between students, teacher and the PDRac-milieu, and cognitive aspects in the students' learning situations. The corresponding indicants from the teachers' point of view were motivation, engaged learning, interactivity, role, time investment, achievement, and understanding.

A priori analysis

The phase called a priori analysis consisted of a descriptive part, which laid out the assumptions of the defined didactical situations, and a predictive part, which a priori anticipated how the students would react when they were faced with the learning situations with the PDRac-tool. The students were predicted to have a positive conception of learning effectiveness in the didactical situations with the PDRac-tool. However, this conception was predicted to become more negative across the different didactical situations caused by the different aims, growing difficulties and complexities that characterized these consecutive situations. It was hypothesized that the students would have a negative conception in the assessment situation.

The teachers were predicted to consider the PDRac-milieu as having didactic potential for teaching about AC series circuits. Hence, they were predicted to have a positive conception of learning effectiveness.

Experimentation

A group of twelve physics students (aged 17–18) in an upper secondary school (a Swedish speaking "gymnasium") participated in the class experiment, which was structured according to a quasi-experimental design. The students attended a course in electromagnetism including AC series circuits. The class experiment was organized around the three didactical situations, defined above, with six pairs of students working together in the first two situations, and individually in the third. Quantitative and qualitative data were obtained through observation, questionnaires and interviews. A questionnaire was administered after each of the three situations and the students were asked to rate each of fourteen

statements on a Likert scale. About two weeks after the class experiment the students were interviewed.

In the teacher study a package, consisting of the PDRac-tool, the teachers' guide, the students' training material and a questionnaire, was administered to the physics teachers in the Swedish speaking upper secondary schools. Eighteen teachers participated in the study. Their task was to test the PDRac-tool itself and also together with the students' material. Based on their acquired experiences they gave their opinions about the didactic potential of the tool.

The Likert-type rating scale 1 ... 5 in the questionnaire was transformed into the interval –2 ... 2 in order to define the answers as negative or positive conceptions of learning effectiveness. The calculated average scores were attributed to students as a total effectiveness score, a score for each of the didactical situations and for each of the effectiveness indicants. In the case of teachers the scores were calculated from two perspectives, the macro- and the micro-didactic variables, defined above.

A posteriori analysis

The results from the *class experiment* showed that the PDRac-milieu affected the students' conceptions of learning effectiveness positively, with an average total score of 0.55. The students scored 0.74 for the practice situation, 0.58 for the concept introduction situation and 0.32 for the assessment situation. The differences between these average scores were not significant. The effectiveness score from the assessment situation was more positive than expected.

A deeper analysis of the qualitative and the quantitative data resulted in a number of situational variables, among which the peer collaboration in the first two didactical situations was of particular interest. The analysis showed that one of the peers in each pair was more active than the other. The more active students took more initiative in coming up with new ideas, explaining, managing the discussion, coping with the computer, and working systematically with the tasks than did the less active ones. The less active students listened and took part in the discussion, but became sometimes absorbed in their own thoughts. Some of them also made less effort in the tasks. The analysis revealed that the more active and engaged peers had positive and stable conceptions of learning effectiveness in each of the didactical situations (average scores 0.89, 0.81, and 0.86, respectively). The less active students' conceptions, on the other hand, changed significantly from medium to negative as the didactical situations grew more and more difficult (average scores 0.58, 0.35, and –0.21, respectively). In the assessment situation the difference between the effectiveness scores of the more active and the less active students was significant. This resulted in an ad hoc conclusion that the decrease in the effectiveness scores seemed to concern only the less active students.

The results from the *teacher study* showed that the macro- and micro-didactic variables – the didactic potential of the PDRac-tool and the hypothetical student learning in the PDRac-milieu – affected the teachers' conceptions of learning effectiveness positively. The respective scores were 0.59 and 0.36 – a significant difference.

The results of the parallel student and teacher study could be compared because similar indicants of learning effectiveness from the studies were grouped together in aspects of affect, interaction and cognition. This comparison showed that the PDRac-milieu had the greatest impact on both the students' and the teachers' affective variables and the least impact on the efectiveness variables concerning interaction.

Based on the results, the students and teachers were divided into categories which reflected the respondents' conceptions of learning effectiveness at a low, medium, or high level. This analysis also showed a similar outcome. The low-level students and teachers did not believe that the PDRac-milieu could promote effectiveness in the learning process. The indicants control, understanding, teacher–student role and time investment had the lowest scores. On the other hand, the high-level students and teachers scored high on attitude/interest, responsibility, achievement, interactivity, motivation and understanding.

Validation of the empirical studies

The last phase in didactic engineering is the validation phase, in which the empirical investigations and the PDRac-product were under scrutiny. In the former case the validity was based on a confrontation between the a priori and the a posteriori analyses of the didactical situations (Artigue & Perrin-Glorian, 1991). Although the validation in didactic engineering is fundamentally internal, the validation in this thesis was carried out in three stages – conclusion validity, internal validity and construct validity.

Conclusion validity could be determined as the degree to which conclusions about relationships in the data were reasonable, in accordance with Trochim (2000). Based on the data from the class experiment, I concluded that there was a relationship between the micro-didactic variables and the students' conceptions of learning effectiveness. This was supported partly by the correspondence between the results analysed a posteriori and the hypotheses formulated in the a priori analysis. However, one of the hypotheses – that the students' conceptions of learning effectiveness would be negative in the assessment situation – was not supported by the data. In fact, a deeper analysis showed that this hypothesis was relevant only for the less active students in the pairs, but not for the active ones.

Experimental control is difficult in the complexity of a real classroom and makes it hard to ensure that a treatment is identical across situations (Hoadley, 2004). Therefore the research design in my study made it a challenging task to assure that I had reached the correct conclusion about the relationship in the observations. It involved minimising the influence of the threats to conclusion validity. The experiment design – a repeated measures design in which each subject served in all of the experimental conditions – was appropriate for investigating changes and trends. Therefore the threat of random heterogeneity from the respondents could be ruled out, thus strenghtening the relationship. In spite of some small deficiencies in the test instrument, it could be considered accurate. A particular effort was made to describe the test procedure in detail, and the treatment implementation followed the prescribed procedures, ensuring an adequate reliability. However, the statistical power, which depends on sample size, effect size and significance level, could not be kept high in this design. One of the factors that had most influence on the low statistical power was the small sample size (physics groups in Swedish speaking provincial upper secondary schools are usually small). Another factor was that these kinds of computer-based teaching programs usually have small effect sizes. However, the conclusion reached was also considered to be supported by the qualitative data.

Internal validity refers to the claim that the PDRac-milieu caused the changes in the students' and the teachers' conceptions of learning effectiveness. Two criteria were satisfied. Firstly, there was a relationship between the micro-didactic variables and the conceptions, and, secondly, the effect occurred after the PDRac-learning was implemented. However, the third criterion – to avoid plausible alternative hypotheses – was more challenging to satisfy, but my efforts to safeguard against the variety of threats to internal validity were considered quite successful. However, there were some imperfections in the test instrument and indications of maturation, but they were believed to have a negligible effect on the result.

The effectiveness scores decreased from the practice situation via the introduction situation to the more complex assessment situation, as hypothesized. The situational variables extracted through the data analysis gave rise to an optional pattern in the micro-didactic variables. These situation variables were, in short, defined as the different characteristics of the didactical situations, the adidactical situations with qualitative reasoning, peer collaboration, parallel dynamic representations of data on the computer screen, the interactive dynamics, and the role of the training material. Moreover, individual internal variables of the students could be found in the data. These variables were, e.g., the students' previous physics knowledge, their attitude to physics and self efficacy. Variations in the degree of difficulty in the didactical situations and variations in the situational variables were considered as evidence of causes of the outcome. These variations could also be filtered by the internal variables of the individuals and hence serve as a weak, but alternative

explanation of the causes. There was enough evidence for me to conclude that there was a causal relationship in the student study. Furthermore, the use of different methods, i.e., triangulation, added more strength to the findings.

In the teacher study the evidence for internal validity was based on confidence in the teachers' way of participating in the study. The data showed a pattern in the macro-didactic variables. Some factors were the different qualities of the PDRac-tool, the teachers' engagement in innovations, their experiences with computers and their views of student learning with computers. It was possible to conclude that the teachers' studies of the PDRac-tool and the supplementary materials caused the teachers' conceptions of learning effectiveness.

Construct validity refers to the claim that the implemented program reflected well my construct of the PDRac-milieu, and that the measurements reflected well the conception of learning effectiveness, the effect variable. Concerning the micro-didactic variables, I strived for a thorough and detailed operationalization of the problem situations in the three didactical situations with their different characteristics and specific aims. In that sense my efforts to cope with the threats ended successfully. The explication of the seven indicants that defined the effect variable was theory-laden in order to establish a good content validity. Implementing multiple measures of the effect variable provided evidence that I was measuring the desired construct of learning effectiveness and hence avoiding the threat of mono-method bias. The different threats to construct validity were considered negligible, and I could conclude that the generalization from the program, the PDRac-milieu, and the measurements of my concept of the program and my construct *conception of learning effectiveness* was successful.

Product validation

Product validity (Balci et al., 2000) involves assessment that deals with the representational or behavioural accuracy of the PDRac-product. This form of validation addressed the question of "Had I constructed the right product?" This was closely related to concepts of affordance, usability and usefulness. Firstly, the product validation concerned the use of computer technology in physics teaching, which was considered a macro-didactic variable and analysed in the global choices of the research design. The study showed that the teachers occasionally used computer-based measuring – some of the teachers combined it with data logging with calculators. A few simulation programs were also used. Most of the teachers used computers to a very limited extent. The determining factors appeared to be the teacher her-/himself, the constitution of the student group and the optimal point of time when it was considered appropriate to use computer-based teaching. Indeed, many teachers hoped to be able to increase the use of computers. The sceptical teachers with low effectiveness level did not believe in the possibilities of computers to engage students in their physics learning, but the crucial factor was the time the teachers would have to invest in

their teaching preparations. On the other hand, the teachers with a high effectiveness level did not bother about this time factor. However, many teachers believed that the students generally were both skilled and motivated in working in the "digital world". An important presupposition was that the students, in order to succeed in computer-based physics learning, had acquired a sound previous knowledge and a real interest in deepening their knowledge.

The second object for product validity was the PDRac-tool, which was a hybrid of two artefacts: a simulation tool and a virtual experiment tool. The validation process was carried out with the help of Rieber's (1994) principles of software design for computer-based instruction concerning the types of graphics and the purpose of the instructional applications. The aim was to identify specific affordances and their potential for supporting learning. In order to ensure the usefulness of the PDRac-tool it was important to let the teaching and learning process direct the development of the product. The PDRac-product, which also included supplementary written material, was designed to promote the students' understanding of and qualitative reasoning about AC series circuits by making use of parallel and dynamic representations of different kinds of data. Some examples of the three types of graphics are given in the thesis. The *representational graphics* included, e.g., the RLC-circuit with its components, resistor, inductor and capacitor. These shared some resemblance with the real objects they represented. *Analogical graphics*, like arrows, were used to illustrate the voltage across the components. Buttons were used in order to insert the components into the circuit and to change the physical properties of the components, e.g. the resistance of the resistor. The use of analogical graphics presupposed that the abstract concepts could be correctly interpreted and understood by the learner. *Arbitrary graphics*, which illustrated conceptual relationships, were data tables and graphs in Cartesian coordinate systems.

Applications with affective functions have cosmetic and motivational purposes. Different types of numerical and graphical data were associated with specific colours to add some decoration and make the PDRac screen more attractive, but also to make it more readable and gain student attention. However, the amount of data was a problematic issue, due to the chance of distraction effects, which could pose threats to learning. The PDRac-tool was provided with the possibility for the user to hide redundant information, especially numerical tables and graph windows. This issue was, nevertheless, subject to critical comments from some of the teachers and students. In this case the users could have been more selective and utilised only the information that was relevant at the moment in the learning process. With reference to the motivating attraction of the PDRac graphics, the study showed that the novelty effect came out quite strongly. In fact, many students found this tool motivating because of the new and innovative ways of solving problems.

The parallel and dynamic representations of the graphical and numerical data with highly interactive visual displays had attention-gaining, presentational, and practical purposes, serving a cognitive function. Examples of the attention-gaining applications were the double, time dependent graph of voltage and current in the same coordinate system and the tangent to the graph of the electric current. The latter was a special feature of the display that is not available on an oscilloscope display. When used in a presentation and in the practice of techniques these features offered many opportunities for presenting or elaborating facts, concepts, and principles in AC series circuits. In combination with supporting paper-based material the purpose was to guide the students to attend to the most critical features of the screen display and make them study how changes in one physical quantity had influence on other quantities.

The goal of the activities in the didactical *practice* situation was to practice recently learned knowledge and skills, a learning process with a more deductive approach. In the *concept introduction* situation the goal was to acquire new knowledge utilizing the visual, dynamical representations of an AC circuit in resonance, with its corresponding conditions. This didactical situation was more explorative, thus having a more inductive approach to learning. The *assessment* situation concentrated on solving problems based on the interpretation of time dependent graphs. Paper-based material, which accompanied the technical and representational possibilities, enhanced the usefulness of the PDRac-tool. The congruence between these affordances and the aim of the learning tasks made the simulation more structured and aimed at focusing the learning process.

Finally, the most obvious advantages of learning in the described PDRac-milieu were the following. Working with the PDRac-tool could complement traditional teaching: it promoted qualitative reasoning and student discussion, it was usable as a device suitable for individualization, it could function as a bridge between physics theory and experiments, and it could simulate measurement instruments with additional features that utilised the advantages of a spreadsheet. The PDRac-tool could be used in didactical, adidactical and non-didactical situations. It was considered appropriate for a different approach to the teaching of physics and for changing the students' view of their learning. It required that the teachers take the risk of investing more time in teaching preparation and see themselves as facilitators of the students' learning process.

However, the greatest benefits of such a teaching milieu come when the computers are moved into the physics classroom or laboratory, where the teaching takes place, so that every student or pair of students has access to a computer. Then the students can integrate the tool smoothly into the ongoing teaching-learning process. But this is also dependent on physical properties, e.g., the size of the computers representing the variety of data needed to promote learning of complex physical phenomena.

Referenser

Ainsworth, S. E., Bibby, P. A., & Wood, D. J. (1998). Analysing the Costs and Benefits of Multi-representational Learning Environments. In M. W. van Someren, P. Reimann, H. P. A. Boshuizen, & T. de Jong (Eds.). *Learning with Multiple Representations* (ss. 120–134). Oxford: Elsevier Science.

Aksela, M. (2005). *Supporting Meaningful Chemistry Learning and Higherorder Thinking through Computer-Assisted Inquiry: A Design Research Approach.* Academic Dissertation. Department of applied sciences of education. University of Helsinki.

Alonso, D. L., & Norman, K. L. (1996). Forms of control and interaction as determinants of lecture effectiveness in the electronic classroom. *Computers & Education, 27,* 205–214.

Ames, C. (1992). Classrooms: Goals, Structures, and Student Motivation. *Journal of Educational Psychology, 84,* 261–271.

Ames, C., & Archer, J. (1988). Achievement Goals in the Classroom: Students' learning Strategies and Motivation Processes. *Journal of Educational Psychology, 80,* 260–267.

Anderson, L. W. (1988). Likert Scales. In J. P. Keeves (Ed.), *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook* (ss. 427–428). Oxford, England: Pergamon Press.

Artigue, M. (1992). Didactic engineering. In R. Douady & A. Mercier (Eds.), *Research in Didactique of Mathematics* (ss. 41–66). Grenoble: La Pensée Sauvage.

Artigue, M. (1994). Didactical engineering as a framework for the conception of teaching products. In R. Biehler, R. W. Scholz, R. Sträßer, & B. Winkelmann (Eds.), *Didactics of Mathematics as a Scientific Discipline,* (ss. 27–39). Dordrecht, Holland: Kluwer.

Artigue, M. (2000, January). *Didactic engineering and the complexity of learning processes in classroom situations.* Paper presented at Förkonferensen till Matematikbiennalen 2000 om matematikdidaktisk forskning, Göteborg, Sverige.

Artigue, Michèle (2002). What can we learn from educational research at the university level? In Derek Holton et al. (Eds.), *The Teaching and Learning of Mathematics at University Level: An ICMI Study* (ss. 207–220). The Netherlands: Kluwer.

Artigue, M., & Lagrange, J-B. (1997). Pupils Learning Algebra with DERIVE. A Didactic Perspective. *Zentralblatt für Didaktik der Mathematik, 4,* 105–112.

Artigue, M., & Perrin-Glorian, M-J. (1991). Didactic Engineering, Research and Development Tool: some Theoretical Problems linked to this Duality. *For the Learning of Mathematics, 11,* 13–18.

Ashcraft, M. H. (1998). *Fundamentals of Cognition.* New York: Longman.

Bacon, R. A. (1993). The Computers in Teaching Initiative: a view from the Physics Centre. *Physics Education, 28,* 97–101.

Balci, O., Ormsby, W. F., Carr, III, J. T., & Saadi, S. D. (2000). Planning for Verification, Validation, and Accreditation of Modeling and Simulation Applications. In J. A. Joines, R. R. Barton, K. Kang, & P. A. Fishwick (Eds.), *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference* (ss. 829–839). Piscataway, New Jersey: Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc.

Bandura, A. (1993). Perceived Self-Efficacy in Cognitive Development and Functioning. *Educational Psychologist, 28,* 117 - 148.

Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: the exercise of control.* New York: W.H. Freeman and Company.

Barbieri, M. S., & Light, P. H. (1992). Interaction, gender, and performance on a computer-based problem solving task. *Learning and Instruction, 2,* 199–213.

Barell, J. (1995). *Critical Issue: Working Toward Student Self-Direction and Personal Efficacy as Educational Goals* [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.ncrel.org/skrs/areas/issues/students/learning/lr200.htm

Barton, R. (1998). Why do we ask pupils to plot graphs? *Physics Education, 33,* 366–367.

Beaufils, D., Le Touzé, J-C., & Blondel, F-M. (1994). Images as a basis for computer modelling. *Physics Education, 29,* 89–93.

Beichner, R. J. (1990). The Effect of Simultaneous Motion Presentation and Graph Generation in a Kinematics Lab. *Journal of Research in Science Teaching, 27,* 803–815.

Beichner, R. J. (1994). Testing student interpretation of kinematics graphs. *American Journal of Physics, 62,* 750–762.

Beichner, R. J. (1995). *Considering Perception and Cognition in the Design of an Instructional Software Package* [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.physics.umd.edu/perg/perow.htm

Beichner, R., Bernold, L., Burniston, E., Dail, P., Felder, R., Gastineau, J., & Gjertsen, M. (1999). Case study of the physics component of an integrated curriculum. *Am. J. Phys. Suppl., 67,* 16–24.

Bell, P. (2004). On the Theoretical Breadth of Design-Based Research in Education. *Educational Psychologist, 39,* 243–253.

Berg, C. A., & Smith P. (1994). Assessing Students' Abilities to Construct and Interpret Line Graphs: Disparities between Multiple-Choice and Free-Response Instruments. *Scence Education, 78,* 527–554.

Bjereld, U., Demker, M., & Hinnfors, J. (2002). *Varför vetenskap? Om vikten av problem och teori i forskningsprocessen* (andra uppl.). Lund: Studentlitteratur.

Black, P., & Wiliam, D. (2001). Theory and Practice in the Development of Formative Assessment. In J-O. Lindström (Ed.) *Notes from the second International SweMas Conference, Umeå, May 15–16, 2001* (ss. 73–103). Umeå Universitet. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.umu.se/edmeas/publikationer/pdf/emno38.pdf

Black, P., & Wiliam, D. (2002). *Inside the Black Box. Raising Standards Through Classroom Assessment.* Unpublished manuscript, King's College, London: School of Education. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.kcl.ac.uk/depsta/education/publications/blackbox.html

Blomhøj, M. (1994). Ett osynligt kontrakt mellan elever och lärare. *Nämnaren, 21,* 36–43.

Boekaerts, M. (1998). Do Culturally Rooted Self-Construals Affect Students' Conceptualization of Control Over Learning? *Educational Psychologist, 33,* 87–108.

Bolander, L. (1995). *IT i skolan.* (Rapport nr 100). Stockholm: TELDOK.

Bonniers svenska ordbok (1994). Stockholm: Bokförlaget Bonnier Alba.

Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (Eds.). (1999). *How People Learn: Brain, Mind, Experience and School.* Washington D.C.: National Academy Press. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://books.nap.edu/html/howpeople1/index.html

Brasell, H. (1987). The Effect of Real-Time Laboratory Graphing on Learning Graphic Representations of Distance and Velocity. *Journal of Research in Science Teaching, 24,* 385–395.

Brophy, J. (1999). Toward a Model of the Value Aspects of Motivation in Education: Developing Appreciation for Particular Learning Domains and Activities. *Educational Psychologist, 34,* 75–85.

Brousseau, G. (1997). *Theory of Didactical Situations in Mathematics.* Dordrecht: Kluwer.

Brown, J. S. (1983). Learning-by-doing revisited for electronic learning environments. In M. A. White (Ed.), *The future of electronic learning* (ss. 13-32). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Brunt, G. (1998). Questions of sign. *Physics Education, 33,* 242–249.

Buty, C., Tiberghien, A., & Le Maréchal, J-F. (2004). Learning hypotheses and an associated tool to design and to analyse teaching–learning sequences. *International Journal of Science Education, 26*, 579–604.

Byers, V., & Herscovics, N. (1977). Understanding School Mathematics. *Mathematics Teaching, 81,* 24–27.

Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1966). *Experimental and quasi-experimental designs for research.* Chicago: Rand McNally College Publishing Company.

Carlsson, B. (1997). *Grundläggande forskningsmetodik för medicin och beteendevetenskap* (andra uppl.). Stockholm: Liber.

Carson, S. R. (1995). Spreadsheets as dynamical modelling tools in investigations at GCSE and beyond. *Physics Education, 30,* 89–94.

Carson, S. R. (1998). Relativity on a spreadsheet. *Physics Education, 33,* 13–19.

Cheng, P. C-H. (1999). Interactive Law Encoding Diagrams for learning and instruction. *Learning and Instruction, 9,* 309–325.

Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R., & Schauble, L. (2003). Design Experiments in Educational Research. *Educational Researcher, 32,* 9–13. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.aera.net/pubs/er/toc/er3201.htm

Cohen, J. (1988). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.). Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Cohen, L., & Manion, L. (1994).*Research methods in education* (4th ed.). London and New York: Routledge.

Cook, T. D., & Campbell, D. T. (1979). *Quasi-Experimentation. Design & Analysis Issues for Field Settings.* Boston, Dallas: Houghton Mifflin.

Cooke, B. A. (1997). Some ideas for using spreadsheets in physics. *Physics Education, 32,* 80–87.

Dahland, G. (1993). *Datorstöd i matematikundervisningen. En studie av förutsättningar för förändring av en traditionsrik skolmiljö.* (Rapport nr 1993:08). Sverige: Göteborgs universitet, Institutionen för pedagogik.

Damon, W., & Phelps, E. (1989). Critical distinction among three approaches to peer education. *International Journal of Educational Research, 13*, 9 - 19.

Davis, T. M., & Murrell, P. H. (1994). Turning Teaching into Learning. The Role of Student Responsibility in the Collegiate Experience. *ED372702, ERIC Digest.*

Deci, E. L., & Ryan, R. M. (1994). Promoting Self-determined Education. *Scandinavian Journal of Educational Research, 38,* 3–14.

Deci, E. L., Vallerand, R. J., Pelletier, L. G., & Ryan, R. M. (1991). Motivation and Education: The Self-Determination Perspective. *Educational Psychologist, 26,* 325–346.

De Landsheere, V. (1988). Achievement Testing. Taxonomies of Educational Objectives. In J. P. Keeves (Ed.), *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook* (ss. 427–428). Oxford, England: Pergamon Press.

diSessa, A. A. (1987). The third revolution in computers and education. *Journal of Research in Science Teching, 24,* 343–367.

Dobson, M. (1999). Information enforcement and learning with interactive graphical systems. *Learning and Instruction, 9,* 365–390.

Doerr, H. M. (1997). Experiment, simulation and analysis: an integrated instructional approach to the concept of force. *International Journal of Science Education, 19,* 265–282.

Dufour-Janvier, B., Bednarz, N., & Belanger, M. (1987). Pedagogical Considerations Concerning the Problem of Representation. In C. Janvier (Ed.), *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* (ss. 109–122). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Duit, R., & Confrey, J. (1996). Reorganizing the Curriculum and Teaching to Improve Learning in Science and Mathematics. In D. F. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics* (ss. 79–93). New York: Teachers College Press.

Duit, R., Treagust, D. F., & Mansfield, H. (1996). Investigating Student Understanding as a Prerequisite to Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics. In D. F. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics* (ss. 17–31). New York: Teachers College Press.

Egidius, H. (2005). *Psykologilexikon* (tredje utgåvan). Stockholm: Natur och kultur.

Eklund, B. (1995). Prova kalkylprogram i fysikundervisningen. *Datorn i Utbildningen,* (3), 44–45.

Eklund, B. (1999a). *PDRac i växelströmsläran i gymnasiet. Lärarhandledning.* (Opublicerat handledningsmaterial.)

Eklund, B. (1999b). *PDRac i växelströmsläran i gymnasiet. Elevhandledning, övningar.* (Opublicerat handledningsmaterial.)

Eklund, B. (2000). *Gymnasiet och dess roll i den "virtuella" utbildningskontexten. Fallstudie i ett finlandssvenskt gymnasium.* Opublicerat manuskript, Institutionen för lärarutbildning, Åbo Akademi, Vasa, Fortbildningscentralen vid Österbottens högskola.

Elby, A. (1999). Another reason that physics students learn by rote. *Am. J. Phys. Suppl., 67,* 52–57.

Embse, C. V., & Yoder, V. W. (1998). Multiple Representations and Connections Using Technology. *The Mathematics Teacher, 91,* 62–67.

Entwistle, N. (1988). *Styles of learning and teaching.* London: Fulton.

Flick, L. B. (1990). Interaction of intuitive physics with computer-simulated physics. *Journal of Research in Science Teaching, 27,* 219–231.

Fraser, B. J., & Fisher, D. L. (1982). Effects of anxiety on science-related attitudes. *European Journal of Science Education, 4,* 441–450.

Fraser, B. J., & Tobin, K. (1991). Combining Qualitative and Quantitative Methods in Classroom Environment Research. In B. J. Fraser & H. J. Walberg (Eds.), *Educational Environments. Evaluation, Antecedents and Consequences* (ss. 271–292). Oxford, England: Pergamon Press.

Friedler, Y., Nachmias, R., & Linn, M. C. (1990). Learning scientific reasoning skills in microcomputer-based laboratories. *Journal of Research in Science Teaching, 27,* 173–191.

Gibson, J. J. (1979). *The Ecological Approach to Visual Perception.* Boston, MA: Houghton Mifflin.

Gill, P. (1999). The physics/maths problem again. *Physics Education, 34,* 83–87.

Goldberg, F., & Bendall, S. (1996). Computer-Video-Based Tasks for Assessing Understanding and Facilitating Learning in Geometrical Optics. In D. F. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics* (ss. 54–64). New York: Teachers College Press.

Goldenberg, E. P. (1995). Multiple Representations: A Vehicle for Understanding Understanding. In D. N. Perkins, J. L. Schwartz, M. Maxwell West, & M. Stone Wiske (Eds.), *Software goes to school: Teaching for understanding with new technologies* (ss. 155–171). New York: Oxford University Press.

Goldin, G. A. (1987). Cognitive Representational Systems for Mathematical Problem Solving. In C. Janvier (Ed.), *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* (ss. 125–145). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Goldin, G. A. (1998). Representational Systems, Learning, and Problem Solving in Mathematics. *Journal of Mathematical Behavior, 17,* 137–165.

Goldin, G. A., & Kaput, J. J. (1996). A Joint Perspective on the Idea of Representation in Learning and Doing Mathematics. In L. P. Steffe & P. Nesher (Eds.), *Theories of Mathematical Learning.* Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.

Gravemeijer, K. (1994). Educational development and developmental research in mathematics education. *Journal of Research in Mathematics Education, 25,* 443–471.

Gravemeijer, K. (1998). Developmental research as a research method. In A. Sierpinska & J. Kilpatrick (Eds.), *Mathematics Education as a Research Domain: A Search for Identity* (ss. 277–295). London: Kluwer.

Grayson, D. J., & McDermott, L. C (1996). Use of the computer for research on student thinking in physics. *American Journal of Physics, 64,* 557–565.

Greca, I. M., & Moreira, M. A. (1997). The kinds of mental representations– models, propositions and images – used by collage physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education, 19,* 711–724.

Gredler, M. E. (1996). Educational games and simulations: a technology in search of a (research) paradigm. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology. A project of the association for educational communications and technology* (ss. 521–540). New York: Macmillan Publishing Company.

Greenberg, R., Raphael, J., Keller, J. L., & Tobias, S. (1998). Teaching High School Science Using Image Processing: A Case Study of Implementation of Computer Technology. *Journal of Research in Science Teaching, 35,* 297–327.

Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding Models and their Use in Science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science Teaching, 28,* 799–822.

Grunderna för gymnasiets läroplan 1994. Utbildningsstyrelsen.

Guisasola, J., Barragués, J. I., Valdés, P., Valdés, R., & Pedroso, F. (1999). Getting students familiar with the use of computers: study of the falling of a body in a fluid. *Physics Education, 34,* 214–219.

Haapasalo, L. (1996). Kättä pidempää konstruktivismin toteuttamiseksi. I M. Ahtee, J. Lavonen, & V. Meisalo (red.) (1996). *Opettajankoulutuksen uudet haasteet.* XIII Matematiikan ja luonnontieteiden opetuksen tutkimuksen päivät Helsingissä 21–23.9.1995. Tutkimuksia 162. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos.

Halliday, D., Resnick, R., & Krane, K. S. (1992). *Physics.* New York: John Wiley & Sons.

Halloun, I. (1998). Schematic Concepts for Schematic Models of the Real World: The Newtonian Concept of Force. *Science Education, 82,* 239–263.

Hanrahan, M. (1998). The effect of learning environment factors on students' motivation and learning. *International Journal of Science Education, 20,* 737–753.

Hassmén, P., & Koivula, N. (1996). *Variansanalys*. Lund: Studentlitteratur.

Hestenes, D. (1992). Modeling games in the Newtonian World. *American Journal of Physics, 60,* 732–748.

Heuer, D. (1996). Konzepte für Systemsoftware zum Physikverstehen. *Praxis der Naturwissenschaften – Physik, 45,* 2–11.

Hicks, R. B., & Laue, H. (1989). A computer-assisted approach to learning physics concepts. *American Journal of Physics, 57,* 807–811.

Hisano, J., & Utges, G. (2001). Simulation about electric field and potential. A study of its effectiveness in the construction of conceptual models. In R. Pinto & S. Surinach (Eds.). *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000. Selected Contributions* (ss. 641–644). Paris: Elsevier Editions.

Hoadley, C. M. (2004). Methodological Alignment in Design-Based Research. *Educational Psychologist, 39,* 203–212.

Holmberg, P., Tikkinen, J., & Westerlund, G. (1986). *Fysik för gymnasiet. Kurs 6. Elektrodynamik och elektronik.* Helsingfors: Söderströms.

Husman, J., & Lens, W. (1999). The Role of the Future in Student Motivation. *Educational Psychologist, 34,* 113–125.

Hämäläinen, A. (1998). *An open computer-based laboratory system for perceptional experimentality.* Academic Disseratation. University of Helsinki. Report series in physics, HU-P-D70.

Härnqvist, K. (1966). *Tillämpad psykologi.* Stockholm: Almqvist & Wiksell.

Janvier, C. (1987a). Conceptions and Representations: The Circle as an Example. In C. Janvier (Ed.), *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* (ss. 147–158). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Janvier, C. (1987b). Representation and Understanding: The Notion of Function as an Example. In C. Janvier (Ed.), *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* (ss. 67–71). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Janvier, C. (1987c). Translation Processes in Mathematics Education. In C. Janvier (Ed.), *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* (ss. 27–32). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Johansen, G. A., Nordtvedt, J. E., & Vold, P. (1993). ElPed: An interactive PC-based learning program for basic electrical circuits. *Computers in Physics, 7,* 577–584.

Johnson-Laird, P. N. (1988). *The Computer and the Mind. An Introduction to Cognitive Science.* Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.

Jones, B. F., Valdez, G., Nowakowski, J., & Rasmussen, C. (1995). *Plugging in: Choosing and using educational technology.* Washington, DC: Council for Educational Development and Research, and North Central Regional Educational Laboratory. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.ncrel.org/sdrs/edtalk/toc.htm

de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning With Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research, 68,* 179–201.

de Jong, T., Martin, E., Zamarro, J-M., Esquembre, F., Swaak, J., & van Joolingen, W. R. (1999). The Integration of Computer Simulation and Learning Support: An Example from the Physics Domain of Collisions. *Journal of Research in Science Teaching, 36,* 597–615.

Joyce, B., & Weil, M. (1980). *Models of teaching* (2nd ed.). New Jersey: Prentice-Hall, Englewood Cliffs.

Juuti, K. (2005). Towards Primary School Physics Teaching and Learning: Design Research Approach. Academic Dissertation. Department of applied sciences of education. University of Helsinki. Research report 256.

Järvelä, S., & Niemivirta, M. (1999). The changes in learning theory and the topicality of the recent research on motivation. *Research Dialogue in Learning and Instruction, 1,* 57–65.

Kaput, J. J. (1987). Towards a Theory of Symbol Use in Mathematics. In C. Janvier (Ed.), *Problems of Representation in the Teaching and Learning of Mathematics* (ss. 159–195). Hillsdale, New Jersey: Erlbaum.

Kaput, J. J. (1992). Technology and mathematics education. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of research on mathematics teaching and learning* (ss. 515–556). New York, NY: MacMillan.

Kelly, A. E. (2003). Research as Design. *Educational Researcher, 32,* 3–4. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.aera.net/uploadedFiles/Journals_and_Publications/Journals/Educational_Researcher/3201/3201_Kelly.pdf

Kelly, G. J., & Crawford, T. (1996). Students' Interaction with Computer Representations: Analysis of Discourse in Laboratory Groups. *Journal of Research in Science Teaching, 33,* 693–707.

Kerlinger, F. N. (1986). *Foundations of Behavioral Research (3nd ed.)* New York: Holt, Reinhart and Winston.

Kinzie, M. B., Sullivan, H. J., & Berdel, R. L. (1988). Lerner Control and Achievement in Science Computer-Assisted Instruction. *Journal of Educational Psychology, 80,* 299–303.

Kirschner, P., & Huisman, W. (1998). 'Dry laboratories' in science education; computer-based practical work. *International Journal of Science Education, 20,* 665–682.

Koballa, T. R., Jr. (1988). Attitude and Related Concepts in Science Education. *Science Education, 72,* 115–126.

Koper, R. (1995). PROFIL: a method for the development of multimedia courseware. *British Journal of Educational Technology, 26,* 94–108.

Koschmann, T. D., Myers, A. C., Feltovich, P. J., & Barrows, H. S. (1994). Using Technology to Assist in Realizing Effective Learning and Instruction: A Principled Approach to the Use of Computers in Collaborative Learning. *The Journal of the Learning Sciences, 3,* 227 - 264.

Kozma, R. B. (1991). Learning With Media. *Review of Educational Research, 61,* 179–211.

Kurki-Suonio, K., & Kurki-Suonio, R. (1994). *Fysiikan merkitykset ja rakenteet.* Helsingfors: Limes ry.

Kvale, S. (1997). *Den kvalitativa forskningsintervjun.* Lund: Studentlitteratur.

Lavonen, J. (1996). *Fysiikan opetuksen kokeellisuus ja mittausautomaatio.* Academic Dissertation. Department of Physics. University of Helsinki.Report series in physics. HU-P-D64.

Lavonen, J., Aksela, M., Juuti, K. & Meisalo, V. (2003). Designing a user-friendly microcomputer-based laboratory package through the factor analysis of teacher evaluations. *International Journal of Science Education, 25,* 1471–1487.

Layton, D. (1993). *Technology's challenge to science education.* Buckingham, Great Britain: Open University Press.

Lee, K-T. (1997). Impediments to good computing practice: some gender issues. *Computers & Education, 28,* 251–259.

Lee, S-S., & Lee, Y. H. K. (1991). Effects of Learner-Control Versus Program-Control Strategies on Computer-Aided Learning of Chemistry Problems: For Acquisition or Review? *Journal of Educational Psychology, 83,* 491–498.

Lehtinen, E., Vauras, M., Salonen, P., Olkinuora, E., & Kinnunen, R. (1995). Long-Term Development of Learning Activity: Motivational, Cognitive, and Social Interaction. *Educational Psychologist, 30,* 21–35.

Leinhardt, G., Zaslavsky, O., & Stein, M. K. (1990). Functions, Graphs, and Graphing: Task, Learning, and Teaching. *Review of Educational Research, 60,* 1–64.

Leonard, W. J., Dufresne, R. J., & Mestre, J. P. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics, 64,* 1495–1503.

Leutner, D. (1993). Guided discovery learning with computer-based simulation games: Effects of adaptive and non-adaptive instructional support. *Learning and Instruction, 3,* 113–132.

Lijnse, P. L. (1995). ”Developmental Research” As a Way to an Empirically Based ”Didactical Structure” of Science. *Science Education, 79,* 189–199.

Livingston, S. A. (1988). Reliability of Test Results. In J. P. Keeves (Ed.), *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook* (ss. 386–392). Oxford, England: Pergamon Press.

Lumsden, L. S. (1994). Student Motivation To Learn. *ED370200, ERIC Digest.*

Lund, T. (2005). The Qualitative-Quantitative Distinction: Some comments. *Scandinavian Journal of Educational Research, 49,* 115–132.

Lybeck, L. (1981). *Arkimedes i klassen. En ämnespedagogisk berättelse.* Göteborg studies in educational sciences 37. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.

Läroplan för Närpes gymnasium 1994. Närpes kommun.

Malafosse, D., Lerouge, A., & Dusseau, J-M. (2001). Étude en inter-didactique des mathématiques et de la physique de l'acquisition de la loi d'Ohm au collège: changement de cadre de rationalité. *Didaskalia, 18,* 61–98.

Marchionini, G. (1991). Psychological Dimensions of User-Computer Interfaces. *ED337203, ERIC Digest.*

Mathewson, J. H. (1999). Visual-Spatial Thinking: An Aspect of Science Overlooked by Educators. *Science Education, 83,* 33–54.

Mayer, R. E. (1998). Cognitive Theory for Education: What Teachers Need to Know. In N. M. Lambert & B. L. McCombs (1998). *How Students Learn. Reforming Schools Through Learner-Centered Education.* Washington, DC: American Psychological Association.

Mayer, R. E. (2002). Rote versus meaningful learning. *Theory Into Practice, 41.* [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.coe.ohio-state.edu/TIP/

Mayer, R. E., & Sims, V. K. (1994). For Whom Is a Picture Worth a Thousand Words? Extensions of a Dual-Coding Theory of Multimedia Learning. *Journal of Educational Psychology, 86,* 389–401.

McCombs, B. L. (1991). Motivation and Lifelong Learning. *Educational Psychologist, 26,* 117–127.

McCombs, B. L. (1997). *Understanding the Keys to Motivation to Learn* [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.mcrel.org/PDFConversion/Noteworthy/Learners_Learning_Schooling/barbaram.asp

McCombs, B. L., & Whisler, J. S. (1989). The Role of Affective Variables in Autonomous Learning. *Educational Psychologist, 24,* 277–306.

McDermott, L. C. (1990). Research and computer-based instruction: Opportunity for interaction. *American Journal of Physics, 58,* 452–462.

McDermott, L. C. (1991). Millikan Lecture 1990: What we teach and what is learned – Closing the gap. *American Journal of Physics, 59,* 301–315.

McDermott, L. C., Rosenquist, M. L., & van Zee, E. H. (1987). Student difficulties in connecting graphs and physics: Examples from kinematics. *American Journal of Physics, 55,* 503–513.

McDermott, L. C., & Shaffer, P. S. (1992). Research as a guide for curriculum development: An example from introductory electricity. Part I: Investigation of student understanding. *American Journal of Physics, 60,* 994–1003.

McDermott, L. C., Shaffer, P. S., & Constantinou C. P. (2000). Preparing teachers to teach physics and physical science by inquiry. *Physics Education, 35,* 411–416.

McGrenere, J., & Ho, W. (2000). *Affordances: Clarifying and Evolving a Concept.* Paper presented at the Graphics Interface 2000, Montreal.

McLeod, D. B. (1992). Research on Affect in Mathematics Education: A Reconceptualization. In D. A. Grouws (Ed.), *Handbook of Research on Mathematics Teaching and Learning. A Project of the National Council of Teachers of Mathematics* (ss. 575–596). New York: Macmillan Publishing Company.

Méheut, M. (2004a). Teaching–learning sequences: aims and tools for science education research. *International Journal of Science Education, 26,* 605–618.

Méheut, M. (2004b). Designing and validating two teaching–learning sequences about particle models. *International Journal of Science Education, 26,* 605–618.

Merriam, S. B. (1994). *Fallstudien som forskningsmetod.* Lund: Student-litteratur.

Michelsen, C. (2002). *Begrebsdannelse ved domæneudvidelse. Elevers tilegnelse af funktionsbegrebet i et integreret undervisningsforløb mellem matematik og fysik.* Academic Dissertation. Dansk Institut for Gymnasiepædagogik, Syddansk Universitet.

Missonnier, M., & Closset, J-L. (2005). Observation de chemins suivis par les élèves dans l'apprentissage des bases de l'électrocinétique. *Didaskalia, 25,* 63–88.

Mistler-Jackson, M., & Butler Songer, N. (2000). Student Motivation and Internet Technology: Are Students Empowered to Learn Science? *Journal of Research in Science Teaching, 37,* 459–479.

Mitchell, M. (1993). Situational Interest: Its Multifaceted Structure in the Secondary School Mathematics Classroom. *Journal of Educational Psychology, 85,* 424–436.

Mokros, J. R., & Tinker, R. F. (1987). The Impact of Microcomputer-Based Labs on Children's Ability to Interpret Graphs. *Journal of Research in Science Teaching, 24,* 369–383.

Monaghan, J. M., & Clement, J. (1999). Use of a computer simulation to develop mental simulations for understanding relative motion concepts. *International Journal of Science Education, 21,* 921–944.

Nationalencyklopedin (1986–1996). Höganäs, Sverige: Bokförlaget Bra Böcker.

Newton, D. P. (1996). Causal situations in science: A model for supporting understanding. *Learning and Instruction, 6,* 201–217.

Nilsson, L-E. (1999). *Skolans verktygsmetafor - ett hinder för framtidens produktionssystem?* [Online]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.distans.hkr.se/kkmtrl/baslitteratur/index.htm

Norman, D. A. (1988). *The Psychology of Everyday Things.* New York: Basic Books.

Novak, J. D. (2002). Meaningful Learning: The Essential Factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies Leading to Empowerment of Learners. *Science Education, 86,* 548–571.

Nyman, G. (1996). Tietotekniikka opetuksessa – käärmeitä teknologia-paratiisissa? I M. Ahtee, J. Lavonen, & V. Meisalo (Red.) (1996). *Opettajankoulutuksen uudet haasteet.* XIII Matematiikan ja luonnon-tieteiden opetuksen tutkimuksen päivät Helsingissä 21–23.9.1995. Tutkimuksia 162. Helsingin yliopiston opettajankoulutuslaitos.

Näsäkkälä, E. (1999). *Introducing simulation models into chemistry classrooms. A Study in a Finnish Senior Secondary School with an International Baccalaureate Section.* Academic Dissertation. Department of Teacher Education. University of Helsinki. Research Report 201.

O'Donnell, A. M. (2004). A Commentary on Design Research. *Educational Psychologist, 39,* 255–260.

Ogborn, J. (2000). Post-16 physics for tomorrow. *Physics Education, 35,* 301–303.

Ogborn, J. (2001). *Choosing the science curriculum.* In R. Pinto & S. Surinach (Eds.). *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000* (ss. 45–48). Paris: Elsevier.

Pajares, F. (1996). Self-Efficacy Beliefs in Academic Settings. *Review of Educational Research, 66,* 543–578.

Patton, M. Q. (1987). *How to Use Qualitative Methods in Evaluation* (2nd ed.). Newbury Park, California: Sage Publications.

Paulin, Ö., Glad, S., Niklasson, B., Petersson, B., Sinnerstad, U., Almkvist, G., Beskow, G., Knave, E., Kälviäinen, J., Ketolainen, P., Hämäläinen, R., & Björk, S. (1984). *Gymnasiefysik FIII. Fördjupad lärokurs, kurserna 6–8.* Esbo, Finland: Svenska Läromedel.

Perkins, D. N. (1993). Teaching for Understanding. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.exploratorium.edu/IFI/resources/workshops/teachingforunder-standing.html

Perkins, D. N. (1998). "What Is Understanding?" In M. S. Wiske (Ed.) *Teaching for understanding: Linking research with practice.* San Francisco, CA: Jossey-Bass. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.uwm.edu/~wash/perkins.htm

Perkins, D. N., Crismond, D., Simmons, R., & Unger, C. (1995). Inside understanding. In D. N. Perkins, J. L. Schwartz, M. Maxwell West, & M. S. Wiske (Eds.), *Software goes to school: Teaching for understanding with new technologies* (ss. 70–87). New York: Oxford University Press.

Perkins, D. N., & Simmons, R. (1988). Patterns of Misunderstanding: An Integrative Model for Science, Math, and Programming. *Review of Educational Research, 58,* 303–326.

Pilkington, R., & Parker-Jones, C. (1996). Interacting with computer-based simulation: the role of dialogue. *Computers & Education, 27,* 1–14.

Pinto, R., & Surinach, S. (Eds.). (2001). *International Conference Physics Teacher Education Beyond 2000.* Paris: Elsevier.

Preece, J. (1983). Graphs are not straightforward. In T. R. G. Green, S. J. Payne, & G. C. van der Veer (Red.), *The psychology of computeruse* (ss. 41–56). London: Academic Press.

Preece, J., Rogers, Y., Sharp, H., Benyon, D., Holland, S., & Carey, T. (1994). *Human-computer Interaction.* Harlow, England: Addison-Wesley.

Purhonen, K., & Parviainen, P. (1996). *Matemaattiset aineet yläasteissa ja lukiossa – opetusmenetelmät, -tilat ja -välineet*. Helsinki: Teollisuus ja Työnantajat, Matemaattisten Aineiden Opettajien Liitto MAOL ry.

Pålsson, S., & Nilsson, L-E. (1998, nov). Digital kompetens: En utmaning för dagens skola och ett krav i morgondagens samhälle. [Online]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.distans.hkr.se/kkmtrl/baslitteratur/index.htm

Rahikka, M. (1991). Yksiulotteisen ilmanvastuksellisen heittoliikkeen simuloiminen taulukkolaskentaohjelman avulla. *Dimensio, 55,* 40–43.

Redish, E. F. (1993). *What Can a Physics Teacher Do with a Computer?* [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.physics.umd.edu/perg/papers/redish/resnick.html

Redish, E. F., Saul, J. M., & Steinberg, R. N. (1997). On the effectiveness of active-engagement microcomputer-based laboratories. *Am. J. Phys., 65,* 45–54.

Reif, F. (1987). Instructional design, cogniton, and technology: Applications to the teaching of scientific concepts. *Journal of Research in Science Teaching, 24,* 309–324.

Reif, F., & Scott, L. A. (1999). Teaching scientific thinking skills: Students and computers coaching each other. *American Journal of Physics, 67,* 819–831.

Reigeluth, C. M. (1999). Basic methods of instruction. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.indiana.edu/~idtheory/methods/methods.html

Reimann, P. (1999). The role of external representations in distributed problem solving. *Learning and Instruction, 9,* 411–418.

Renner, J. W. (1982). The Power of Purpose. *Science Education, 66,* 709–716.

Resnick, L. B. (Ed.) (1989). *Knowing, Learning, and Instruction. Essays in Honor of Robert Glaser.* Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum.

Richey, R. C., & Nelson, W. A. (1996). Developmental research. In D. H. Jonassen (Ed.), *Handbook of Research for Educational Communications and Technology. A project of the association for educational communications and technology* (ss. 1213–1245). New York: Macmillan Publishing Company.

Rieber, L.P. (1994). *Computers, graphics, and learning.* Madison, Wisconsin: Brown & Benchmark.

Roberts, N., Andersen, D. F., Deal, R. M., Garet, M. S., & Shaffer, W. A. (1983). *Introduction to computer simulation: The system dynamics approach.* Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

Rogers, Y. (1999). What is different about interactive graphical representations? *Learning and Instruction, 9,* 419–425.

Ronen, M., & Eliahu, M. (1997). Addressing students' common difficulties in basic electricity by qualitative simulation-based activities. *Physics Education, 32,* 392–399.

Rosenquist, M. L., & McDermott, L. C. (1987). A conceptual approach to teaching kinematics. *American Journal of Physics, 55,* 407–415.

Roth, W-M. (1995). Affordances of Computers in Teacher-Student Interactions: The Case of Interactive Physics™. *Journal of Research in Science Teaching, 32,* 329–347.

Roth, W-M., & Bowen, G. M. (1994). Mathematization of Experience in a Grade 8 Open-Inquiry Environment: An Introduction to the Representational Practices of Science. *Journal of Research in Science Teaching, 31,* 293–318.

Roth, W-M., & Bowen, G. M. (1999). Complexities of graphical representations during ecology lectures: an analysis rooted in semiotics and hermeneutic phenomenology. *Learning and Instruction, 9,* 235–255.

Roth, W-M., & McGinn, M. K. (1997). Graphing: Cognitive Ability or Practice? *Science Education, 81,* 91–106.

Roth, W-M., Woszczyna, C., & Smith, G. (1996). Affordances and Constraints of Computers in Science Education. *Journal of Research in Science Teaching, 33,* 995–1017.

Salomon, G. (1998). Novel constructivist learning environments and novel technologies: Some issues to be concerned with. *Research Dialogue in Learning and Instruction, 1,* 3–12.

Sandoval, W. A., & Bell, P. (2004). Design-Based Research Methods for Studying Learning in Context: Introduction. *Educational Psychologist, 39,* 199–201.

Scanlon, E., Tosunoglu, C., Jones, A., Butcher, P., Ross, S., Greenberg, J., Taylor, J, & Murphy, P. (1998). Learning with computers: experiences of evaluation. *Computers & Education, 30,* 9–14.

Schecker, H. (1993). Learning physics by making models. *Physics Education, 28,* 102–106.

Schiefele, U. (1991). Interest, Learning, and Motivation. *Educational Psychologist, 26,* 299–323.

Schnotz, W., Picard, E., & Hron, A. (1993). How do successful and unsuccessful learners use texts and graphics? *Learning and Instruction, 3,* 181–199.

Schunk, D. H. (1991). Self-Efficacy and Academic Motivation. *Educational Psychologist, 26,* 207–231.

Selwyn, N. (1997). Students' attitudes toward computers: validation of a computer attitude scale for 16–19 education. *Computers & Education, 28,* 35–41.

Sheskin, D. J. (2000). *Handbook of Parametric and Nonparametric Statistical Procedures* (2nd ed.). New York: Chapman & Hall/CRC.

Shrigley, R. L., Koballa, T. R., Jr., & Simpson, R. D. (1988). Defining attitude for science educators. *Journal of Research in Science Teaching, 25,* 659–678.

Shuell, T. J. (1993). Toward an Integrated Theory of Teaching and Learning. *Educational Psychologist, 28,* 291–311.

Silva, A. A. (1998). Archimedes' law and potential energy: modelling and simulation with a spreadsheet. *Physics Education, 33,* 87–92.

Sinko, M. (1999). Niin pitkä matka, niin pitkä matka on tietoyhteiskuntaan. *Dimensio, 2, 63* (2), 4–8.

Skemp, R. R. (1976). Relational Understanding and Instrumental Understanding. *Mathematics Teaching, 77,* 20–26.

Skemp, R. R. (1979). Goals of Learning and Qualities of Understanding. *Mathematics Teaching, 88,* 44–49.

Skinner, E. A., Wellborn, J. G., & Connell, J. P. (1990). What It Takes to Do Well in School and Whether I've Got It: A Process Model of Perceived Control and Children's Engagement and Achievement in School. *Journal of Educational Psychology, 82,* 22 - 32.

Snir, J., Smith, C., & Grosslight, L. (1995). Conceptually Enhanced Simulations: A Computer Tool for Science Teaching. In D. N. Perkins, J. L. Schwartz, M. Maxwell West, & M. Stone Wiske (Eds.), *Software goes to school: Teaching for understanding with new technologies* (ss. 106–129). New York: Oxford University Press.

Spada, H. (1994). Commentary. Conceptual change or multiple representations? *Learning and Instruction, 4,* 113–116.

Squires, D. (1987). Providing computer-based experience for learning physics. *Physics Education, 22,* 239–243.

Squires, D., & Preece, J. (1996). Usability and learning: evaluating the potential of educational software. *Computers & Education, 27,* 15–22.

Steinberg, R. N., Oberem, G. E., & McDermott, L. C. (1996). Development of a computer-based tutorial on the photoelectric effect. *American Journal of Physics, 64,* 1370–1379.

Stenning, K. (1999). The cognitive consequences of modality assignment for educational communication: the picture in logic teaching. *Learning and Instruction, 9,* 391–410.

Stylianidou, F., Boohan, R., & Ogborn, J. (2005). Science Teachers' Transformations of the Use of Computer Modeling in the Classroom: Using Research to Inform Training. *Science Education, 89,* 56–70.

Swaak, J., van Joolingen, W. R., & de Jong, T. (1998). Supporting simulationbased learning; the effects of model progression and assignments on definitional and intuitive knowledge. *Learning and Instruction, 8,* 235–252.

Tabak, I. (2004). Reconstructing Context: Negotiating the Tension Between Exogenous and Endogenous Educational Design. *Educational Psychologist, 39,* 225–233.

Taber, K. S. (1994). Student reaction on being introduced to concept mapping. *Physics Education, 29,* 276–281.

Taber, K. S. (2000). Should physics teaching be a research-based activity? *Physics Education, 35,* 163–168.

Tao, P-K. (2001). Confronting students with multiple solutions to qualitative physics problems. *Physics Education, 36,* 135–139.

Tao, P-K., & Gunstone, R. F. (1999). Conceptual change in science through collaborative learning at the computer. *International Journal of Science Education, 21,* 39–57.

Tate, R. (1988). Experimental Studies. In J. P. Keeves (Ed.), *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook* (ss. 93–101). Oxford, England: Pergamon Press.

Thornton, R. K. (1987). Tools for scientific thinking – microcomputer-based laboratories for physics teaching. *Physics Education, 22,* 230–238.

Thornton, R. K., & Sokoloff, D. R. (1990). Learning motion concepts using realtime microcomputer-based laboratory tools. *American Journal of Physics, 58,* 858–867.

Tiberghien, A. (1996). Construction of Prototypical Situations in Teaching the Concept of Energy. In G. Welford, J. Osborne, & P. Scott (Eds.), *Research in Science Education in Europe: Current Issues and Themes* (ss. 100–114). London: Routledge.

Tiberghien, A. (2000). Designing teaching situations in the secondary school. In R. Millar, J. Leach, & J. Osborne (Eds.), *Improving science education: The contribution of research* (ss. 27–47). Buckingham, England: Open University Press.

Titus, A. P. (1998). Integrating Video and Animation with Physics Problem Solving Exercises on the World Wide Web. Academic Disseratation. Graduate Faculty of North Carolina State University. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.ncsu.edu/per/Articles/TitusDissertation.pdf

Tobias, S. (1994). Interest, Prior Knowledge, and Learning. *Review of Educational Research, 64,* 37 - 54.

Tobin, K., Espinet, M., Byrd, S. E., & Adams, D. (1988). Alternative Perspectives of Effective Science Teaching. *Science Education, 72,* 433–451.

Tobin, K., McRobbie, C., & Anderson, D. (1997). Dialectical Constraints to the Discursive Practices of a High School Physics Community. *Journal of Research in Science Teching, 34,* 491–507.

Treagust, D. F., Duit, R., & Fraser, B. J. (1996). Overview: Research on Students' Preinstructional Conceptions – The Driving Force for Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics. In D. F. Treagust, R. Duit, & B. J. Fraser (Eds.), *Improving Teaching and Learning in Science and Mathematics* (ss. 1–14). New York: Teachers College Press.

Trochim, W. M. (2000). *The Research Methods Knowledge Base* (2nd ed.). [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.socialresearchmethods.net

Trost J. (1997). *Kvalitativa intervjuer* (andra uppl.). Lund: Studentlitteratur.

Tucker-Ladd, C. E. (2002). *Psychological Self-Help*. Clayton Tucker-Ladd & MentalHealth Net. Unpublished in hard copy but available on Internet and on disks. [On-line]. Tillgänglig (3.3.2006): http://www.mentalhelp.net/psyhelp/

Uljens, M. (1997a). *School didactics and learning.* London: Psychology Press.
Uljens, M. (1997b). Grunddrag till en reflektiv skoldidaktisk teori. I M. Uljens, (Red.) *Didaktik – teori, reflektion och praktik.* Lund: Studentlitteratur.
Vermunt, J. D., & Verloop, N. (1999). Congruence and friction between learning and teaching. *Learning and Instruction, 9,* 257–280.
Voutilainen, T., Mehtäläinen, J., & Niiniluoto, I. (1989). *Tiedonkäsitys.* Helsinki: Kouluhallitus ja Valtion painatuskeskus.
Webb, L. (1993). Spreadsheets in physics teaching. *Physics Education, 28,* 77–82.
Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education, 27,* 705–735.
Wellington, J. (2000). *Educational Research. Contemporary Issues and Practical Approaches.* London: Continuum.
White, R. T. (1994). Commentary. Conceptual and conceptional change. *Learning and Instruction, 4,* 117–121.
White, R. T. (1998). Research, Theories of Learning, Principles of Teaching and Classroom Practice: Examples and Issues. *Studies in Science Education, 31,* 55–70.
White, R. T., & Gunstone, R. F. (1989). Metalearning and conceptual change. *International Journal of Science Education, 11,* 577–586.
Wikström, H. (1997). *Att förstå förändring. Modellbyggande, simulering och gymnasieelevers lärande.* Göteborg studies in educational sciences 114. Göteborg: Acta Universitatis Gothoburgensis.
Windschitl, M., & Andre, T. (1998). Using Computer Simulations to Enhance Conceptual Change: The Roles of Constructivist Instruction and Student Epistemological Beliefs. *Journal of Research in Science Teaching, 35,* 145–160.
Wittmann, E. Ch. (1998). Mathematics education as a 'design science'. In A. Sierpinska & J. Kilpatrick (Eds.), *Mathematics Education as a Research Domain: A Search for Identity* (ss. 87–103). London: Kluwer.
Wolming, S. (1998). Validitet. Ett traditionellt begrepp i modern tillämpning. *Pedagogisk Forskning i Sverige, 3,* 81–103.
Wonnacott, T. H., & Wonnacott, R. J. (1990). *Introductory Statistics* (5th ed.). New York: John Wiley & Sons.
Woolnough, B. E. (1994). *Effective science teaching.* Buckingham, Great Britain: Open University Press.
Zeller, R. A. (1988). Validity. In J. P. Keeves (Ed.), *Educational Research, Methodology, and Measurement: An International Handbook* (ss. 427–428). Oxford, England: Pergamon Press.
Ölme, A. (2000). Views on the physics curriculum beyond 2000. *Physics Education, 35,* 195–198.

Bilaga 1. ***Observed behaviours classified by type of situation and type of knowings (Brousseau, 1997, p. 216).***

Types of situations **Types of knowings**	**Situation of action**	**Situation of formulation controlled by a situation of action**	**Situation of proof (or validation)**	**Situation of institutionalization**
Procedure	Know-how. Implement the procedure; chose it in preference to another	Detailed description Designation	Justification of the relevant procedure (it can be applied) which is adequate, correct and optimal	Canonization of the procedure into an algorithm (term invented by A. Rouchier)
Implicit model **Property Relation Representation**	Make choices, make decisions motivated by the related knowing (without being able to "formulate" it)		Contingent proofs, experimental proofs, proofs by exhaustion	
Knowings **Statement Theory**	Apply a knowing (the knowing could be formulated)	Statement of the property or of the relationship. More "correct" reformulation	Proofs Mathematical proofs. More convincing translation. Organization Axiomatization	Canonization of a theory, of a knowing Didactical transposition (Chevallard 1980)
Language	Use of a language for explaining. Behaviour shows a division into objects corresponding to signs and words	Use of a language, of a formal system, of a formulation for communicating, speaking know-how	Justification of a word, of a language, of a formal model (relevance, adequacy, optimization) definitions. Metalinguistic activities.	Choice of definitions, Linguistic and grammatical conventions

Bilaga 2. Sekvens med växelströmslära och inplacerade didaktiska situationer med PDRac-verktyget i experimentsyfte.

Lektionsplan

1. a) Demonstration med
   * lågfrekvent växelspänningsgenerator och likspänningsinstrument
   * växelspänningsgenerator och oscilloskop
   b) Härled uttrycket för sinusformad växelspänning.
   c) Rent resistiv belastning. Härled uttrycket för sinusformad växelström.
   d) Hemuppgifter: 2.1 a,b; 2.2 a,d; 2.4 a, b i läroboken.

2. Effektivvärden.
   a) Demonstration.
   b) Matematisk härledning.
   c) Hemuppgifter: 2.6; 2.7; 2.8; 2.10

3. Rent induktiv belastning.
   a) Demonstration
   * med likström
   * växelspänningsgenerator och växelspänningsinstrument
   * växelspänningsgenerator och oscilloskop
   b) Matematisk härledning. Sätt fasvinkeln på uttrycket för växelspänning (se appendix).
   c) Hemuppgift: 2.11

4. Rent kapacitiv belastning.
   a) Demonstration
   * med likström
   * växelspänningsgenerator och växelspänningsinstrument
   * växelspänningsgenerator och oscilloskop
   b) Matematisk härledning. Sätt fasvinkeln på uttrycket för växelspänning (se appendix).
   c) Hemuppgifter: 2.12; 2.14

5. **Didaktisk situation 1 med PDRac. *Handledningssituation*.**
   * introduktion av programvaran, övningar
   * uppgift 1 – 3

6. a) RL-krets.
   Demonstration med växelströmsmatad RL-krets och oscilloskop.
   b) RC-krets.
   Demonstration med växelströmsmatad RC-krets och oscilloskop.
   c) RLC-krets.
   d) Demonstration med växelströmsmatad RLC-krets och oscilloskop.
   e) Kirchhoffs lag för allmän växelströmskrets.
   f) Begreppet impedans.
   * inför begreppet Z direkt med en muntlig motivering
   g) Hemuppgifter: 2.15; 2.16; 2.18 (inte med visardiagram); 2.21; 2.22; 2.23

7. **Didaktisk situation 2 med PDRac.** ***Övning.***
   * uppgift 4 – 7

8. **Didaktisk situation 3 med PDRac.** ***Introduktion.***
   * uppgift 8 – 10
   * uppgifterna 11 – 19 delas ut efter lektionen

9. Serieresonans.
   a) Demonstration med växelströmsmatad RLC-krets och oscilloskop.
   b) Matematisk härledning.

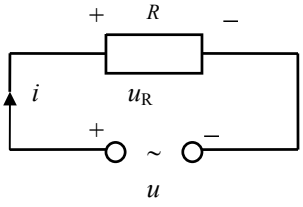
10. a) Effektomsättning.
    b) Hemuppgifter: 2.27; 2.28; 2.30

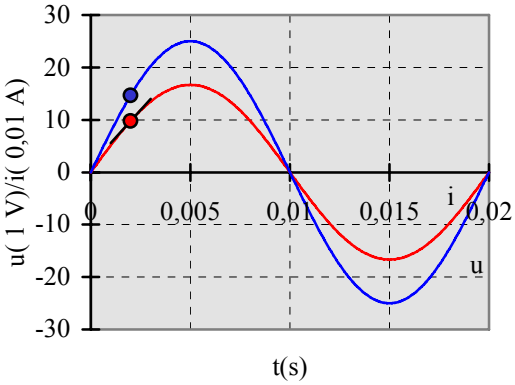
11. **Didaktisk situation 4 med PDRac.** ***Utvärdering.***
    * utvärderingsuppgifter

12. a) Tillämpningar.
    * transformatorn, demonstration
    b) Hemuppgifter: 2.32; 2.34; 2.36; 2.37

13. Tillämpningar, forts.
    * elektrisk energiöverföring
    * etc.

R-krets





OBS. Referensriktningen för strömmen resp. spänningen över spänningskällan och resistorn är vald och gäller endast momentant. I figurerna är det spänningen ($\hat{u}$ = 25 V) som har den större amplituden.

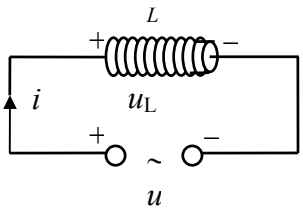
Man har $u - u_R = 0$ (enl. Kirchhoff) och $u_R = u$, som ger $iR = \hat{u}\sin\omega t$ och $i = \frac{\hat{u}}{R}\sin\omega t = \hat{\imath}\sin\omega t$.

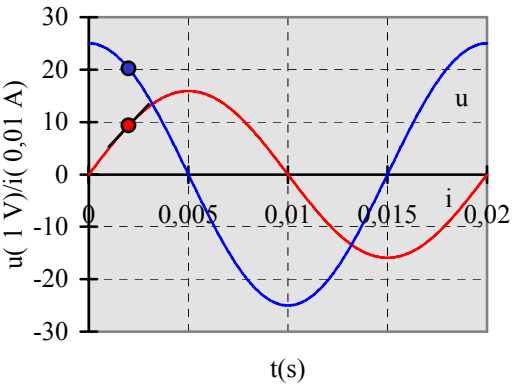
Således gäller att

a) $i = \hat{\imath}\sin\omega t$ och spänningen u och strömmen i är i fas

b) $\hat{u} = R\hat{\imath}$ samt $U = RI$ (U resp. I är effektivvärden)

L-krets





Antag $i = \hat{\imath}\sin\omega t$ och $u - u_L = 0$. Detta ger $u = u_L$ och man får $u = L\frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d}t} = \omega L\hat{\imath}$

$\cos\omega t = \omega L\hat{\imath}\cos(-\omega t) = \omega L\,\hat{\imath}\sin(\frac{\pi}{2} - (-\omega t)) = \omega L\,\hat{\imath}\sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$

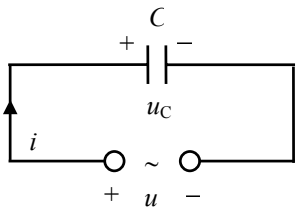
$= \hat{u}\sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$. Således gäller att

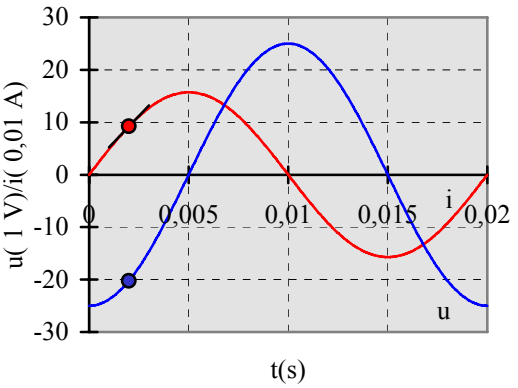
a) $u = \hat{u}\sin(\omega t + \frac{\pi}{2})$ och spänningen u löper $\frac{\pi}{2}$ rad *före* strömmen i

b) $\hat{u} = \omega L\hat{\imath}$ samt $U = \omega LI$

c) $X_L = \omega L$, kallas induktiv reaktans

C-krets





Antag $i = \hat{\imath}\sin\omega t$ och $u - u_C = 0$. Detta ger $u_C = u$ och man får $\frac{q}{C} = u_C = u$ och q $= Cu$. Då $i = \frac{\mathrm{d}q}{\mathrm{d}t} = C\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t}$ får man $\frac{\mathrm{d}u}{\mathrm{d}t} = \frac{i}{C} = \frac{\hat{\imath}}{C}\sin\omega t$. Efter integrering (man kan sätta integrationskonstanten = 0) får man

$u = -\frac{\hat{\imath}}{\omega C}\cos\omega t = -\frac{\hat{\imath}}{\omega C}\sin(\frac{\pi}{2} - \omega t) = \frac{\hat{\imath}}{\omega C}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = \hat{u}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$.

Således gäller att

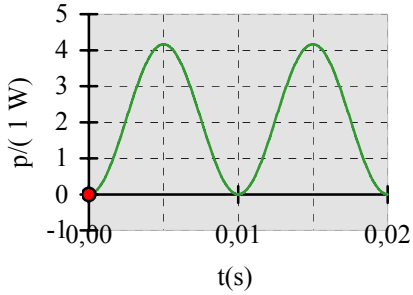
a) $u = \hat{u}\sin(\omega t - \frac{\pi}{2})$ och spänningen u löper $\frac{\pi}{2}$ rad *efter* strömmen i

b) $\hat{u} = \frac{1}{\omega C}\hat{\imath}$ samt $U = \frac{1}{\omega C}I$

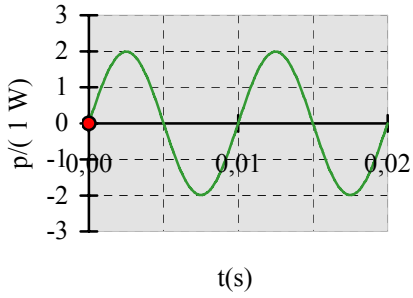
c) $X_C = \frac{1}{\omega C}$, kallas kapacitiv reaktans

Effektutveckling i speciella växelströmskretsar

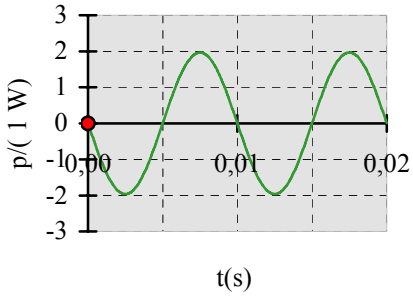
Momentaneffekt som funktion av tiden i en a) rent resistiv krets, b) rent induktiv krets, c) rent kapacitiv krets, d) RL-krets med positiv fasdifferens och e) RC-krets med negativ fasdifferens. Växelspänningens frekvens är 50 Hz. Observera att medeleffekten är noll i b- och c-fallet.



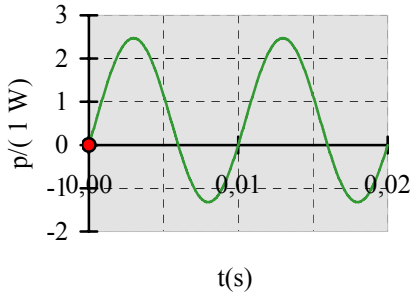
a)



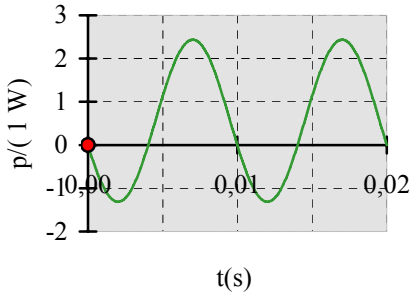
b)



c)



d)



e)

Bilaga 3. Didaktiska situationen *övning.*

Uppgift 1: **Självinduktion. Faradays induktionslag. Lenz' lag.**

Utgångsläge

f	50	Maxtid	0,02		Ta fram	Egen skala
û	25	*u*-skala	1	u_R		
R	0	*i*-skala	0,01	u_L	Ja	50
L	0,2	*p*-skala	1	u_C		
C	∞			*u, i*	Ja	50
				p		
				u(*i*)		

1. Ta fram momentanvärdena. Sätt $t = 0{,}003$ s. Ändra induktansen. *Jämför hur strömkurvans lutning (strömändringshastigheten eller strömmens tidsderivata di/dt) ändras med induktansen vid den givna tidpunkten. Hur är det med spänningen över spolen?*

2. Öka evalueringstiden med 0,001 s åt gången för $L = 0{,}2$ H. *Jämför hur strömkurvans lutning och spänningen över spolen ändras vid konstant induktans.*

3. *Hur kan man förklara självinduktionsfenomenet i spolen och fasförskjutningen på basen av dina iakttagelser ovan?*

Uppgift 2a,b: **Momentanspänning och -potential.**

Utgångsläge

f	50	Maxtid	0,02		Ta fram	Egen skala
û	25	*u*-skala	1	u_R	Ja	
R	150	*i*-skala	0,001	u_L	Ja	
L	1	*p*-skala	1	u_C	Ja	
C	20			*u, i*	(Ja)	
				p		
				u(*i*)		

1. Bestäm momentanspänningarna vid $t = 0{,}002$ s. *Bestäm de ungefärliga spänningarna över resistorn, spolen och kondensatorn ur graferna.* (Exaktare numeriska värden fås från tabellen Evaluerade momentanvärden.)

2. *Vilken är spänningarnas summa? Vad drar du för slutsatser, dvs. vad gäller för komponenternas momentana delspänningar i en RLC-krets?*
   Skriv uttrycket. Vilken lag handlar det om?
   Gäller samma likhet för effektivspänningar? Varför?

3. *Vilka är potentialerna i punkterna A, B, C och D?*

4. *Ange för varje komponent om spänningen stiger eller sjunker vid tidpunkten ifråga.*

5. *I vilken riktning går strömmen i kretsen? Stiger eller sjunker strömstyrkan? Hur mycket?*

6. *Redogör noggrant för vad som händer i varje komponent och varför spänningen har det tecken du har avläst.*

Om tillräcklig tid finns:
Gå igenom samma frågor (punkterna 1 - 6) för t = 0,007 s *och* t = 0,015 s*, annars*
Gå till följande uppgifter.

Uppgift 3: **Impedans.**

Klicka Reset. Inga grafer, endast numeriska utdata.

1. *Studera värdet på impedansen Z i nedanstående fall. Dra slutsatser.*
   a) R = 100 Ω, L = 0, C stort (sätt 0). Ändra R. Ändra f då R är konstant.
   b) L = 0,1 H, R = 0, C stort. Ändra L. Ändra f då L är konstant.
   c) C = 1 μF, R = 0, L = 0. Ändra C. Ändra f då C är konstant.

2. Ge värde på **två** av storheterna. Öka och minska var och en. Ändra även f.
   S*tudera effekten på Z.*

3. a) R = 1000 Ω, L = 0,2 H, C = 1,5 μF. Öka/minska var och en.
   b) R = 1000 Ω, L = 12 H, C = 1,5 μF. Öka/minska var och en.
   S*tudera effekten på Z. Vad upptäcker du?*

Anm. Sambandet mellan R, L, C och Z är matematiskt komplicerat och måste härledas med hjälp av trigonometri eller vektorer.

Bilaga 4. Didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Uppgift 1a: **Fasförskjutning och komponentspänningar i en RL-krets.**

D. RL-krets (resistans och induktans).

Utgångsläge

f	50	Maxtid	0,02		Ta fram	Egen skala
û	25	*u*-skala	1	u_R		
R	100	*i*-skala	0,01	u_L		
L	0,1	*p*-skala	1	u_C		
C	∞			*u, i*	Ja	30
				p		
				u(*i*)		

Ta fram numeriska data.

1. Håll *R* konstant och öka *L* i steg om 0,1 H.
   Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför?

2. *Vilken av spänningens och strömmens toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då L ändras?*

3. *R* = 100 Ω, *L* = 1 H, *C* stort (sätt 0). Håll *L* konstant och öka *R* i steg om 50 Ω. *Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför?*

4. *Vilken av spänningens och strömmens toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då R ändras?*

5. Ta fram u_R-grafen. *Hur är det med fasförskjutningen mellan spänningen u_R och strömmen?*

6. Ta fram u_L-grafen. *Hur är det med fasförskjutningen mellan spänningen u_L och strömmen?*

7. Ta fram *u*, *i*-, u_R- och u_L-grafen. Fixera alla spänningsskalor till 25 V.
   a) Håll *R* konstant (= 100 Ω) och öka /minska *L* i steg om 0,1 H.
   b) Håll *L* konstant (= 0,1 H) och öka/minska *R* i steg om 50 Ω.
   Vad upptäcker du? Hur förklarar du förändringarna?

Klicka Reset.

Uppgift 1b: **Fasförskjutning och komponentspänningar i en RC-krets.**

E. RC-krets (resistans och kapacitans).

Utgångsläge

f	50	Maxtid	0,02		Ta fram	Egen skala
û	25	*u*-skala	1	u_R		
R	100	*i*-skala	0,01	u_L		
L	0	*p*-skala	1	u_C		
C	1			*u, i*	Ja	25
				p		
				u(*i*)		

1. Håll *R* konstant och öka *C* i steg om 1 μF.
   Jämför u- och i-graferna. Vad händer?

2. *Vilken av spänningens och strömmens toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då C ändras? Varför?*

3. *R* = 100 Ω, *L* = 0, *C* = 30 μF. Håll *C* konstant och öka *R* i steg om 50 Ω. *Jämför u- och i-graferna. Vad händer?*

4. *Vilken av spänningens och strömmens toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då R ändras? Varför?*

5. Ta fram u_R-grafen. *Hur är det med fasförskjutningen mellan spänningen u_R och strömmen?*

6. Ta fram u_C-grafen. *Hur är det med fasförskjutningen mellan spänningen u_C och strömmen?*

7. Ta fram *u*, *i*-, u_R- och u_C-grafen. Fixera u_C-skalan till 25 V. Mata in de värden som finns i tabellen.
   a) Håll *R* konstant (= 100 Ω) och öka *C* i steg om 5 μF.
   b) Håll *C* konstant (= 30 μF) och öka *R* i steg om 50 Ω.
   Vad upptäcker du? Hur förklarar du förändringarna?

Klicka Reset.

Uppgift 2: Serieresonans.

F. RLC-krets (resistans, induktans och kapacitans).

1. R = 100 Ω, L = 1 H, C = 20 μF. Håll L och C konstant och öka R i steg om 50 Ω. Minska därefter till utgångsläget. *Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför?*

2. Håll R och C konstant och öka L i steg om 0,2 H. Minska därefter till utgångsläget. *Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför?*

3. Håll R och L konstant och öka C i steg om 5 μF. Minska därefter till 5 μF. *Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför?*

4. *Kan man komma till samma effekt genom att ändra L eller R?*

5. *Finjustera L- och/eller C-värdet vid behov.*

6. *Vilka är dina slutsatser?*

Klicka Reset. Fenomenet kallas serieresonans och tas upp i en teoretisk genomgång, som inkluderar demonstration.

Uppgift 3: Impedansens och reaktansernas frekvensberoende. Resonansfrekvens.

Använd tabellvärdena i föregående uppgift.

1. Klicka på knappen Resonans. Välj frekvensområde 20 – 100 Hz.
2. Studera hur resistansen, induktiva reaktansen, kapacitiva reaktansen och impedansen beror av frekvensen. *Vad finner du?*
3. *Vilket värde har resonansfrekvensen?*
4. Studera noggrant villkoren för resonansfrekvensen genom att använda 'evalueringslinjalen'. Mata in (evaluera) olika frekvensvärden.
5. *Vilka storheter påverkar resonansfrekvensen, vilka inte?*
6. Variera R, L, C och $\hat{u}$ och studera förändringarna.
7. Klicka på knappen RLC-krets för att gå tillbaka.
8. *Reflektera över de fakta du kommit till.*

Tilläggsuppgift: *Hur skall du ändra R, L, C för att få resonans vid 200 Hz?*

Bilaga 5. Didaktiska situationen *utvärdering.*

UTVÄRDERING MED HJÄLP AV PDRac.

Papper, penna och räknare får användas under provet. Tabellbok får inte användas.
Lösenord: **realass1**

Uppgift 1. Storheter och grafer. (15 p)

Knapparna ***a*, *b*, *c*, *d*** och ***e*** utgör inmatningsknappar för storheter med beteckningar ***û*, *f*, *R*, *L*** och ***C***, dock inte i denna ordningsföljd. Av dessa har ***f*** ett utgångsvärde > 0 Hz, de övriga är noll samt $C = 10^{20}$ μF.

Kapacitansen C ges i enheten μF. Man kan ge värdet $C = 0$ för att ”ta bort kondensatorn ur kretsen”. Värdet på C sätts då automatiskt till 10^{20} μF. Strömmen räknas positiv i riktning medsols i kretsen.

Identifiera var och en av knapparna a - e genom att analysera graferna.
Om du inte kan bestämma knapparna får du ”köpa” information av läraren för 5 poäng per knapp.
(Ledning: Ta fram u,i - grafen. Använd ***+ -*** *knapparna i början för att ändra parametervärdena.)*

a) *Fyll i tabellen den storhet som svarar mot respektive knapp.*
b) *Mata in följande storhetsvärden:*
$\hat{u} = 25$ V, $f = 150$ Hz, $R = 680$ Ω, $L = 5{,}2$ H *och* $C = 0{,}5$ μF.

Klicka på svarsknapp 1 och därefter ***Spara till fil.***

Knapp	Storhet
a	
b	
c	
d	
e	

Uppgift 2. Reaktanstyp. (12 p)

Sätt $\hat{u} = 20$ V, $f = 200$ Hz.
Bestäm strömmens amplitud till 150 mA*, då fasförskjutningen mellan spänning och ström är* –90°.
Klicka på svarsknapp 2.

Uppgift 3. Spänning och potential. (33 p)

Sätt $\hat{u}$ = 35 V, f = 200 Hz, R = 220 Ω, L =0,3 H *och* C = 4,0 μF.

A) Bestäm med grafernas hjälp följande spänningar och potentialer vid tidpunkten 0,003 s *(heltaliga värden duger):*

a) u = _____ *e)* V_A = _____

b) u_R = _____ *f)* V_B = _____

c) u_L = _____ *g)* V_C = _____

d) u_C = _____ *h)* V_D = _____

B) Hur ändras spänningen över ***spolen*** *och* ***resistorn*** *i tidsintervallet* 0,006 *till* 0,0065 s*? C) Förklara fysikaliskt med hjälp av strömkurvan.*

Klicka på svarsknapp 3 samt ***Spara till fil.***

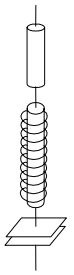
Uppgift 4. Resonans. (10 p)

Gör förändringar i RLC-kretsen i föregående uppgift så att kretsen är i resonans.

Klicka på svarsknapp 4.

Uppgift 5. Allmän växelströmskrets. (30 p)

Sätt $\hat{u}$ = 28 V, f = 75 Hz, R = 1 kΩ, L = 2,0 H och C = 1,7 μF.



a) *I vilket tidsintervall (under första perioden) är laddningen på kondensatorplatta C positiv samtidigt som strömmen är positiv? (Strömmen är positiv i riktning nedåt.)*

Klicka på svarsknapp 5 då du matat in intervallets vänstergräns.
Klicka på svarsknapp 6 då du matat in intervallets högergräns.
Klicka ***Spara till fil*** *och* ***Avsluta.***

b) *Sätt ut i figuren plus och minus – tecken i varje komponents båda ändar för att ange var potentialen är högre resp. lägre för nämnda tidsintervall. Motivera för varje komponent.*

c) *Vilken komponent, spolen eller kondensatorn, är dominerande i kretsen och varför?*

Bilaga 6. Problemsituationerna 2a, 2b och 3 i den didaktiska situationen *övning*.

Problemsituation 2a: Momentanspänning.

Syfte: Att eleven ska undersöka momentanstorheter i en RLC-krets, de lagar som gäller för dessa och förklara kretsens fysikaliska tillstånd med avseende på de enskilda komponenterna vid olika tidpunkter.

Fas 1. *Initiering.*

Parametrar:	$f = 50$ Hz, $\hat{u} = 25$ V, $R = 150\ \Omega$, $L = 1$ H, $C = 20\ \mu$F
Skalor:	maxtid på t-axeln = 0,02 s, spänningsskala = 1 V, strömstyrkeskala = 1 mA, effektskala = 1 W
Grafer:	$u_R(t)$, $u_L(t)$, $u_C(t)$, $u(t)$, $i(t)$
Övriga inställningar:	De tre förstnämnda spänningsgraferna placeras på skärmen, grafen av spänning och strömstyrka samt fältet med momentanvärden tas fram vid behov. Tiden t = 0,002 s väljs

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
En allmän seriekopplad växelströmskrets med parametrar, grafer och numeriska utdata enligt tabellen ovan utgör utgångsläget för undersökningen av kretsen (se figur 6.1).

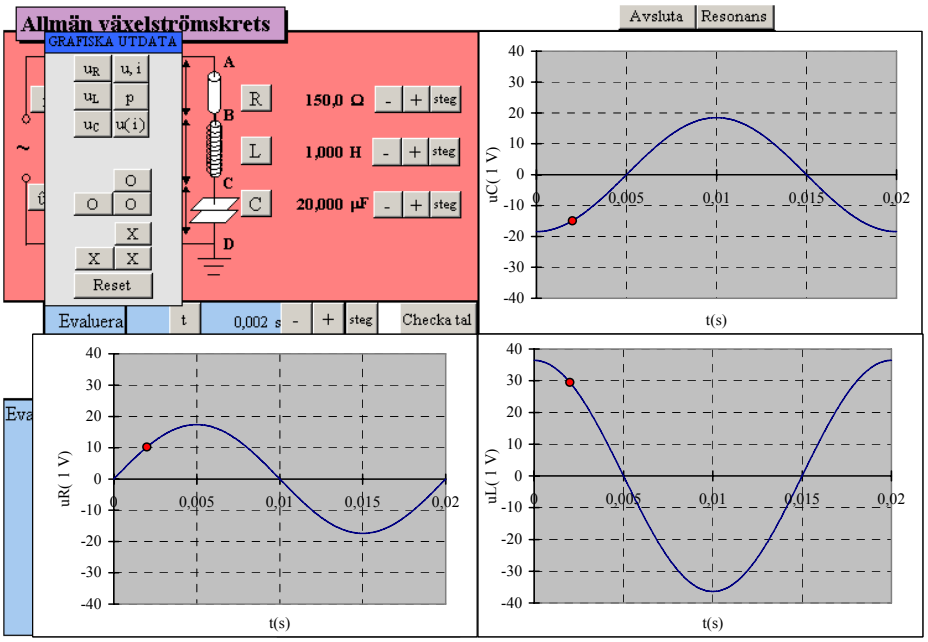
Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven reflekterar över sina kunskaper om spänningar och andra relaterade storheter, konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Bestäm de ungefärliga spänningarna över resistorn, spolen och kondensatorn ur graferna. Elevens aktivitet består i att avläsa dataskärmen och utföra beräkningar.

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Parallell information från tre spänningsgrafer och två fält för numeriska momentan- och effektivvärden utgör bas för nästa fas. (Anm. För att komma åt fältet för numeriska momentanvärden måste en spänningsgraf tillfälligt flyttas bort.)

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Eleven kan konstatera att momentanspänningen är positiv över resistorn respektive spolen, negativ över kondensatorn. Numeriska värden avläses.

Fas $7'_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven konsulterar övningshäftet, preciserar sina åtgärder.



Figur 6.1. Grafiska representationer av spänningar i problemsituation 2a och 2b i den didaktiska situationen *övning*.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Vilken är spänningarnas summa? Vad drar du för slutsatser, dvs. vad gäller för komponenternas momentana delspänningar i en RLC-krets? Skriv uttrycket. Vilken lag handlar det om? Eleven ska addera spänningarna.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
(Se fas 5_1.)

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Eleverna gör en beräkning av summan av de momentana respektive effektiva spänningarna. Summan av momentana delspänningar över de tre komponenterna är lika stor som totalspänningen över RLC-kretsen.

Fas 7_2. *Föreställningen on strukturella element testas.*
Eleven kan försöka testa sitt resonemang genom att byta tidpunkt och undersöka spänningssumman.

Fas $7'_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven konsulterar övningshäftet för att gå vidare.

Fas 4_3. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Gäller samma likhet för effektivspänningar? Varför? Eleven ska addera effektivspänningarna från fältet för numeriska effektivvärden.

Fas 5_3. *PDRac-verktygets respons.*
Fältet för numeriska effektivvärden ger nödvändig information.

Fas 6_3. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Eleverna gör en beräkning av summan av effektivspänningarna. **Summan av de effektiva delspänningarna över de tre komponenterna är inte lika stor som totalspänningen över RLC-kretsen.**

Fas 7_3. *Föreställningen on strukturella element testas.*
Eleven kan försöka testa sitt resonemang genom att byta tidpunkt och undersöka spänningssumman.

Fas 8. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*
Resultatet visar att man kan addera momentanspänningar i en sluten växelströmskrets. Denna summa beror av tiden. Däremot är summan av effektivspänningarna konstant och inte lika med effektivspänningen i kretsen som helhet.

Fas 9. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Kirchhoffs lag för spänningar gäller endast för momentanspänningar.
Ekvationen är $u - u_R - u_L - u_C = 0$.

Fas 10. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Effektivspänningen motsvarar definitionsmässigt värdet av den likspänning som ger samma värmeffekt i en resistor som växelspänningen. Effektivspänningen kan skrivas $U = \frac{\hat{u}}{\sqrt{2}}$ och kopplas därmed till toppspänningen. Dess värde är icke-negativt. Fasdifferensen mellan spänningarna över RLC-kretsens komponenter gör att toppspänningen över respektive komponent uppnås vid olika tidpunkter. Därmed kan inte effektivspänningar adderas enligt principen i Kirchhoffs lag. Ytterligare kan bekräftas att spänningen över spolen alltid ligger 90° före spänningen över resistorn och 180° före spänningen över kondensatorn.

Fas 11. *Föreställning om samverkan testas.*
Genom att kvalitativt och kvantitativt testa ovanstående resonemang vid olika tidpunkter under en hel period kan man dra slutsatsen att Kirchhoffs lag för delspänningar i en sluten krets gäller för spänningarnas momentanvärden.

Problemsituation 2b: Potential i en växelströmskrets.

Syfte: Se problemsituation 2a.

Fas 1. *Initiering.*
Samma inställningar som i problemsituation 2a.

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
Samma som problemsituation 2a. (Se figur 6.1 och 6.2).

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven reflekterar över sina kunskaper om potential och andra relaterade storheter, konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Vilka är potentialerna i punkterna A, B, C och D? Elevens aktivitet består i att avläsa dataskärmen och utföra beräkningar.

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Samma som problemsituation 2a.

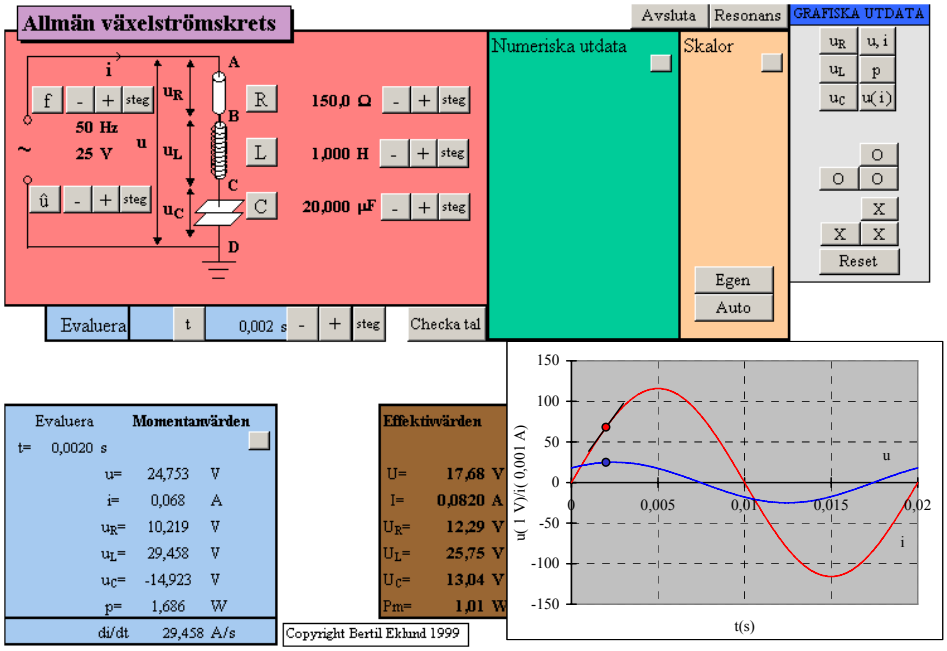
Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Eleven kan konstatera att spänningen är positiv över resistorn respektive spolen, negativ över kondensatorn. Numeriska värden avläses. Potentialen i D är noll. Eftersom spänningen över kondensatorn är negativ är potentialen i C negativ. Spänningsfallet över spolen adderas till potentialen i C (enligt Kirchhoffs lag) för att ge potentialen i B. På samma sätt bestäms potentialen i A. Man får $V_A \approx +24{,}8$ V, $V_B \approx +14{,}5$ V, $V_C \approx -14{,}9$ V, $V_D = 0$.

Fas $7'_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren. Förändringar i spänningar ska studeras.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Ange för varje komponent om spänningen stiger eller sjunker vid tidpunkten $t = 2$ ms. Elevens aktivitet bestäms till att avläsa dataskärmen.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
Samma som problemsituation 2a.

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Man kan konstatera att spänningen stiger över resistorn, sjunker över spolen och stiger över kondensatorn.



Figur 6.2. Numeriska och grafiska representationer av spänning och strömstyrka i problemsituation 2a och 2b i den didaktiska situationen *övning*.

Fas 7'$_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren. Förändringar i strömstyrka ska studeras.

Fas 4$_3$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
I vilken riktning går strömstyrkan i kretsen? Stiger eller sjunker strömstyrkan? Hur mycket? Eleven tar bort spänningsgrafer och tar fram grafen av strömstyrkan (figur 6.2). Aktiviteten består i att avläsa dataskärmen.

Fas 5$_3$. *PDRac-verktygets respons.*
Parallell information från en statisk graf av strömstyrka/spänning och fält för numeriska värden.

Fas 6$_3$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Man kan konstatera att elströmmen går medurs i riktning från A till D genom komponenterna. Totalspänningen stiger ännu något och strömstyrkan stiger med ca 29,5 A/s.

Fas 8. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*
Redogör noggrant för vad som händer i varje komponent och varför spänningen har det tecken du har avläst. Resistorn: Spänningen och ström-

styrkan stiger samtidigt. Potentialen är större i A än i B, ty potentialen sjunker då man går i strömmens riktning. Spolen: Spänningen sjunker men strömstyrkan stiger. Potentialen i B är större än i C, vilket beror på att strömstyrkan stiger och förorsakar att en motriktad elektromotorisk spänning induceras i spolen. Eftersom denna spänning håller på att sjunka, kan strömstyrkan i kretsen stiga. Kondensatorn: Då potentialen i C är lägre än i D har kondensatorn en positiv laddning på platta D och negativ på C. Strömstyrkan som stiger och har en riktning från C till D håller på att tömma kondensatorn på laddning varför spänningen över kondensatorn stiger och går mot noll.

Fas 9. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
För resistorn gäller Ohms lag samt Kirchhoffs lag för potentialändring. Potentialen sjunker då man går i strömmens riktning genom en resistor, och tvärtom. Lenz' lag och Faradays induktionslag tillämpas på spolen och har behandlats i samband med problemsituation 1. Ändringen av laddningen på kondensatorn $\mathrm{d}q = i\mathrm{d}t = C\mathrm{d}u$.

Fas 10. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Resistorn, spolen och kondensatorn är i ett komplicerat samspel i en seriekopplad växelströmskrets. För en resistor följs strömstyrka och spänning alltid åt, medan spolen och kondensatorn åstadkommer en ±90° fasförskjutning mellan spänning och ström. Spänningen över spolen respektive kondensatorn har i varje ögonblick motsatta tecken.

Fas 11. *Föreställning om samverkan testas.*
En liknande analys görs för till exempel tidpunkterna $t = 7$ ms och $t = 15$ ms. I det förra fallet är strömstyrkan i avtagande och riktningen fortfarande medurs. Spänningen över resistorn avtar och är positiv. Eftersom strömstyrkan minskar induceras över spolen en spänning som har blivit negativ. Denna inducerade spänning "hjälper till" att driva strömmen i kretsen. Kondensatorn håller på att laddas så att plattan vid C har fått en positiv laddning, ty potentialen i C är större än i D. Vid $t = 15$ ms är spänningen över spolen noll, vilket förklaras av att strömstyrkan inte ändras ($\mathrm{d}i/\mathrm{d}t = 0$). Kondensatorn är urladdad och spänningen över denna är också noll. Strömmen går i riktning moturs, vilket förklarar att spänningen över resistorn är negativ och har sitt största negativa värde. Sampelet mellan komponenternas spänningar och strömstyrkan i kretsen förklaras av de tidigare nämnda lagarna och bestämmer i varje ögonblick växelströmskretsens funktion. I dessa problemsituationer utnyttjas dynamiken i mindre grad och tyngdpunkten ligger på de statiska, numeriska och grafiska parallellrepresentationerna.

Problemsituation 3: Impedans

Syfte: Att eleven ska undersöka en RLC-krets med avseende på impedans i en rent resistiv, rent induktiv och rent kapacitiv krets samt vid olika kombinationer av komponenterna resistor, spole och kondensator. Sambandet mellan impedans och reaktanser, komponenternas egenskaper samt frekvens undersöks kvalitativt och för enkomponentskretsar kvantitativt.

Fas 1. *Initiering.*
Numeriska datafält tas fram. Inga grafer används.

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
En RLC-krets med parametrarna R, L, C, f, $\hat{u}$ samt numeriska datafält med reaktanser, impedans, fasförskjutning samt effektivvärden utgör startvillkor.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
En strategi för undersökningen av växelströmskretsen utarbetas med stöd av handledningen. Kretsarna undersöks för var och en av de tre växelströmsmotstånden. Undersökningen börjar med en rent resistiv krets.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Studera värdet på impedansen Z och dra slutsatser. Utgångsvärden:
$R = 100\ \Omega$, $L = 0$ H, $C = \infty$. R och f varieras.

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Z ökar då R ökar och omvänt. Z konstant då R är konstant och f varierar. $Z = R$ vid numerisk jämförelse.

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
I en rent resistiv växelströmskrets är impedansen ekvivalent med resistansen och oberoende av frekvensen.

Fas 7_1. *Föreställningen om strukturella element testas.*
De upprepade testerna, som skapar dynamik i händelserna på dataskärmen, bekräftar föreställningarna i fas 6_1 att ingenting annat förändrar impedansen än resistansen. Testerna ger möjlighet att växelvis studera de olika numeriska storheterna för att få en ”känsla” av att studera data parallellt.

Fas $7'_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Övergår till en rent induktiv krets.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Studera värdet på impedansen Z och dra slutsatser. Utgångsvärden: $R = 0\ \Omega$, $L = 0{,}1$ H, $C = \infty$. L och f varieras.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
Z och X_L ökar då L ökar och omvänt, f konstant. Z och X_L ökar då f ökar och omvänt, L konstant. $Z = X_L$ vid numerisk jämförelse.

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
X_L är proportionell mot L resp. mot f. I en rent induktiv krets är impedansen ekvivalent med induktiva reaktansen och beroende av frekvensen och induktansen.

Fas 7_2. *Föreställningen om strukturella element testas.*
De dynamiska testerna bekräftar föreställningarna i fas 6_2.

Fas 8_1. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*
$X_L \sim f$ och $X_L \sim L$. Då är $X_L \sim fL$ eller $X_L = kfL$, k är en konstant. En numerisk kontrollräkning ger $k \approx 6{,}28$.

Fas 9_1. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Under tidigare lektioner har uttrycket $X_L = 2\pi fL = \omega L$ för induktiv reaktans härletts och bekräftas härmed.

Fas 10_1. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
I en rent induktiv växelströmskrets är impedansen ekvivalent med induktiva reaktansen och beror därmed av både frekvensen och induktansen. En ökad frekvens och en ökad induktans gör att växelströmsmotståndet ökar och att strömstyrkan i kretsen därför avtar (och omvänt). Motståndet ökar eftersom en ökad frekvens tvingar strömmen att byta riktning fler gånger per sekund. Den snabba förändringen av strömstyrkan motverkas av spolen (Lenz' lag). En ökad induktans har samma verkan. Med andra ord: hög frekvens och hög induktans ger hög impedans.

Fas 11_1. *Föreställning om samverkan testas.*
Resonemanget i fas 10_1 bekräftas med test, i vilka dynamiken åskådliggör förändringarna och parallellrepresentationerna visar att förändringen av en storhetsparameter (f eller L) förorsakar variationer i flera beroende storheter Z, X_L och I.

Fas $7'_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Övergår till en rent kapacitiv krets.

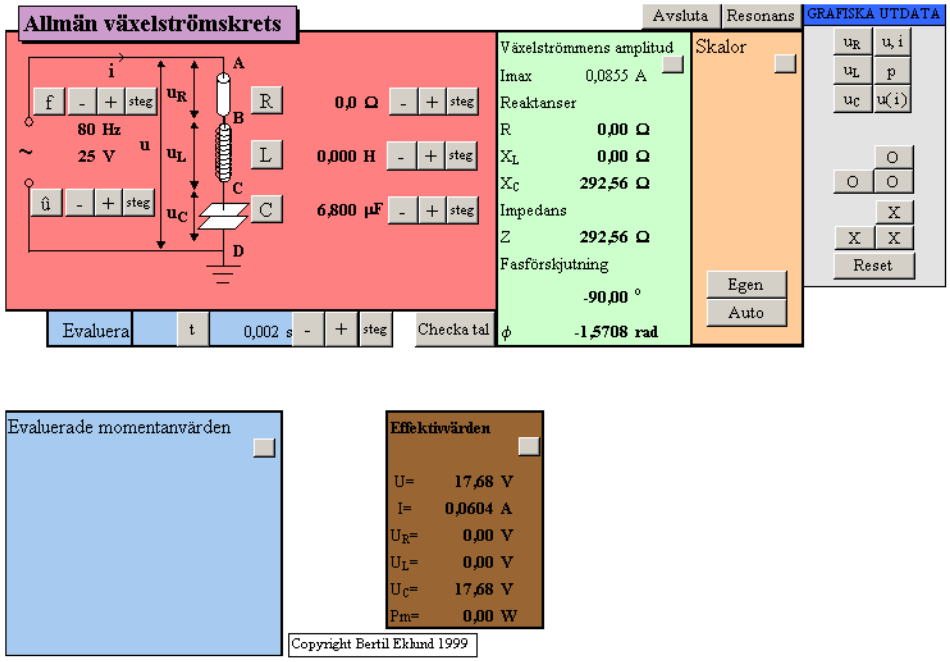
Fas 4_3. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Studera värdet på impedansen Z och dra slutsatser.
Utgångsvärden: $R = 0\ \Omega$, $L = 0$ H, $C = 1\ \mu$F. C och f varieras.

Fas 5_3. *PDRac-verktygets respons.*
Z och X_C minskar då C ökar och omvänt, f konstant. Z och X_C minskar då f ökar och omvänt, C konstant. $Z = X_C$ vid numerisk jämförelse. (Se figur 6.3)

Fas 6_3. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
X_C är omvänt proportionell mot C resp. mot f. I en rent kapacitiv krets är impedansen ekvivalent med kapacitiva reaktansen och beroende av frekvensen och kapacitansen.

Fas 7_3. *Föreställningen om strukturella element testas.*
De dynamiska testerna bekräftar föreställningarna i fas 6_3.

Fas 8_2. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*
$X_C \sim \frac{1}{f}$ och $X_C \sim \frac{1}{C}$. Då är $X_C \sim \frac{1}{f\,C}$ eller $X_C = \frac{k}{f\,C}$, k är en konstant. En numerisk kontrollräkning ger $k \approx 0{,}159 \approx \frac{1}{6{,}28}$.



Figur 6.3. Numeriska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *övning*.

Fas 9_2. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*

Under tidigare lektioner har uttrycket $X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{\omega C}$ för kapacitiva reaktansen härletts och bekräftas härmed.

Fas 10_2. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*

I en rent kapacitiv växelströmskrets är impedansen ekvivalent med kapacitiva reaktansen och beror därmed av både frekvensen och kapacitansen. En minskad frekvens och en minskad kapacitans gör att växelströmsmotståndet ökar och att strömstyrkan i kretsen därför avtar (och omvänt). Med andra ord: små värden på kapacitans och frekvens ger stor impedans (och omvänt).

Fas 11_2. *Föreställning om samverkan testas.*

Resonemanget i fas 10_2 bekräftas med tester.

Fas 7'$_3$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*

En krets med två av storheterna R, L, C ska undersökas. Eleven väljer exempelvis R och C. Storhetsparametrarnas värden ska varieras, likaså frekvensen.

Fas 4_4. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*

Studera värdet på impedansen Z och dra slutsatser. Utgångsvärden:
$R = 100\ \Omega$, $L = 0$ H, $C = 1\ \mu$F. R, C och f varieras.

Fas 5_4. *PDRac-verktygets respons.*

Z ökar då R ökar och omvänt, f konstant. Z och X_C minskar då C ökar och omvänt, f konstant. Z och X_C minskar då f ökar och omvänt, R och C konstant. $Z \neq X_C$ och $Z \neq R$ vid numerisk jämförelse.

Fas 6_4. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*

Impedansen beror nu av två storheter, resistans (eller resisitiv reaktans) och kapacitiv reaktans (som beror av kapacitans och frekvens, se fas 10_2). Impedansen ökar då någon av eller båda reaktanserna ökar, och omvänt.

Fas 7_4. *Föreställningen om strukturella element testas.*

De dynamiska testerna bekräftar föreställningarna i fas 6_4.

Fas 7'$_4$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*

En krets med alla tre storheterna R, L och C ska undersökas. Storhets-parametrarnas värden ska varieras, likaså frekvensen.

Fas 4_5. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Studera värdet på impedansen Z och dra slutsatser. Utgångsvärden:
R = 1000 Ω, L = 1,2 H, C = 1,5 μF. R, L, C och f varieras. De storheter som inte varieras har ovanstående värden.

Fas 5_5. *PDRac-verktygets respons.*
R ökar ⇒ Z ökar. R minskar ⇒ Z minskar. L ökar ⇒ Z ökar. L minskar ⇒ Z minskar, men L minskar och $L < 0,47$ H ⇒ Z ökar! C ökar ⇒ Z ökar (jfr. fas 5_4!). C minskar ⇒ Z minskar, men C minskar och $C < 0,58$ μF ⇒ Z ökar!

Fas 6_5. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Impedansen varierar nu på ett mera komplicerat sätt. Då resistansen varierar kommer impedansen att ändras i samma riktning. Däremot kan impedansändringen byta riktning, då induktansen eller kapacitansen passerar ett givet värde. Det visar sig att detta sker då induktiva resp. kapacitiva reaktanserna passerar lika stora värden (dvs. då differensen mellan reaktanserna byter tecken). I detta s.k. gränsfall tycks impedansen vara lika stor som resistansen! Allmänt kan man till exempel säga att impedansen närmar sig värdet hos den reaktans som får ett stort värde.

Fas 7_5. *Föreställningen om strukturella element testas.*
De dynamiska testerna bekräftar föreställningarna i fas 6_5.

Fas 8 – 11.
Då flera komponenter bygger upp växelströmskretsen är de fysikaliska sambanden komplicerade och kan inte kvantitativt fastställas med PDRac-verktyget.

Bilaga 7. Problemsituationerna 1b och 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Problemsituation 1b: Fasförskjutning och komponentspänningar i en RC-krets.

Syfte: Att eleven ska undersöka egenskaperna och funktionen hos en seriekopplad RC-krets med avseende på fasförskjutning och fördelning av spänning över resistor och kondensator.

Fas 1. *Initiering.*

Parametrar:	f = 50 Hz, $\hat{u}$ = 25 V, R = 100 Ω, L = 0 H, C = 1 μF (steglängd 1 μF)
Skalor:	maxtid på t-axeln = 0,02 s, spänningsskala = 1 V, strömstyrkeskala = 10 mA, effektskala = 1 W
Grafer:	$u(t)$, $i(t)$, maximalspänning 25 V, fast skala

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
En RC-krets med parametrar enligt tabellen ovan och en $u(t)$, $i(t)$-graf utgör utgångsläget för undersökningen av kretsen. I fortsättningen hänvisas till figur 7.1.

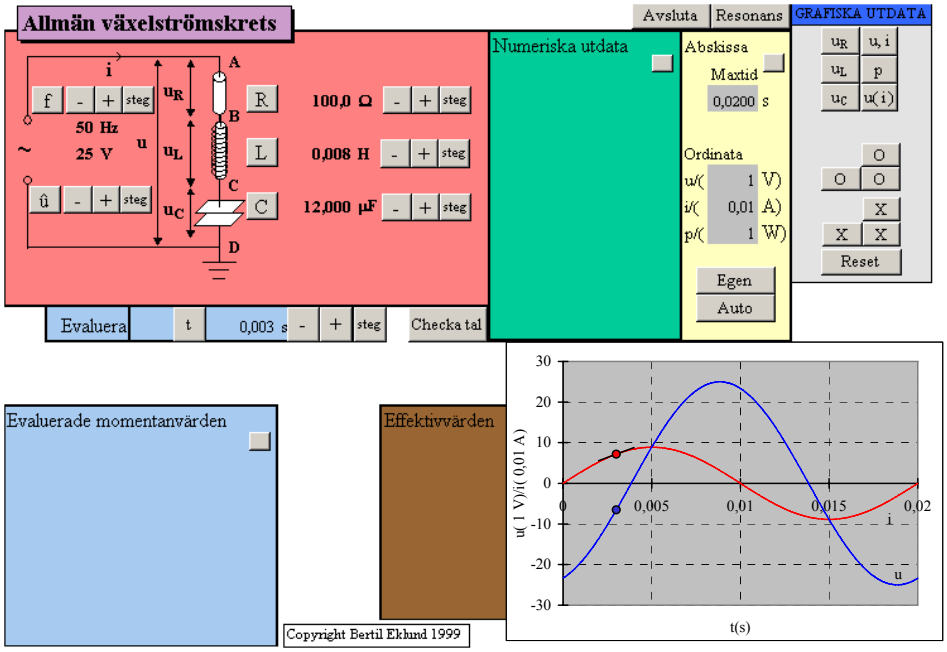
Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven reflekterar över sina kunskaper om den fysikaliska situationen som är för handen, konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Vilken av spänningens och strömstyrkans toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då C ändras? Eleven beslutar att öka kapacitansen C i steg om 1 μF. Grafen ska studeras vid kapacitansändringen.

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningens toppvärde ligger efter strömstyrkans. Spänningskurvan förskjuts åt vänster. Strömstyrkekurvans amplitud ökar.

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks minska då C ökar och R är konstant.

Fas 7_1. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka kapacitansen C. Sekvensen 5 – 6 – 7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_1 och resonemanget i 6_1 bekräftas. Vid minskning av C visas att processen är reversibel.



Figur 7.1. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 1b i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Fas 7'$_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven studerar hur övningen fortsätter och återställer parametervärdena till de i elevhandledningen föreslagna. R = 100 Ω, C = 30 µF. Steglängden vid ändringen av R sätts till 50 Ω.

Fas 4$_2$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Jämför u- och i-graferna. Vad händer? Varför? Vilken av spänningens och strömstyrkans toppvärden kommer före i tid? Hur ändras fasförskjutningen då R ändras? Eleven beslutar att öka resistansen R i steg om 50 Ω. Grafen ska studeras vid resistansändringen.

Fas 5$_2$. *PDRac-verktygets respons.*
Spänningskurvan förskjuts åt vänster. Strömstyrkekurvans amplitud minskar.

Fas 6$_2$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Fasförskjutningen mellan spänning och ström tycks minska då R ökar och C är konstant.

Fas 7_2. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka resistansen R. Sekvensen 5 – 6 – 7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_2 och resonemanget i 6_2 bekräftas. Vid minskning av R visas att processen är reversibel.

Fas $7'_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
I fortsättningen studeras u_R- respektive u_C-graferna.

Fas 4_3. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Hur är det med fasförskjutningen mellan a) spänningen u_R och strömmen, b) spänningen u_C och strömmen? De aktuella graferna tas fram och studeras.

Fas 5_3. *PDRac-verktygets respons.*
RC-kretsen representeras av graferna $u_R(t)$, $u_C(t)$, $u(t)$ och $i(t)$. Spänningen $u_R(t)$ och strömstyrkan $i(t)$ ligger i samma fas. Spänningen $u_C(t)$ ligger 90° efter strömstyrkan $i(t)$.

Fas 6_3. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Fasförskjutningarna mellan spänning och strömstyrka är för de enskilda komponenterna invarianta. Fasförskjutningen mellan kretsens totalspänning och strömstyrka varierar däremot då C och R varierar.

Fas $7'_3$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
I fortsättningen studeras u_R-, u_C-, u- samt i-graferna. Spänningsskalorna fixeras till 25 V för att skalorna inte ska ”flyta” vid amplitudändringar. Vid behov plockas numeriska data, reaktanser och effektivvärden fram. I det följande sker resonemanget i termer av effektivvärden.

Fas 4_4. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Vad kan man upptäcka och hur förklaras förändringarna i andra storheter då C varieras?
$R = 100\ \Omega$ hålls konstant och C ökas/minskas i steg om 5 μF.

Fas 5_4. *PDRac-verktygets respons.*
Då C minskar sker följande:
* fasförskjutningen $|\phi|$ ökar
* strömstyrkan I minskar
* spänningen U_R minskar
* spänningen U_C ökar

Fas 6_4. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Följande iakttagelser (längst till höger i utsagorna) och deras orsaker (till vänster) kan kvalitativt refereras:
C minskar $\Rightarrow$ X_C ökar $\Rightarrow$ $|\phi|$ ökar. X_C ökar $\Rightarrow$ Z ökar $\Rightarrow$ I minskar, ty U är konstant. I minskar $\Rightarrow$ U_R minskar, ty R är konstant. U_C ökar trots att I

minskar, vilket verkar paradoxalt. Kan detta kanske förklaras av att X_C också ökar?

Fas 7$_4$. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att minska kapacitansen *C*. Sekvensen 5 – 6 – 7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_4 och resonemanget i 6_4 bekräftas. Vid ökning av *C* visas att processen är reversibel.

Fas 8$_1$. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*

* Vid konstant frekvens är X_C omvänt proportionell mot *C*, ty $X_C = \frac{1}{2\pi f C}$.
  Från tidigare är det även bekant att tan $\phi = -\frac{X_C}{R}$. En ökning av X_C medför en ökning av $|\phi|$ (ty tan ϕ är en strängt växande funktion för $-\frac{\pi}{2} < \phi < \frac{\pi}{2}$) samt omvänt.
* Eftersom $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + X_C{}^2}$ medför en ökning av X_C också en ökning av *Z* samt en minskning av *I*, då *U* är konstant. Omvändningen gäller.
* U_R är proportionell mot *I* då *R* är konstant, dvs. $U_R = RI$.
* $U_C = X_C I$ gäller för konstanta värden på X_C. I ovanstående simulation förändras X_C. Hur förklarar detta variationer i spänning och strömstyrka? (Se fas 10_1.)

Fas 9$_1$. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Ohms lag i generaliserad form gäller för effektivvärden i en växelströmskrets: $U = ZI$, $U_R = RI$, $U_C = X_C I$.

Fas 10$_1$. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Låt oss minska kapacitansen *C*. Då ökar X_C. Om ökningen sker så att $X_C >> R$ blir kondensatorn en alltmer ”dominerande” komponent i kretsen. En allt större del av totalspänningen kommer då att ligga över kondensatorn. Vid ett försumbart värde på *R* i förhållande till X_C gäller att $U_C \approx U$, medan $U_R \approx 0$. Sammanfattningsvis gäller att, då X_C ökar kommer *Z* att öka och *I* att minska. U_R minskar eftersom *I* minskar och *R* är konstant. Däremot kommer U_C att öka, enligt resonemanget ovan, trots att *I* minskar. Denna spänningsökning möjliggörs av att fasförskjutningen mellan totalspänning och strömstyrka ökar och att spänningen U_C närmar sig värdet av totalspänningen *U*.

Fas 11$_1$. *Föreställning om samverkan testas.*
Kan ovanstående resonemang bekräftas? Eleven fortsätter att öka respektive minska kapacitansen *C* för att fastställa systemeffekterna.

Fas 7'$_4$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
I fortsättningen är C konstant (= 30 μF) och R varieras.

Fas 4$_5$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Vad kan man upptäcka och hur förklaras förändringarna i andra storheter då R varieras?
C = 30 μF hålls konstant och R ökas/minskas i steg om 50 Ω.

Fas 5$_5$. *PDRac-verktygets respons.*
Då R ökar sker följande:
* fasförskjutningen $|\phi|$ minskar
* strömstyrkan I minskar
* spänningen U_C minskar
* spänningen U_R ökar

Fas 6$_5$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Följande iakttagelser (längst till höger i utsagorna) och deras orsaker (till vänster) kan kvalitativt refereras:
R ökar $\Rightarrow$ $|\phi|$ minskar. R ökar $\Rightarrow$ Z ökar $\Rightarrow$ I minskar, ty U är konstant. I minskar $\Rightarrow$ U_C minskar, ty C och f är konstanta, dvs. X_C är konstant. U_R ökar trots att I minskar, vilket verkar paradoxalt. Kan kanske förklaras av att R också ökar?

Fas 7$_5$. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Fortsätter tendensen? Eleven fortsätter att öka resistansen R. Sekvensen 5 – 6 – 7 upprepas ett valfritt antal gånger. Iakttagelserna i fas 5_5 och resonemanget i 6_5 bekräftas. Vid minskning av R visas att processen är reversibel.

Fas 8$_2$. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*

* Från tidigare är det bekant att tan $\phi = -\frac{X_C}{R}$. En ökning av R medför en minskning av $|\phi|$ (ty tan ϕ är en strängt växande funktion för $-\frac{\pi}{2} < \phi < \frac{\pi}{2}$) samt omvänt.
* Eftersom $Z = \frac{U}{I} = \sqrt{R^2 + {X_C}^2}$ medför en ökning av R också en ökning av Z samt en minskning av I, då U är konstant. Omvändningen gäller.
* U_C är proportionell mot I då C och f är konstanta, dvs. $U_C = \frac{I}{2\pi f C} = X_C I$.
* $U_R = RI$ gäller för konstanta värden på R. I ovanstående simulation förändras R. Hur förklarar detta variationer i spänning och strömstyrka? (Se fas 10_2)

Fas 9_2. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*
Ohms lag i generaliserad form gäller för effektivvärden i en växelströmskrets: $U = ZI$, $U_R = RI$, $U_C = X_C I$.

Fas 10_2. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*
Då R ökar så att $R >> X_C$ blir resistorn en alltmer ”dominerande” komponent i kretsen. En allt större del av totalspänningen kommer då att ligga över resistorn. Vid ett försumbart värde på X_C i förhållande till R gäller att $U_R \approx U$, medan $U_C \approx 0$. Sammanfattningsvis gäller att, då R ökar kommer Z att öka och I att minska. U_C minskar eftersom I minskar och X_C är konstant. Däremot kommer U_R att öka, enligt resonemanget ovan, trots att I minskar. Denna spänningsökning möjliggörs av att fasförskjutningen mellan totalspänning och ström minskar och spänningen U_R närmar sig värdet av totalspänningen U.

Fas 11_2. *Föreställning om samverkan testas.*
Kan ovanstående resonemang bekräftas? Eleven fortsätter att öka respektive minska resistansen R för att fastställa systemeffekterna.

Problemsituation 3: Impedansens och reaktansernas frekvensberoende. Resonansfrekvens.

Syfte: Att eleven ska undersöka en seriekopplad RLC-krets med avseende på impedansen, reaktanserna och strömstyrkan som funktion av frekvensen. Serieresonansfenomenet, dess egenskaper och resonansfrekvensen undersöks vidare.

Fas 1. *Initiering.*
Kalkylbladet RESONANS väljs. Frekvensområdet väljs till intervallet 20 – 150 hz. De tidigare valda parametervärdena kopieras automatiskt till det nya kalkylbladet.

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
En RLC-krets med parametrarna R = 260 Ω, L = 1,49 H och C = 6,8 μF, graferna $R(f)$, $X_L(f)$, $X_C(f)$ och $Z(f)$ samt $i(f)$ utgör utgångsläget för undersökningen av kretsen, figur 7.2.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven reflekterar över sina kunskaper om den fysikaliska situation som är för handen, konsulterar övningsmaterialet, eventuellt andra elever och läraren.

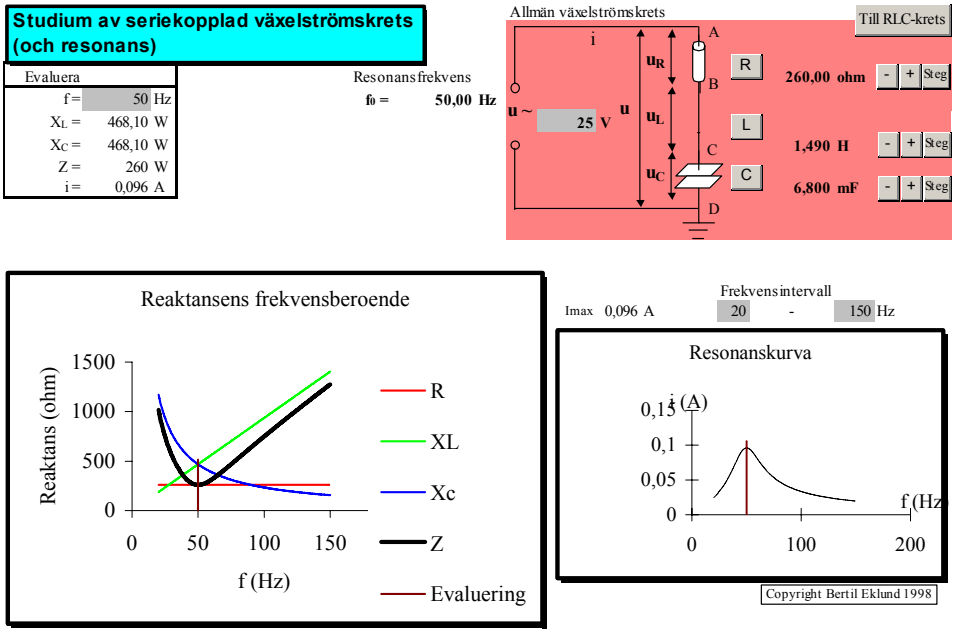
Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Studera hur resistansen, induktiva reaktansen, kapacitiva reaktansen och impedansen beror av frekvensen. Vad finner du? Vilket värde har resonansfrekvensen? Studera noggrant villkoren för resonansfrekvensen genom att

använda den lodräta "evalueringslinjalen". Mata in olika frekvenser. Eleven beslutar att studera informationen på dataskärmen.

Fas 5$_1$. *PDRac-verktygets respons.*
Statiska grafer och numeriska värden visas enligt figur 7.2.

Fas 6$_1$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
* Resistansen är oberoende av frekvensen.
* Induktiva reaktansen stiger linjärt med frekvensen. (Spolen gör större motstånd i en krets med hög frekvens och omvänt.)
* Kapacitiva reaktansen sjunker vid stigande frekvens. (Kondensatorn gör mindre motstånd i en krets med hög frekvens och omvänt.)
* Impedansen är (vid frekvensökning) avtagande för låga och stigande för högre frekvenser.
* Impedansen har ett minimum (i det aktuella fallet) vid frekvensen 50 Hz, som är resonansfrekvens.
* Impedansens värde vid resonansfrekvensen är lika med resistansen.
* Induktiva och kapacitiva reaktanserna är lika stora vid resonansfrekvensen.
* Strömstyrkan i kretsen når ett maximum vid resonansfrekvensen.

Fas 7'$_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Eleven konsulterar handledningen.



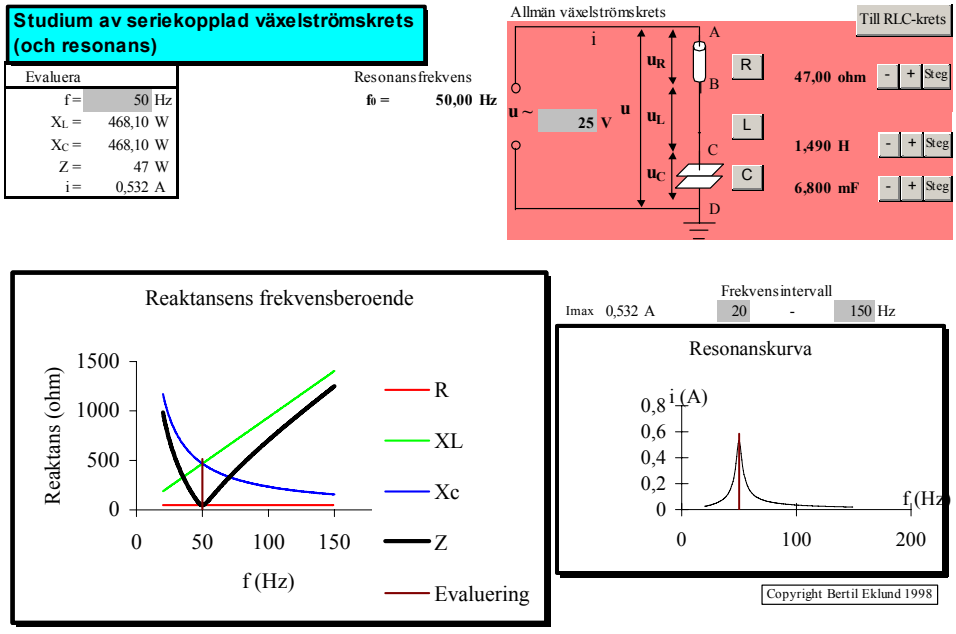
Figur 7.2. Serieresonans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Variera R, L, C och û och studera förändringarna. Eleven beslutar att variera storheterna i tur och ordning.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
Statiska grafer och numeriska värden visas enligt figur 7.3 (krets med liten resistans), figur 7.4 (krets med stor resistans), figur 7.5 (krets, där induktansen har ökats i jämförelse med resonanskretsen i figur 7.2).

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
* Resistansen och spänningen påverkar inte resonansfrekvensen.
* Vid låg resistans är impedansmimimum mera distinkt än vid hög resistans. Resonanskurvan (strömstyrkan som funktion av frekvensen) är spetsig i det första fallet och flack i det andra.
* Resonansfrekvensen sjunker då induktansen respektive kapacitansen stiger och omvänt.

Fas 7. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Eleven varierar parametrarna, en åt gången, för att bekräfta föreställningarna i fas 6_2.



Figur 7.3. Serieresonans vid liten resistans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Fas 8. *Funktionellt beroende av fysikaliska storheter.*

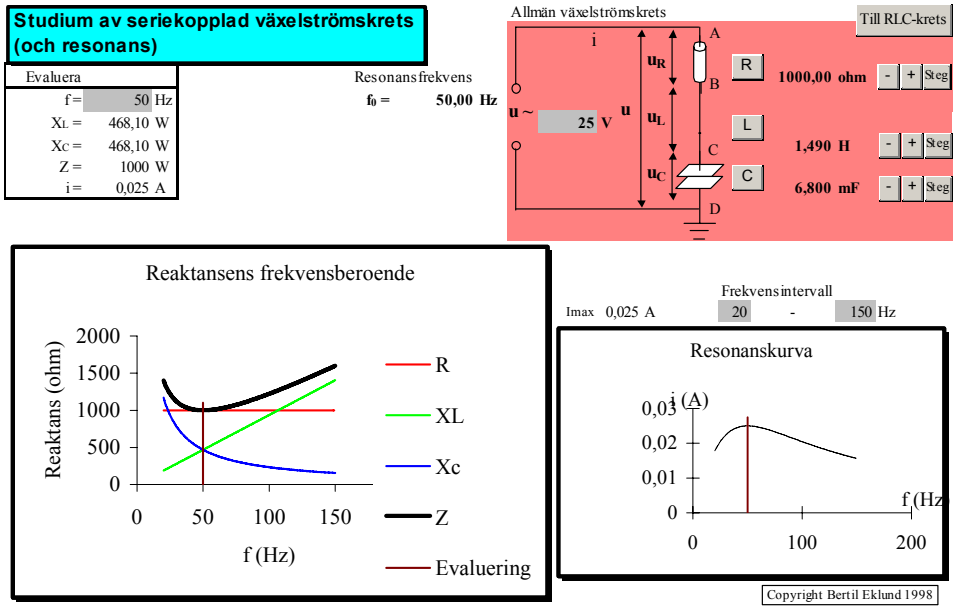
Under tidigare lektioner har impedansen $Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$ behandlats. Eftersom Z uppenbarligen är lika med R vid serieresonans, måste $X_L - X_C$ vara noll, dvs. de induktiva och kapacitiva reaktanserna är lika. Man får $X_L = X_C$.

Fas 9. *Resonemang och slutsatser om fysikaliska lagar.*

Villkoret $X_L = X_C$ utvecklas och man får $\omega L = \frac{1}{\omega C}$, varvid $\omega = \frac{1}{\sqrt{LC}}$ eller $2\pi f = \frac{1}{\sqrt{LC}}$. Ur denna ekvation erhålls RLC-kretsens resonansfrekvens $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$.

Fas 10. *Resonemang, föreställning om samverkan byggs upp; från beroende till systemeffekter.*

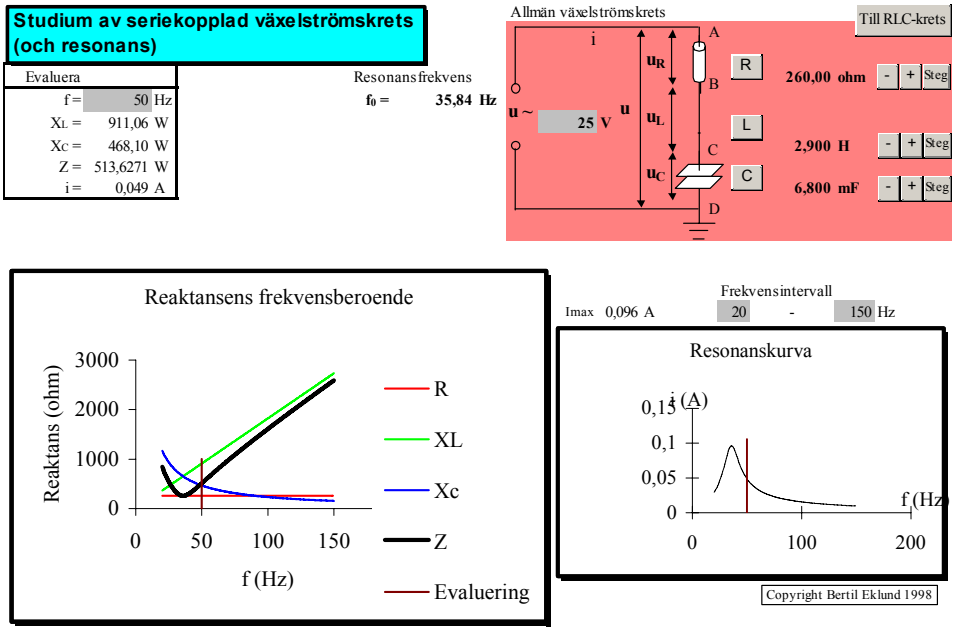
En RLC-krets kan komma i serieresonans vid vissa kombinationer av värdena på induktans och kapacitans. Dessa värden bestämmer samtidigt kretsen resonansfrekvens. Vid serieresonans har impedansen nått ett minimum, som motsvarar kretsens resistans. Följden av detta är att strömstyrkan i kretsen har uppnått ett maximum.



Figur 7.4. Serieresonans vid stor resistans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Resonansfrekvensen beror inte av resistansen. Serieresonanstillståndet är dock beroende av resistansen på följande sätt: 1) En låg resistans ger ett distinkt, eller skarpt resonansläge. En liten variation i växelströmskretsens frekvens förpassar kretsen ur resonansläget, eftersom $X_L - X_C \neq 0$: fasförskjutningen ändrar kraftigt, likaså impedansen. Resonanskurvan är spetsig. 2) En krets med hög resistans är inte lika känslig för frekvensvariationer. Fasförskjutning och impedans ändrar obetydligt vid måttliga frekvensförskjutningar. Resonanskurvan är flack.

Fas 11. *Föreställning om samverkan testas.*
En dynamisk förändring av resistans och frekvens bekräftar ovanstående resonemang.



Figur 7.5. Ökad induktans. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 3 i den didaktiska situationen *begreppsintroduktion*.

Bilaga 8. Problemsituationerna 2, 3, 4 och 5 i den didaktiska situationen *utvärdering*.

Problemsituation 2. Reaktanstyp.

Syfte: Att eleven ska koppla en (virtuell) växelströmskrets under givna premisser.

Fas 1. *Initiering.*
Den basinformation som eleven får i provuppgiften är att $\hat{u} = 20$ V och $f = 200$ Hz. Knappen ***a*** motsvarar f och knappen ***e*** motsvarar $\hat{u}$ (se fas 6_{10} i problemsituation 1.)

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
Med ovanstående storheter inmatade är kretsen fortfarande kortsluten, förutsatt att alla parametrar har nollställts i problemsituation 1. (I annat fall kan eleven blott gå vidare.)

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Eleven studerar villkoren i provuppgiften och tänker ut en möjlig strategi för det fortsatta arbetet med uppgiften.

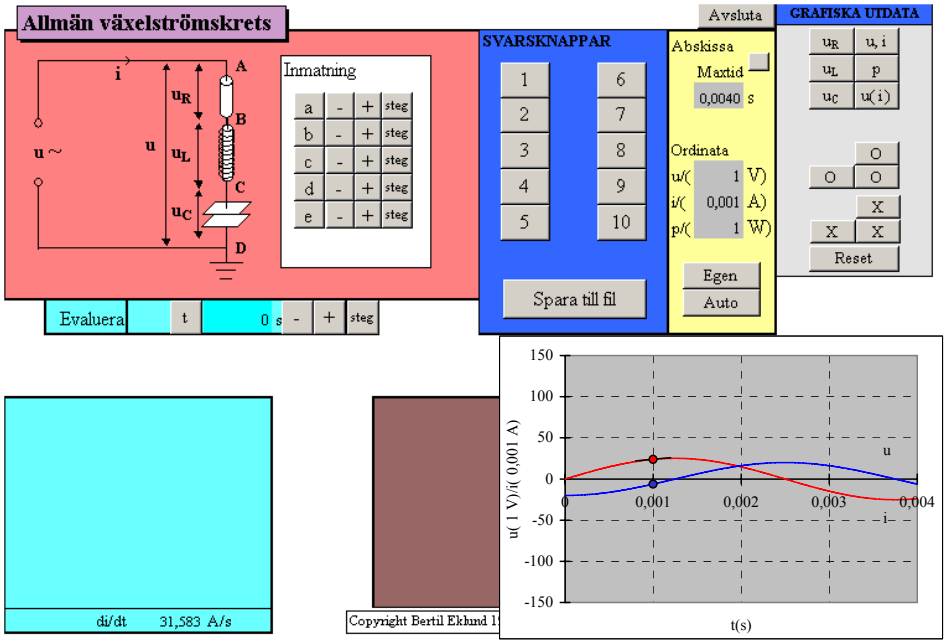
Fas 4. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Bestäm strömstyrkans amplitud till 150 mA, då fasförskjutningen mellan spänning och strömstyrka är –90°. Hur ska man kunna utnyttja de givna villkoren? Eftersom fasförskjutningen är –90° är kretsen rent kapacitiv. Med andra ord: en kondensator ska kopplas till växelströmskällan. Eleven beslutar att sätta in en kondensator med en godtycklig utgångskapacitans, till exempel 1 μF, och justera denna kapacitans så att maximiströmstyrkan når det önskade värdet. Inmatningen sker med knapp ***b***. Eftersom det (avsiktligt) inte finns numeriska data att tillgå i denna version av PDRac-verktyget måste $i(t)$-grafen tas fram. Skalorna på koordinatsystemets axlar måste justeras. Maximitiden väljs till exempel till 5 ms och maximiströmstyrkan till 150 mA.

Fas 5. *PDRac-verktygets respons.*
Med de ovan inmatade värdena fås en $i(t)$-graf med maximiströmstyrkan ≈ 25 mA. Fasförskjutningen är –90°. (Se figur 8.1)

Fas 6. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Från tidigare problemsituationer med PDRac är det bekant att en ökning av kondensatorns kapacitans gör det lättare för strömmen att ”passera”. Orsaken är att en ökad kapacitans ger en minskad kapacitiv reaktans, som i detta fall är ekvivalent med impedansen.

Fas 7. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Kapacitansen ökas med steglängden 1 µF tills maximiströmstyrkan uppnår det önskade värdet 150 mA. Med ögonmått kan man konstatera att steglängden inte behöver justeras, ty det efterfrågade värdet på maximiströmstyrkan tycks uppfyllas i och med den valda steglängden.

Fas 7'. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Resultatet sparas.



Figur 8.1. Utgångsläget efter grundläggande analys av provuppgiften i problemsituation 2.

Problemsituation 3. Spänning och potential.

Syfte: Att eleven ska bestämma spänningar och spänningsändringar över växelströmskomponenterna samt potentialer i olika punkter i växelströmskretsen med hjälp av grafer.

Fas 1. *Initiering.*
Den basinformation som eleven får i provuppgiften är att $\hat{u} = 35$ V och $f = 200$ Hz, $R = 220\ \Omega$, $L = 0{,}3$ H och $C = 4{,}0$ µF. Graferna $i(t)/u(t)$ och till exempel $u_R(t)$ och $u_L(t)$ tas fram. Grafen $u_C(t)$ tas fram i ett senare skede eftersom alla grafer inte ryms på dataskärmen samtidigt.

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
De tre nämnda graferna är utplacerade på dataskärmen och anger kretsens status.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Provuppgiften ger information om vad som söks.

Fas 4$_1$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Bestäm med grafernas hjälp följande spänningar och potentialer vid tidpunkten 0,003 s (heltaliga värden duger): u, u_R, u_L, u_C, V_A, V_B, V_C, V_D. Tidpunkten $t = 0{,}003$ s matas in.

Fas 5$_1$. *PDRac-verktygets respons.*
En punkt på samtliga grafer markerar storheternas momentanvärden vid den givna tidpunkten.

Fas 6$_1$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
En mekanisk avläsning av de önskade spänningarna och potentialerna görs och antecknas.

Fas 7'$_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Nästa uppgift studeras.

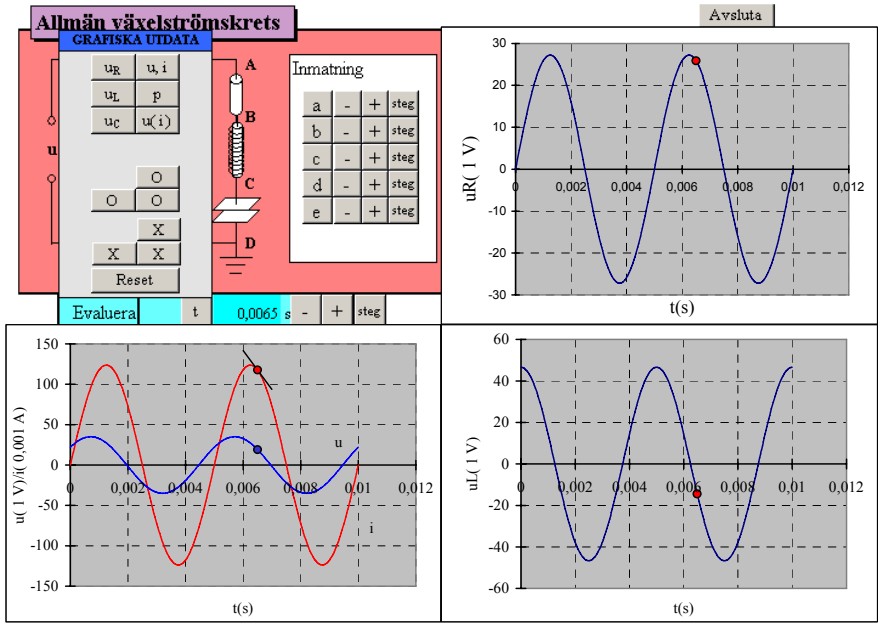
Fas 4$_2$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Hur ändras spänningen över spolen och resistorn i tidsintervallet 0,006 s till 0,0065 s? Förklara fysikaliskt med hjälp av strömkurvan. Tidpunkten $t = 0{,}006$ s matas in. Steglängden för ändringen av t sätts till 0,0005 s för att snabbt kunna växla mellan de givna intervallgränserna. Maxtiden på tidsaxeln väljs till 0,01 s.

Fas 5$_2$. *PDRac-verktygets respons.*
$i(t)/u(t)$-, $u_R(t)$- och $u_L(t)$-graferna presenteras på dataskärmen. Situationen vid $t = 0{,}0065$ s visas i figur 8.2.

Fas 6$_2$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
I det angivna tidsintervallet har strömstyrkans tidsderivata ändrat från ett positivt till ett negativt värde och har passerat värdet noll (tangenten vågrät) vid tidpunkten för strömstyrkans maximivärde. I det givna tidsintervallet har spänningen över resistorn passerat ett maximivärde. Spänning och strömstyrka har ”följts åt”. Detta beror på att spänning och ström ligger i fas i förhållande till varandra. Spänningen över spolen har minskat från ett positivt till ett negativt värde och har passerat värdet noll. Detta beror på, enligt Lenz' lag, att om ändringen per tidsenhet av strömstyrken är a) positiv, så induceras en positiv spänning över spolen, b) noll, så induceras ingen spänning över spolen

och c) negativ, så induceras en negativ spänning (spänningens polaritet byter riktning) över spolen.

Fas 7'$_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Inställningarna sparas.



Figur 8.2. Numeriska och grafiska representationer i andra fassekvensen 4_2–6_2 i problemsituation 3.

Problemsituation 4. Resonans.

Syfte: Att eleven ska försätta RLC-kretsen i resonans utgående från premisserna i problemsituation 3.

Fas 1. *Initiering.*
Alla parameterinställningar har gjorts i problemsituation 3. Endast $i(t)/u(t)$-grafen är nödvändig som visuellt hjälpmedel. De övriga graferna kan tas bort.

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
Den nämnda grafen över strömstyrka och spänning är utplacerad på dataskärmen.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Provuppgiften ger information om vad som söks.

Fas 4_1. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Gör förändringar i RLC-kretsen i föregående uppgift så att kretsen är i resonans. Enligt de föregående didaktiska situationerna är det spolens induktans, kondensatorns kapacitans eller frekvensen som kan inverka på kretsens resonanstillstånd. Eleven beslutar att välja någondera storheten och ändra den.

Fas 5_1. *PDRac-verktygets respons.*
Enligt *i*/*u*-grafen tycks spänningen ligga något före strömmen.

Fas 6_1. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Om spänningen ligger före strömmen är det spolen som i någon mån ”dominerar” över kondensatorn beträffande reaktans. Fasförskjutningen är positiv.
Alternativ:
a) en minskning av induktansen eller frekvensen minskar spolens reaktans
b) en minskning av kapacitansen eller frekvensen ökar kondensatorns reaktans
Det är egalt vilken eller vilka av storheterna som justeras!

Fas 7_1. *Föreställningen om strukturella element testas.*
En justering av induktansen och kapacitansen enligt fas 6_1 ger det önskvärda resultatet, men hur nära resonanstillståndet är kretsen, hur noggrant kan man ställa in parametrarna?

Fas $7'_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Man måste utnyttja alla tillgängliga grafiska och numeriska data för att avgöra om kretsen är försatt i resonans.

Fas 4_2. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Hur kan man i praktiken förbättra möjligheterna att bekräfta kretsens resonanstillstånd? Alternativ:
1) Man kan justera tidsaxelns skala för att få bättre avläsning, till exempel så att endast en halv våglängd av strömstyrkegrafen utritas.
2) Strömstyrkans tidsderivata representeras också numeriskt. Eleven beslutar att minska steglängden på induktans- och kapacitansändringen för att kunna finjustera storhetsvärdena. Tidpunkten för bestämning av momentanvärden sätts till $t = 0$.

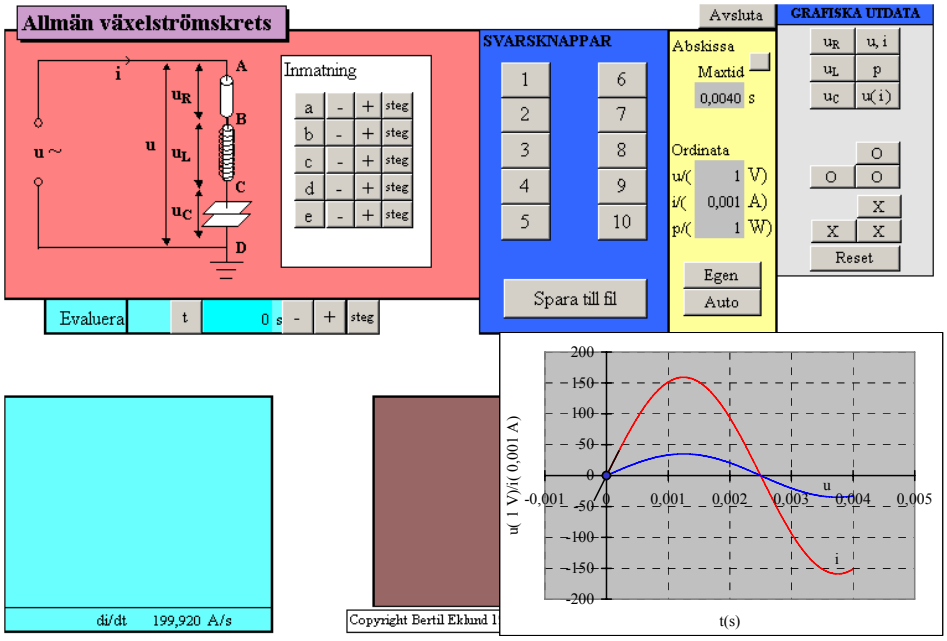
Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
Grafen av strömstyrka och spänning presenteras i figur 8.3.

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
* Med en halv våglängd av strömstyrkegrafen utritad kan man med ögonmått relativt noggrant avgöra om fasförskjutningen är noll.
* I resonanstillståndet har impedansen ett minimum. Det betyder att strömstyrkans amplitud har ett maximum. Då måste också strömstyrkans

tidsderivata i strömstyrkans nollställen ha ett maximum (positivt eller negativt). Ett av strömstyrkans nollställen är $t = 0$.

Fas 7_2. *Föreställningen om strukturella element testas.*
En finjustering av induktansen och kapacitansen enlig fas 6_2 ger det önskvärda resultatet visuellt (se figur 8.3).

Fas $7'_2$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Resultatet, dvs. kretsens inställningar sparas.



Figur 8.3. Serieresonanstillstånd. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 4.

Problemsituation 5. Allmän växelströmskrets.

Syfte: Att eleven ska analysera kretsens tillstånd i olika punkter och vid olika tidpunkter.

Fas 1. *Initiering.*
Den basinformation som eleven får i provuppgiften är att $\hat{u} = 28$ V och $f = 75$ Hz, $R = 1000$ Ω, $L = 2{,}0$ H och $C = 1{,}7$ µF. Graferna $i(t)/u(t)$ och $u_C(t)$ tas fram.

Fas 2. *Utgångsvillkor.*
De nämnda graferna är utplacerade på dataskärmen.

Fas 3. *Resonemang om utgångsvillkor och nästa steg.*
Provuppgiften ger information om vad som söks.

Fas 4$_1$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
I vilket tidsintervall (under första perioden) är laddningen på kondensatorplatta C positiv samtidigt som strömmen har positiv riktning? Markören, som anger momentansituationen i graferna, ska flyttas för att villkoren ska uppfyllas. Sätter tidpunkten till 0,003333 s.

Fas 5$_1$. *PDRac-verktygets respons.*
Graferna $i(t)/u(t)$ och $u_C(t)$ med markörer vid t = 0,003333 s utgör visuell form av utdata. (Se figur 8.4)

Fas 6$_1$. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
Kondensatorplatta C har en positiv laddning under den halvperiod då potentialen på plattan är positiv, eller spänningen mellan C och D är positiv, ty D är jordad.

* Då spänningen över kondensatorn ligger 90° efter strömmen kommer spänningen att gå från ett negativt värde till ett positivt vid en tidpunkt då strömstyrkan har sitt toppvärde. Vid den tidpunkten är strömstyrkans tidsderivata $\mathrm{d}i/\mathrm{d}t = 0$.
* Eftersom kondensatorspänningen ligger ¼ period efter strömmen kan tidpunkten i fråga även beräknas som $t = \frac{1}{4} \cdot \frac{1}{75}\ s = \frac{1}{300}\ s \approx 0,003333$ s.

Fas 7$_1$. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Det efterfrågade tidsintervallets övre gräns ligger vid strömkurvans andra nollställe, vid $t = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{75}\ s = \frac{1}{150}\ s \approx 0,006667$ s. Kondensatorplatta C har således positiv laddning för $t \in$ [0,003333 s, 0,006667 s].

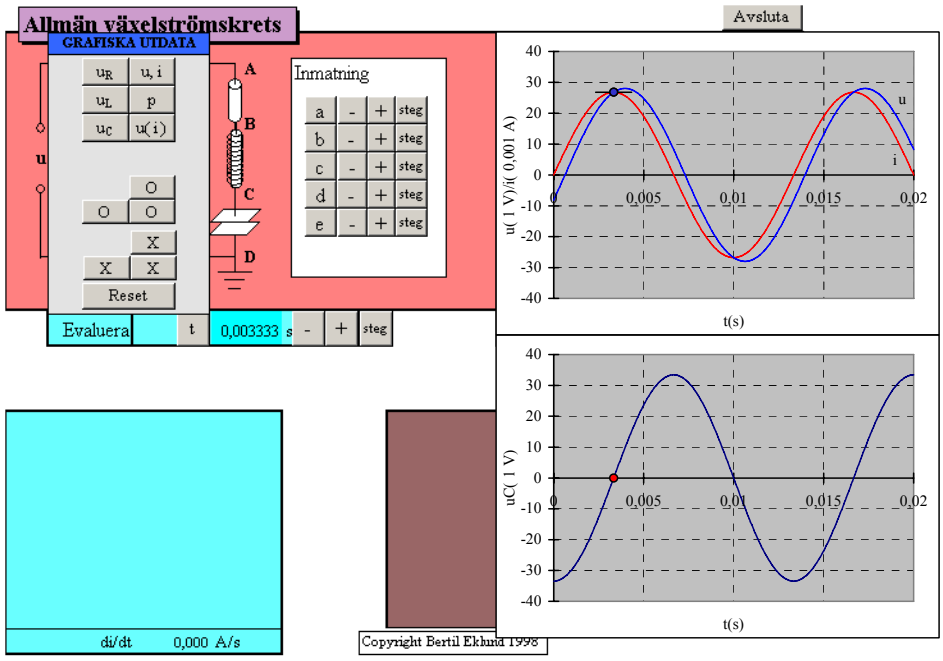
Fas 7'$_1$. *Resonemang kring en ny aspekt av situationen.*
Resultatet sparas.

Fas 4$_2$. *Frågeställning, åtgärdsbeslut.*
Ange för ovanstående tidsintervall vilken ända av respektive komponent som har högre potential. Motivera för varje komponent. Vilken komponent, spolen eller kondensatorn, är dominerande i kretsen och varför? Varje komponents spänningsgraf inklusive grafen över totalspänning och -strömstyrka tas fram och studeras i tidsintervallet i fråga. Steglängden för tidpunktens markering väljs till 0,003333 s för att snabbt kunna flytta mellan intervallets ändpunkter.

Fas 5_2. *PDRac-verktygets respons.*
Ovannämnda grafer tas fram på dataskärmen. En punkt som markerar tidsintervallets ändpunkt flyttas fram och tillbaka mellan ändpunkterna för att man ska se vilken del av grafen som faller inom tidsintervallet.

Fas 6_2. *Resonemang. Föreställning om strukturella element byggs upp.*
För resistorn gäller att punkten A har högre potential än B. Strömstyrkan i kretsen är positiv i ifrågavarande tidsintervall. Ström och spänning är i fas över resistorn. Därför faller potentialen i strömstyrkans riktning (från A till B). För spolen gäller att C har högre potential än B. Strömstyrkan är i avtagande. Då induceras över spolen en spänning, som har en sådan polaritet att minskningen av strömstyrkan motverkas (Lenz' lag). Spolen fungerar som en strömkälla vars positiva pol är C för att den inducerade strömmen ska ha samma riktning som strömmen i kretsen. För kondensatorn gäller att C har högre potential än D. I tidsintervallets början är kondensatorn oladdad. Strömmen i kretsen laddar kondensatorn, som på platta C får en positiv laddning. Därigenom får den en högre potential än D. Spänningen löper efter strömstyrkan, fasförskjutningen är negativ och därmed dominerar kondensatorn över spolen med avseende på reaktansen.

Fas 7_2. *Föreställningen om strukturella element testas.*
Ovanstående resonemang bekräftas genom kontroll av kretsens tillstånd i det ifrågavarande tidsintervallet.



Figur 8.4. Numeriska och grafiska representationer i problemsituation 5.

Bilaga 9. Frågeformulär för den didaktiska situationen *handledning*.

Till Dig som deltar i experimentet med det datorstödda inlärningshjälpmedlet PDRac (= Parallella Dynamiska Representationer i växelströmsläran, alternating current)

I denna enkät är intresset riktat mot Din inställning till och uppfattning av att sätta in datorn i undervisnings-, inlärnings- och utvärderingssituationer. Du besvarar påståendena genom att ringa in den siffra som närmast överensstämmer med verkligheten.

Siffrorna anger:

1 - min åsikt **avviker starkt** från påståendet
2 - min åsikt **avviker något** från påståendet
3 - jag har **ingen åsikt** beträffande påståendet
4 - min åsikt **överensstämmer något** med påståendet
5 - min åsikt **överensstämmer starkt** med påståendet

*Du skall ringa in den siffra som motsvarar Din första **spontana** och **ärliga** reaktion på påståendet! Undersökningen blir meningslös om Du inte är uppriktig. Använd inte någon lång stund för att ge Ditt svarsalternativ. Besvara samtliga frågor!*

Tack för Ditt samarbete!

SESSION 1. 11.9.1998

Påståendena gäller **introduktion till och hanteringen av programmet PDRac.**

1.	Jag känner att jag själv har kontroll över användningen av PDRac:s olika funktioner.	1	2	3	4	5
2.	Jag känner en slags ängslan för att använda datorn i min inlärning.	1	2	3	4	5
3.	Huvudsaken är att jag lär mig klicka på knapparna och mata in olika värden enligt instruktionerna.	1	2	3	4	5
4.	Det känns precis som om jag klarar av programmet och kan genomföra de uppgifter som getts mig.	1	2	3	4	5

5.	Jag ser fram emot att pröva en ny inlärningssituation med hjälp av detta datorprogram.	1	2	3	4	5
6.	Jag har med hjälp av datorprogrammet kunnat lösa problem, som hade varit svårt annars.	1	2	3	4	5
7.	För mig är det viktigt att veta varför man skall göra olika inmatningar och inställningar i programmet.	1	2	3	4	5
8.	Det är mest yttre omständigheter, såsom lärare, skola, och nytta för framtida studier, som ligger bakom mitt engagemang i denna datoraktivitet.	1	2	3	4	5
9.	Det läggs för mycket ansvar på mig ifall jag själv skall lära mig hantera programmet.	1	2	3	4	5
10.	Ansvaret att lära mig hantera dator-programmet ligger främst på mig själv.	1	2	3	4	5
11.	Det man ser på datorskärmen kommer man längre ihåg.	1	2	3	4	5
12.	Jag anser att det borde finnas en klar och tydlig instruktion som vägleder mig i hanter-ingen av PDRac.	1	2	3	4	5
13.	Jag upplever detta närmast som en möjlighet att lära mig något nytt.	1	2	3	4	5
14.	Jag har redan gjort en del upptäckter som jag gläds över.	1	2	3	4	5

Ange vilka uppgifter du hann jobba med (ringa in):

1.1	2.1	3.A1	3.C1
1.2	2.2	3.A2	3.C2
1.3		3.A3	3.C3
		3.B1	3.C4
		3.B2	
		3.B3	

Bilaga 9, forts. Frågeformulär för den didaktiska situationen *övning*.

Till Dig som deltar i experimentet med det datorstödda inlärningshjälpmedlet PDRac (=Parallella Dynamiska Representationer i växelströmsläran, alternating current)

I denna enkät är intresset riktat mot Din inställning till och uppfattning av att sätta in datorn i undervisnings-, inlärnings- och utvärderingssituationer. Du besvarar påståendena genom att ringa in den siffra som närmast överensstämmer med verkligheten.

Siffrorna anger:

1 - min uppfattning **avviker starkt** från påståendet
2 - min uppfattning **avviker något** från påståendet
3 - jag har **ingen uppfattning** beträffande påståendet
4 - min uppfattning **överensstämmer något** med påståendet
5 - min uppfattning **överensstämmer starkt** med påståendet

*Du skall ringa in den siffra som motsvarar Din första **spontana** och **ärliga** reaktion på påståendet! Undersökningen blir meningslös om Du inte är uppriktig. Använd inte någon lång stund för att ge Ditt svarsalternativ. Besvara alla!*

Tack för Ditt samarbete!

SESSION 2. 15.9.1998

Beträffande denna lektion med PDRac i
övningar av redan undervisade begrepp och lagar i växelströmsläran …

1.	Jag tyckte att jag visste vad jag skulle göra.	1	2	3	4	5
2.	Det skulle vara bra om läraren eller övningspappren ännu mera gav handledning i hur jag skulle ha matat in och varierat värden för att se resultatet av åtgärderna.	1	2	3	4	5
3.	Jag tyckte att jag kunde fullfölja uppgifterna.	1	2	3	4	5
4.	Jag förstod hur de fysikaliska begreppen hängde samman.	1	2	3	4	5
5.	Den här övningen kändes för mig som ett viktigt komplement till inlärningen i klass (teori och laboration).	1	2	3	4	5

6. Jag accepterade ansvaret att på egen hand öva mig utan facit.	1	2	3	4	5
7. Jag kände en stor irritation över detta sätt att arbeta.	1	2	3	4	5
8. Det visuella intrycket från datorskärmen gjorde att jag kom ihåg vad det handlade om.	1	2	3	4	5
9. Mitt mål med den här övningen var att försöka få ett bättre vitsord i kursen.	1	2	3	4	5
10. Det var inte rätt att jag måste ta ansvar för övningar som inte hade något givet svar.	1	2	3	4	5
11. Jag hade kontroll av min inlärning genom att jag själv kunde mata in och variera värden för att se resultatet av det.	1	2	3	4	5
12. För mig var det intressant att arbeta med övningar i växelströmsläran på detta sätt.	1	2	3	4	5
13. Jag gjorde oväntade upptäckter, vilket kändes mycket angenämt.	1	2	3	4	5
14. Jag tyckte att jag i det här fallet kunde lösa problemen effektivare jämfört med att använda penna och papper.	1	2	3	4	5

Ange vilka uppgifter du hann jobba med (ringa in):

4.1	5.1	6.1
4.2	5.2	6.2
4.3	5.3	6.3
	5.4	7.1
	5.5	
	5.6	
	5.7	

Bilaga 9, forts. Frågeformulär för den didaktiska situationen *begrepps-introduktion*.

Till Dig som deltar i experimentet med det datorstödda inlärningshjälp-medlet PDRac (=Parallella Dynamiska Representationer i växelströmsläran, alternating current)

I denna enkät är intresset riktat mot Din inställning till och uppfattning av att sätta in datorn i undervisnings-, inlärnings- och utvärderingssituationer. Du besvarar påståendena genom att ringa in den siffra som närmast överensstämmer med verkligheten.

Siffrorna anger:

1 - min uppfattning **avviker starkt** från påståendet
2 - min uppfattning **avviker något** från påståendet
3 - jag har **ingen uppfattning** beträffande påståendet
4 - min uppfattning **överensstämmer något** med påståendet
5 - min uppfattning **överensstämmer starkt** med påståendet

*Du skall ringa in den siffra som motsvarar Din första **spontana** och **ärliga** reaktion på påståendet! Undersökningen blir meningslös om Du inte är uppriktig. Använd inte någon lång stund för att ge Ditt svarsalternativ. Besvara alla!*

Tack för Ditt samarbete!

SESSION 3. 16.9.1998

Beträffande denna lektion med PDRac i
undersökning och introduktion av nya begrepp och fenomen i växelströmsläran …

1.	Genom att länka samman undersökningsresultaten tycker jag mig ha begripit orsakerna till fenomenen.	1	2	3	4	5
2.	Det kändes inte som om jag kunde konstruera meningsfulla slutsatser av de upptäckter jag gjorde.	1	2	3	4	5
3.	Jag tyckte att jag ville åta mig uppgiften att undersöka de fysikaliska begrepp och fenomen, som skulle introduceras.	1	2	3	4	5

4.	Jag kände knappast någon tillfredsställelse över de uppgifter jag kunde gå i land med.	1	2	3	4	5
5.	Då jag själv fick styra inmatningen i egen takt fick jag chans att sätta mig in i de fenomen som efterfrågades.	1	2	3	4	5
6.	Utvärdering eller prov på mina kunskaper var orsaken till att jag ville undersöka fenomenen.	1	2	3	4	5
7.	Det var med intresse som jag undersökte de okända fenomenen.	1	2	3	4	5
8.	Jag anser att man borde ha fått mera vägledning då nya begrepp infördes.	1	2	3	4	5
9.	Genom att jag såg resultatet av manipulationerna tror jag att jag bättre kommer ihåg fenomenen vid senare tillfällen.	1	2	3	4	5
10.	Jag tyckte inte att det hörde till mitt ansvar att försöka komma underfund med okända fenomen i växelströmsläran.	1	2	3	4	5
11.	Jag kände belåtenhet över att kunna se de effekter mina manipulationer åstadkom.	1	2	3	4	5
12.	Fastän jag följde instruktionerna och manipulerade med storheterna verkade det som om jag ändå inte förstod det som hände på skärmen.	1	2	3	4	5
13.	Mina försök att få svar på frågorna skapade en olustkänsla.	1	2	3	4	5
14.	Jag kände ingen nyfikenhet på vad som skulle hända, då jag tog mig an uppgifterna.	1	2	3	4	5

Ange vilka uppgifter du hann jobba med (ringa in):

8.D1	8.D5	8.E1	8.E5	9.F1	9.F5	10.1	10.5
8.D2	8.D6	8.E2	8.E6	9.F2	9.F6	10.2	10.6
8.D3	8.D7 a b	8.E3	8.E7 a b	9.F3		10.3	Tilläggs-
8.D4		8.E4		9.F4		10.4	uppgift

Bilaga 9, forts. Frågeformulär för den didaktiska situationen *utvärdering*.

Till Dig som deltar i experimentet med det datorstödda inlärningshjälpmedlet PDRac (=Parallella Dynamiska Representationer i växelströmsläran, alternating current)

I denna enkät är intresset riktat mot Din inställning till och uppfattning av att sätta in datorn i undervisnings-, inlärnings- och utvärderingssituationer. Du besvarar påståendena genom att ringa in den siffra som närmast överensstämmer med verkligheten.

Siffrorna anger:

1 - min uppfattning **avviker starkt** från påståendet
2 - min uppfattning **avviker något** från påståendet
3 - jag har **ingen uppfattning** beträffande påståendet
4 - min uppfattning **överensstämmer något** med påståendet
5 - min uppfattning **överensstämmer starkt** med påståendet

*Du skall ringa in den siffra som motsvarar Din första **spontana** och **ärliga** reaktion på påståendet! Undersökningen blir meningslös om Du inte är uppriktig. Använd inte någon lång stund för att ge Ditt svarsalternativ. Besvara alla!*

Tack för Ditt samarbete!

SESSION 4. 18.9.1998

Beträffande denna lektion med PDRac i
utvärdering av begreppskunskap och förståelse av fenomen i växelströmsläran …

1.	Den vägledning som gavs räckte till för mig att genomföra uppgifterna.	1	2	3	4	5
2.	Jag fann nöje i arbetet med uppgifterna.	1	2	3	4	5
3.	Det var svårt att resonera sig fram till vad som låg bakom de effekter som uppkom vid knapptryckningarna.	1	2	3	4	5
4.	Jag tycker inte att det är till någon nytta att i utvärderingen använda ett likadant hjälpmedel som i tidigare övningar.	1	2	3	4	5

5.	Det kändes motiverande att få se hur jag skulle lyckas.	1	2	3	4	5
6.	Jag kände inget ansvar för genomförandet av kunskapsmätningen med datorhjälp.	1	2	3	4	5
7.	Mitt intresse för datorhjälpmedel i undervisning och inlärning svalnade.	1	2	3	4	5
8.	Detta övertygade mig om betydelsen av nya hjälpmedel i utvärdering.	1	2	3	4	5
9.	Jag tyckte inte att det visuella intrycket hjälpte mig att prestera något.	1	2	3	4	5
10.	Att utvärdera kunskaper med datorhjälpmedel utföll inte till min belåtenhet.	1	2	3	4	5
11.	Jag anser att datorn i detta fall var till stor hjälp för mig vid lösandet av de mest komplicerade problemen.	1	2	3	4	5
12.	Jag tyckte att det var bäst att själv ta ansvar för denna provsituation.	1	2	3	4	5
13.	Det verkade som om jag inte kunde utöva kontroll av de olika val och aktiviteter som förutsattes.	1	2	3	4	5
14.	Jag klickade på knapparna tills jag kom till det resultat som jag ansåg att det förväntades.	1	2	3	4	5

Bilaga 10. Sammanställning av enkätens påståenden enligt indikator.

Elevstudien

MOTIVATION
Övning
- Den här övningen kändes för mig som ett viktigt komplement till inlärningen i klass (teori och laboration).
- Mitt mål med den här övningen var att försöka få ett bättre vitsord i kursen.

Begreppsintroduktion
- Jag kände ingen nyfikenhet på vad som skulle hända, då jag tog mig an uppgifterna.
- Utvärdering eller prov på mina kunskaper var orsaken till att jag ville undersöka fenomenen.

Utvärdering
- Det kändes motiverande att få se hur jag skulle lyckas.
- Jag tycker inte att det är till någon nytta att i utvärderingen använda ett likadant hjälpmedel som i tidigare övningar.

ATTITYD OCH INTRESSE
Övning
- För mig var det intressant att arbeta med övningar i växelströmsläran på detta sätt.
- Jag kände en stor irritation över detta sätt att arbeta.

Begreppsintroduktion
- Det var med intresse som jag undersökte de okända fenomenen.
- Mina försök att få svar på frågorna skapade en olustkänsla.

Utvärdering
- Mitt intresse för datorhjälpmedel i undervisning och inlärning svalnade.
- Jag fann nöje i arbetet med uppgifterna.

ANSVAR
Övning
- Jag accepterade ansvaret att på egen hand öva mig utan facit.
- Det var inte rätt att jag måste ta ansvar för övningar som inte hade något givet svar.

Begreppsintroduktion
- Jag tyckte att jag ville åta mig uppgiften att undersöka de fysikaliska begrepp och fenomen, som skulle introduceras.
- Jag tyckte inte att det hörde till mitt ansvar att försöka komma underfund med okända fenomen i växelströmsläran.

Utvärdering
- Jag kände inget ansvar för genomförandet av kunskapsmätningen med datorhjälp.
- Jag tyckte att det var bäst att själv ta ansvar för denna provsituation.

KONTROLL
Övning
- Jag hade kontroll av min inlärning genom att jag själv kunde mata in och variera värden för att se resultatet av det.
- Det skulle vara bra om läraren eller övningspappren ännu mera gav handledning i hur jag skulle ha matat in och varierat värden för att se resultatet av åtgärderna.

Begreppsintroduktion
- Då jag själv fick styra inmatningen i egen takt fick jag chans att sätta mig in i de fenomen som efterfrågades.
- Jag anser att man borde ha fått mera vägledning då nya begrepp infördes.

Utvärdering
- Det verkade som om jag inte kunde utöva kontroll av de olika val och aktiviteter som förutsattes.
- Den vägledning som gavs räckte till för mig att genomföra uppgifterna.

PRESTATION
Övning
- Det visuella intrycket från datorskärmen gjorde att jag kom ihåg vad det handlade om.
- Jag tyckte att jag i det här fallet kunde lösa problemen effektivare jämfört med att använda penna och papper.

Begreppsintroduktion
- Genom att jag såg resultatet av manipulationerna tror jag att jag bättre kommer ihåg fenomenen vid senare tillfällen.
- Det kändes inte som om jag kunde konstruera meningsfulla slutsatser av de upptäckter jag gjorde.

Utvärdering
- Jag tyckte inte att det visuella intrycket hjälpte mig att prestera något.
- Jag anser att datorn i detta fall var till stor hjälp för mig vid lösandet av de mest komplicerade problemen.

FÖRSTÅELSE
Övning
- Jag tyckte att jag visste vad jag skulle göra.
- Jag förstod hur de fysikaliska begreppen hängde samman.

Begreppsintroduktion
- Fastän jag följde instruktionerna och manipulerade med storheterna verkade det som om jag ändå inte förstod det som hände på skärmen.
- Genom att länka samman undersökningsresultaten tycker jag mig ha begripit orsakerna till fenomenen.

Utvärdering
- Jag klickade på knapparna tills jag kom till det resultat som jag ansåg att det förväntades.
- Det var svårt att resonera sig fram till vad som låg bakom de effekter som uppkom vid knapptryckningarna.

TILLFREDSSTÄLLELSE
Övning
- Jag gjorde oväntade upptäckter, vilket kändes mycket angenämt.
- Jag tyckte att jag kunde fullfölja uppgifterna.

Begreppsintroduktion
- Jag kände belåtenhet över att kunna se de effekter mina manipulationer åstadkom.
- Jag kände knappast någon tillfredsställelse över de uppgifter jag kunde gå i land med.

Utvärdering
- Att utvärdera kunskaper med datorhjälpmedel utföll inte till min belåtenhet.
- Detta övertygade mig om betydelsen av nya hjälpmedel i utvärdering.

Lärarstudien

MOTIVATION
Del A
- Denna miljö kan engagera eleverna till aktiviteter, som befrämjar deras inlärning av begrepp och storhetssamband i växelströmsläran.
- Denna miljö kan inte stimulera eleverna till ansträngning att fördjupa sig i växelströmsläran.

Del B
- Eleverna blir passiverade och ointresserade att följa upp sin inlärning mot målen för övningarna.
- Eleverna blir engagerade och stimuleras att arbeta med uppgifterna om momentanspänning och -potential.

ENGAGERAT LÄRANDE
Del A
- Eleverna uppmuntras i denna miljö att ställa frågor och diskutera sig fram till en lösning av problemen.

- Elevernas varierande förkunskaper och olika strategier att bygga kunskap förorsakar orättvisa inlärningsvillkor i denna miljö.

Del B

- Samarbetet mellan eleverna (vid samma dator) lider av att var och en vill gå fram i egen takt genom övningsmaterialet.
- Eleverna kan i denna inlärningsmiljö utnyttja kunskapsbyggande strategier - till exempel att kläcka idéer, testa dem och förena sin kunskap med andra elevers erfarenheter.

INTERAKTIVITET

Del A

- Denna miljö motarbetar ett balanserat samspel mellan eleven, andra elever, läraren och PDR-verktyget.
- Denna miljö är lämplig för att producera meningsfull kunskap om växelströmsfenomen ur ett avvikande undervisningsperspektiv.

Del B

- Eleven kan på ett fruktbart sätt komma i samspel med PDR-verktyget, övningsmaterialet och läraren.
- Inlärningsmiljön uppmuntrar inte eleverna till att engagera sig och reflektera över villkoren för serieresonans.

ROLLDEFINIERING

Del A

- Läraren kan i detta sammanhang inte förmedla information som är anpassad till elevens behov, så att ny information länkas till tidigare kunskap.
- Eleverna kan upptäcka och utforska begrepp och samband mellan storheter med PDRac.

Del B

- Läraren har goda möjligheter att fungera som guide och vägleda eleven genom att ge tips och feedback.
- Eleverna förmår inte självständigt avgöra om svaret är korrekt eftersom entydigt facit saknas i uppgifterna.

INVESTERING I TID

Del A

- Att organisera undervisning med dator är arbetsbesparande.
- Undervisning i denna miljö är tidskrävande och rubbar kursgenomgången.

Del B

- I jämförelse med traditionell undervisning går det åt mera tid i förhållande till det som eleven lär sig.
- Det tar inte mycket tid för eleverna att sätta sig in i de inlärningssituationer som denna undervisning gäller.

PRESTATION

Del A

- Trots att eleverna visuellt kan studera fysikaliska händelseförlopp på dataskärmen kan de inte tolka dem.
- Eleverna kan konstruera meningsfull kunskap om fenomen i växelströmsläran.

Del B

- Den visuella framställningen av ström- och spänningsgrafer och numeriska värden förbättrar elevernas prestationer.
- Eleverna kan knappast lösa problemen i exempelprovet med hjälp av PDRac.

FÖRSTÅELSE

Del A

- Genom att PDR-verktyget ger möjlighet att variera storhetsvärden och kvalitativt jämföra förändringar av storheter kan eleverna komma fram till hur de beror av varandra.
- Detta verktyg gör det knappast möjligt för eleverna att förklara de fysikaliska fenomenen och resonera sig fram till deras orsaker.

Del B

- Eleverna kan inte med hjälp av PDRac förklara fasförskjutningen i en rent induktiv krets utgående från Lenz' lag.
- Eleverna kan i denna inlärningsmiljö utnyttja sina förkunskaper om självinduktionsfenomenet och dra slutsatser om RLC-kretsens funktion genom att tillämpa storheter och lagar.

Bilaga 11. Frågeformulär för rangordning av indikatorer för effektivt lärande och för fysikaliska begrepp.

Till Dig som deltar i experimentet med det datorstödda inlärnings-hjälpmedlet PDRac:

Vad bestämmer effektivitet i Din fysikinlärning?

Hur viktiga är nedanstående faktorer i Din inlärningseffektivitet?

Rangordna (ordna i viktighetsordning) faktorerna på följande sätt:

den faktor som Du anser **viktigast** får **7** poäng
den faktor som Du anser **nästviktigast** får **6** poäng
o.s.v.
…
den faktor som Du anser **minst viktig** får **1** poäng

OBS! Alla faktorer skall ha olika poäng.

(Faktorerna är slumpmässigt listade.)

MOTIVATION
… att man har en inre (bestämd av en själv) och/eller yttre (bestämd av yttre faktorer) motivation _____

KONTROLL
… att man har personlig och/eller utifrån (dator, lärare, etc.) bestämd kontroll av inlärningsaktiviteter _____

PRESTATION
… att man presterar genom visuell memorering och/eller kan konstruera meningsfull kunskap och färdighet _____

TILLFREDSSTÄLLELSE
… att man har glädje av inlärning och/eller känsla av att kunna fullfölja sin inlärning _____

ATTITYD
… att man har intresse för inlärning och/eller emotionell inställning till inlärning _____

ANSVAR
… att man kan acceptera ansvar för sin inlärning _____

FÖRSTÅELSE
… att man vet hur man skall använda begrepp, regler, etc. och/eller förstår varför _____

Vilka FEM av nedanstående begrepp tycker du att DU BÄST FÖRSTOD INNEBÖRDEN AV under de tre datorsessionerna?

Begreppen är:

____ frekvens

____ period(tid)

____ toppvärde (amplitud) för spänning och ström

____ momentanvärde för spänning och ström

____ effektivvärde för spänning och ström

____ potential

____ strömförändring

____ resistans

____ induktans

____ kapacitans

____ induktiv reaktans

____ kapacitiv reaktans

____ impedans

____ fasförskjutning mellan spänning och ström

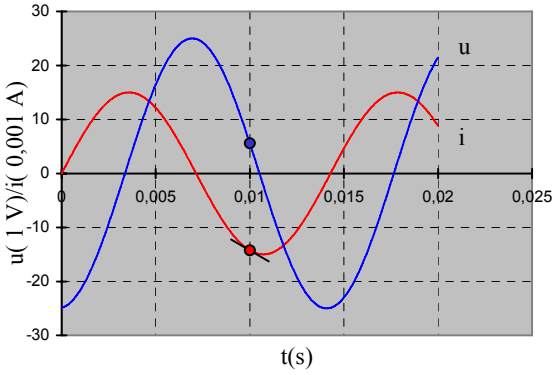
____ serieresonans

____ självinduktion

____ induktionsspänning

____ kondensatorns laddningsfaser

Bilaga 12. Följebrev till lärarna.



Bästa fysiklärare och kollega!

"Att vara eller inte vara?" är en aktuell fråga då den tillämpas på datorer i fysikundervisningen. Själv har jag undervisat ca 20 år i gymnasiets fysik och matematik och har då och då använt datorn i undervisningen. För tillfället har jag gjort en avstickare till forskarvärlden för postgraduala studier. Syftet är att undersöka om det är relevant att använda s.k. virtuella experiment i fysikundervisningen.

Du har i denna försändelse fått ett datorverktyg för undervisningen i växelströmsläran i gymnasiet. Verktyget har jag kallat *PDRac* därför att informationen kan representeras parallellt och dynamiskt i både numerisk och grafisk form. Nu önskar jag få hjälp av Dig för att genomföra mitt forskningsprojekt, som syftar till en avhandling i fysikens didaktik. Det kommer att ta någon timme av Din dyrbara tid, men jag hoppas att Du vill offra denna tid för att ge svar på mina frågor.

Eftersom de finlandssvenska gymnasierna är få till antalet behöver jag respons från ALLA! I gengäld får Du för eget bruk behålla *PDRac*-programmet inklusive handlednings- och övningsmaterialet. Om du mot förmodan har grava förhinder att delta i undersökningen ber jag Dig att återsända allt material till mig - utan att kopiera programmet!

PDRac fungerar i Excel97. Din andel av undersökningen presenteras på omstående sida. Det insända undersökningsmaterialet behandlas konfidentiellt och Du och Din skola kommer inte att kunna härledas ur det material som rapporteras. Du får gärna ringa mig eller via e-post fråga efter mera information.

VAR VÄNLIG OCH SÄND IN ENKÄTSVAREN I BIFOGAT KUVERT SENAST DEN 20 MAJ 1999!!

Med utmärkt högaktning

Bertil Eklund Spårvägen 5 tel. 06-2242574
lektor i fysik och matematik 64230 Närpes st e-post: beklund@narpes.fi

Bilaga 13. Frågeformulär till lärarna.

Till fysikläraren

INFORMATION om lärarundersökningen.

1. FYLL I BAKGRUNDSDATA.

2. (Information A i lärarhandledningen)
LÄS a) SIDORNA 1–7 INKLUSIVE APPENDIX 1 (inga andra sidor i detta skede) I LÄRARHANDLEDNINGEN SAMT b) SIDORNA 1–3 (inga andra sidor i detta skede) I ELEVHANDLEDNINGEN SAMTIDIGT SOM DU GÖR DIG BEKANT MED *PDRac*-PROGRAMMET. BILDA DIG EN UPPFATTNING OM VERKTYGETS DIDAKTISKA MÖJLIGHETER I FYSIKUNDERVISNINGEN.
BESVARA DÄREFTER DEL A I ENKÄTEN.

3. (Information B i lärarhandledningen)
LÄS a) SIDORNA 7 - 9 I LÄRARHANDLEDNINGEN, b) SIDORNA 4–12 I ELEVHANDLEDNINGEN OCH c) EXEMPELPROVET (APPENDIX 2) SAMTIDIGT SOM DU JOBBAR MED *PDRac*-PROGRAMMEN. BILDA DIG EN UPPFATTNING OM VERKTYGENS DIDAKTISKA MÖJLIGHETER DÅ DET ANVÄNDS UNDER LEKTIONER TILLSAMMANS MED ELEVER.
BESVARA DÄREFTER DEL B I ENKÄTEN.

4.BESVARA SLUTLIGEN DEL C I ENKÄTEN.

VAR VÄNLIG OCH …

… KONTROLLERA ATT ALLA FRÅGOR PÅ ALLA SIDOR ÄR BESVARADE.

… SÄND IN ENKÄTSVAREN SENAST DEN 20 MAJ

Lärarenkät i undersökningen om det didaktiska verktyget *PDRac*.

Bakgrundsfakta

1. Kvinna ☐

Man ☐

2. Har undervisat

	i gymnasiet	i högstadiet
0 - 5 år	☐	☐
5 - 10 år	☐	☐
10 - 15 år	☐	☐
15 - 20 år	☐	☐
20 - 25 år	☐	☐
25 - 30 år	☐	☐
30 - år	☐	☐

3. Antal datorer i

	gymnasiet	högstadiet
i datasal	_____	_____
i fysikut-rymme	_____	_____

4. Använder datorn i fysik-undervisningen i medeltal

_____ (antal)

gånger per

dag

vecka

period

termin

läsår

(ringa in lämpligaste enhet)

Ange de tillämpnings-program som används:

Del A sida 2 - 3
(… fyller Du i efter att ha studerat verktyget *PDRac*, delar av lärar- och elevhandledningen, men **innan** Du studerar elevernas övningsmaterial! Se information A i lärarhandledningen.)

Till Dig, fysiklärare, som deltar i undersökningen med det datorstödda inlärningshjälpmedlet *PDRac* (= Parallella dynamiska representationer i växelströmsläran)

I denna enkät är intresset riktat mot Din inställning till och uppfattning av att sätta in datorn i undervisnings-, inlärnings- och utvärderingssituationer. Du besvarar påståendena genom att ringa in den siffra som närmast överensstämmer med verkligheten.

Siffrorna anger:

1 - min uppfattning **avviker starkt** från påståendet
2 - min uppfattning **avviker något** från påståendet
3 - jag har **ingen uppfattning** beträffande påståendet
4 - min uppfattning **överensstämmer något** med påståendet
5 - min uppfattning **överensstämmer starkt** med påståendet

*Du skall ringa in den siffra som motsvarar Din första **spontana** och **ärliga** reaktion på påståendet! Undersökningen blir meningslös om Du inte är uppriktig. Läs inledningstexten nedan noggrant så att Du uppfattar påståendena korrekt. Besvara alla!*

Tack för Ditt samarbete!

Efter att ha studerat datorverktyget *PDRac* (inklusive lärarhandledningen), som erbjuder möjligheter till parallella, dynamiska representationer av numeriska och grafiska data, har jag bildat följande uppfattningar om denna undervisningsmiljö:

1. Denna miljö kan engagera eleverna till aktiviteter, som befrämjar deras inlärning av begrepp och storhetssamband i växelströmsläran.	1	2	3	4	5
2. Genom att PDR-verktyget ger möjlighet att variera storhetsvärden och kvalitativt jämföra förändringar av storheter kan eleverna komma fram till hur de beror av varandra.	1	2	3	4	5
3. Eleverna kan konstruera meningsfull kunskap om fenomen i växelströmsläran.	1	2	3	4	5

4. Läraren kan i detta sammanhang inte förmedla information som är anpassad till elevens behov, så att ny information länkas till tidigare kunskap.	1	2	3	4	5
5. Att organisera undervisning med dator är arbetsbesparande.	1	2	3	4	5
6. Eleverna uppmuntras i denna miljö att ställa frågor och diskutera sig fram till en lösning av problemen.	1	2	3	4	5
7. Detta verktyg gör det knappast möjligt för eleverna att förklara de fysikaliska fenomenen och resonera sig fram till deras orsaker.	1	2	3	4	5
8. Denna miljö motarbetar ett balanserat samspel mellan eleven, andra elever, läraren och PDR-verktyget.	1	2	3	4	5
9. Undervisning i denna miljö är tidskrävande och rubbar kursgenomgången.	1	2	3	4	5
10. Eleverna kan upptäcka och utforska begrepp och samband mellan storheter med *PDRac*.	1	2	3	4	5
11. Denna miljö är lämplig för att producera meningsfull kunskap om växelströmsfenomen ur ett avvikande undervisningsperspektiv.	1	2	3	4	5
12. Trots att eleverna visuellt kan studera fysikaliska händelseförlopp på dataskärmen kan de inte tolka dem.	1	2	3	4	5
13. Denna miljö kan inte stimulera eleverna till ansträngning att fördjupa sig i växelströmsläran.	1	2	3	4	5
14. Elevernas varierande förkunskaper och olika strategier att bygga kunskap förorsakar orättvisa inlärningsvillkor i denna miljö.	1	2	3	4	5

Skriv ner Dina spontana kommentarer, som Du anser vara viktiga tillägg till undersökningen:

Del B sida 4 - 5
(…fyller Du i efter att ha studerat elevernas övningsmaterial med *PDRac* Se information B i lärarhandledningen.)

*Du skall ringa in den siffra som motsvarar Din första **spontana** och **ärliga** reaktion på påståendet! Undersökningen blir meningslös om Du inte är uppriktig. Läs inledningstexten nedan noggrant så att Du uppfattar påståendena korrekt. Besvara alla!*

Datorverktyget *PDRac* erbjuder möjligheter till parallella, dynamiska representationer av numeriska och grafiska data. Som hjälp finns handlednings-, övnings- och provmaterial. Då jag tänker mig eleverna i inlärningssituationer i denna miljö under övnings-, introduktions- och utvärderingslektioner är min uppfattning att …

1.	Eleverna blir passiverade och ointresserade att följa upp sin inlärning mot målen för övningarna.	1	2	3	4	5
2.	Den visuella framställningen av ström- och spänningsgrafer och numeriska värden förbättrar elevernas prestationer.	1	2	3	4	5
3.	Läraren har goda möjligheter att fungera som guide och vägleda eleven genom att ge tips och feedback.	1	2	3	4	5
4.	Eleverna förmår inte självständigt avgöra om svaret är korrekt eftersom entydigt facit saknas i uppgifterna.	1	2	3	4	5
5.	Det tar inte mycket tid för eleverna att sätta sig in i de inlärningssituationer som denna undervisning gäller.	1	2	3	4	5
6.	Inlärningsmiljön uppmuntrar inte eleverna till att engagera sig och reflektera över villkoren för serieresonans.	1	2	3	4	5
7.	Eleverna kan knappast lösa problemen i exempelprovet med hjälp av *PDRac*.	1	2	3	4	5

8.	Eleven kan på ett fruktbart sätt komma i samspel med PDR-verktyget, övningsmaterialet och läraren.	1	2	3	4	5
9.	Samarbetet mellan eleverna (vid samma dator) lider av att var och en vill gå fram i egen takt genom övningsmaterialet.	1	2	3	4	5
10.	Eleverna kan inte med hjälp av *PDRac* förklara fasförskjutningen i en rent induktiv krets utgående från Lenz' lag.	1	2	3	4	5
11.	Eleverna kan i denna inlärningsmiljö utnyttja sina förkunskaper om självinduktionsfenomenet och dra slutsatser om RLC-kretsens funktion genom att tillämpa storheter och lagar.	1	2	3	4	5
12.	Eleverna kan i denna inlärningsmiljö utnyttja kunskapsbyggande strategier – till exempel att kläcka idéer, testa dem och förena sin kunskap med andra elevers erfarenheter.	1	2	3	4	5
13.	Eleverna blir engagerade och stimuleras att arbeta med uppgifterna om momentanspänning och -potential.	1	2	3	4	5
14.	I jämförelse med traditionell undervisning går det åt mera tid i förhållande till det som eleven lär sig.	1	2	3	4	5

Skriv ner Dina spontana kommentarer, som Du anser vara viktiga tillägg till undersökningen:

Del C sida 6 - 7
(…fyller Du i sist)

Vad bestämmer effektivitet i elevernas fysikinlärning enligt Din mening?

Hur viktiga är nedanstående faktorer i elevernas inlärningseffektivitet?

Rangordna faktorerna på följande sätt:

den faktor som Du anser **viktigast** får **7** poäng
den faktor som Du anser **nästviktigast** får **6** poäng
o.s.v.
…
den faktor som Du anser **minst viktig** får **1** poäng

OBS! Alla faktorer skall ha olika poäng.

(Faktorerna är slumpmässigt listade.)

MOTIVATION
… att man har en inre (bestämd av en själv) och/eller yttre (bestämd av yttre faktorer) motivation _____

KONTROLL
… att man har personlig och/eller utifrån (dator, lärare, etc.) bestämd kontroll av inlärningsaktiviteterna _____

PRESTATION
… att man presterar genom visuell memorering och/eller kan konstruera meningsfulla kunskaper och färdigheter _____

TILLFREDSSTÄLLELSE
… att man har glädje av inlärning och/eller känsla av att kunna fullfölja sin inlärning _____

ATTITYD
… att man har intresse för inlärning och/eller emotionell inställning till inlärning _____

ANSVAR
… att man kan acceptera ansvar för sin inlärning _____

FÖRSTÅELSE
… att man vet hur man skall använda begrepp, regler, etc. och/eller förstår varför _____

Vilka FEM av nedanstående begrepp tror Du att ELEVERNA BÄST FÖRSTÅR INNEBÖRDEN AV MED HJÄLP AV *PDRac* (INKLUSIVE ÖVNINGSMATERIAL)?

Begreppen är:

____ frekvens

____ period(tid)

____ toppvärde (amplitud) för spänning och ström

____ momentanvärde för spänning och ström

____ effektivvärde för spänning och ström

____ potential

____ strömförändring

____ resistans

____ induktans

____ kapacitans

____ induktiv reaktans

____ kapacitiv reaktans

____ impedans

____ fasförskjutning mellan spänning och ström

____ serieresonans

____ självinduktion

____ induktionsspänning

____ kondensatorns laddningsfaser

Bilaga 14. Tabeller över effektivitetstal i klassexperimentet.

Tabell 14.1. *Aktiva och passiva elevers effektivitetstal.*

Namn	Övning	Begrepps-introduktion	Utvärdering	$\mathbf{M_{total}}$	s
Aktiv					
Ice	1,14	1,21	1,07	1,14	0,07
MattiAht	0,86	0,93	1,07	0,95	0,11
BullsEye	1,36	1,00	0,14	0,83	0,62
Hook	0,64	0,43	1,29	0,79	0,45
HaleB	0,86	0,86	0,50	0,74	0,21
Einstein	0,50	0,43	1,07	0,67	0,35
$\mathbf{M_{aktiv}}$	**0,89**	**0,81**	**0,86**	**0,85**	
s	0,32	0,32	0,44	0,17	
Passiv					
Joker	1,29	1,14	0,64	1,02	0,34
Villemo	1,00	1,00	–0,93	0,36	1,11
Panther	0,64	0,43	–0,07	0,33	0,37
Hulda	0,07	–0,21	0,29	0,05	0,25
Dufva	0,71	–0,29	–0,79	–0,12	0,76
Edison	–0,21	0,00	–0,43	–0,21	0,21
$\mathbf{M_{passiv}}$	**0,58**	**0,35**	**–0,21**	**0,24**	
s	0,56	0,62	0,61	0,45	

Tabell 14.2. *Medelvärde och standardavvikelse för variabeln uppfattning av effektivt lärande på variabelns indikatorer.*

	Medeleffektivitetstal i didaktiska situationer[a]							
	Övning		Begrepps-introduktion		Utvärdering		Totalt	
Effektivitets-indikator	M	s	M	s	M	s	M	s
Motivation	0,79	0,54	0,50	0,56	0,58	0,70	**0,63**	0,15
Attityd och intresse	1,08	0,85	0,88	0,77	0,33	1,19	**0,76**	0,39
Ansvar	1,00	0,64	0,92	0,60	0,75	0,84	**0,89**	0,13
Kontroll	0,58	0,79	0,04	0,40	–0,38	1,07	**0,08**	0,48
Prestation	0,71	0,50	0,58	0,90	0,38	0,93	**0,56**	0,17
Förståelse	0,50	0,71	0,29	0,94	0,21	0,86	**0,33**	0,15
Tillfredsställelse	0,50	0,77	0,83	0,86	0,38	0,86	**0,57**	0,24
M(tot)	**0,74**		**0,58**		**0,32**		**0,55**	
s	0,23		0,33		0,35		0,27	

[a]n = 12 i varje grupp

Tabell 14.3. *Totalmedelvärde och standardavvikelse på indikatorerna för variabeln uppfattning av effektivt lärande baserad på indelning i tre nivåer på elevernas effektivitetsuppfattning.*

	Medeleffektivitetstal[a]					
	Låg nivå		Mellannivå		Hög nivå	
Effektivitetsindikator	M	s	M	s	M	s
Motivation	0,21	0,25	0,63	0,25	1,04	0,08
Attityd och intresse	0,17	0,68	0,92	0,65	1,21	0,28
Ansvar	0,29	0,60	1,17	0,49	1,21	0,16
Kontroll	–0,42	0,32	0,38	0,34	0,29	0,16
Prestation	–0,08	0,10	0,63	0,16	1,13	0,50
Förståelse	–0,25	0,69	0,29	0,16	0,96	0,37
Tillfredsställelse	0,17	0,30	0,46	0,16	1,08	0,40
M(tot)	**0,01**		**0,64**		**0,99**	
s	0,27		0,31		0,32	

[a]n = 4 i varje grupp

Tabell 14.4. *Elevers totala effektivitetstal på indikatorer enligt effektivitets-uppfattningsnivå. (Indikatorernas benämningar förkortade.)*

Namn	Mot	Att	Ans	Kon	Pres	Först	Tillfr	M_{eff}(total)
Låg nivå								
Edison	0,33	–0,67	0,00	–0,67	–0,17	–0,17	–0,17	–0,21
Dufva	–0,17	0,17	–0,17	–0,33	–0,17	–0,17	0,00	–0,12
Hulda	0,33	0,17	1,17	–0,67	0,00	–1,17	0,50	0,05
Panther	0,33	1,00	0,17	0,00	0,00	0,50	0,33	0,33
$M_{låg}$	**0,21**	**0,17**	**0,29**	**–0,42**	**–0,08**	**–0,25**	**0,17**	**0,01**
s	0,25	0,68	0,60	0,32	0,10	0,69	0,30	0,24
Mellannivå								
Villemo	0,50	0,00	0,50	0,00	0,67	0,17	0,67	0,36
Einstein	0,33	1,00	1,33	0,67	0,50	0,33	0,50	0,67
HaleB	0,83	1,50	1,67	0,17	0,50	0,17	0,33	0,74
Hook	0,83	1,17	1,17	0,67	0,83	0,50	0,33	0,79
M_{medel}	**0,63**	**0,92**	**1,17**	**0,38**	**0,63**	**0,29**	**0,46**	**0,64**
s	0,25	0,65	0,49	0,34	0,16	0,16	0,16	0,19
Hög nivå								
BullsEye	1,17	1,17	1,33	0,50	0,50	0,67	0,50	0,83
MattiAht	1,00	0,83	1,33	0,17	1,33	0,83	1,17	0,95
Joker	1,00	1,50	1,17	0,33	1,00	0,83	1,33	1,02
Ice	1,00	1,33	1,00	0,17	1,67	1,50	1,33	1,14
$M_{hög}$	**1,04**	**1,21**	**1,21**	**0,29**	**1,13**	**0,96**	**1,08**	**0,99**
s	0,08	0,28	0,16	0,16	0,50	0,37	0,40	0,13

Bilaga 15. Tabeller över effektivitetstal i lärarstudien.

Tabell 15.1. *Medelvärde och standardavvikelse för variabeln uppfattning av effektivt lärande på variabelns indikatorer.*

	Medeleffektivitetstal[a]					
	Globala variabler		Lokala variabler		Totalt	
Effektivitetsindikator	M	s	M	s	M	s
Motivation	1,08	0,86	0,42	0,71	**0,75**	0,47
Engagerat lärande	0,64	0,74	0,08	0,77	**0,36**	0,39
Interaktivitet	0,86	0,90	0,78	0,71	**0,82**	0,06
Rolldefiniering	0,72	0,86	0,28	0,73	**0,50**	0,31
Tidsinvestering	–0,14	1,05	–0,19	0,84	**–0,17**	0,04
Prestation	0,31	0,69	0,81	0,73	**0,56**	0,35
Förståelse	0,67	0,80	0,36	0,82	**0,51**	0,22
M(tot)	**0,59**		**0,36**		**0,48**	
s	0,52		0,52		**0,50**	

[a]n = 18

Tabell 15.2. *Totalmedelvärde och standardavvikelse på indikatorerna för variabeln uppfattning av effektivt lärande baserad på indelning i tre nivåer på lärarnas effektivitetsuppfattning.*

	Medeleffektivitetstal[a]					
	Låg nivå		Mellannivå		Hög nivå	
Effektivitetsindikator	M	s	M	s	M	s
Motivation	0,13	0,70	0,96	0,19	1,17	0,56
Engagerat lärande	–0,13	0,52	0,54	0,43	0,67	0,52
Interaktivitet	0,17	0,75	0,92	0,41	1,38	0,52
Rolldefiniering	–0,21	0,71	0,83	0,30	0,88	0,21
Tidsinvestering	–0,67	0,75	–0,38	0,49	0,54	0,66
Prestation	0,25	0,79	0,54	0,33	0,88	0,52
Förståelse	–0,08	0,56	0,67	0,26	0,96	0,43
M(tot)	**–0,08**		**0,58**		**0,92**	
s	0,31		0,46		0,28	

[a]n = 6 i varje grupp

Bilaga 15, forts.

Tabell 15.3. *Lärarnas totala effektivitetstal på indikatorer enligt effektivitets-uppfattningsnivå. (Indikatorernas benämningar förkortade.)*

Namn	Mot	Eng	Int	Roll	Tid	Pres	Först	M_{eff}(total)
Låg nivå								
Zache	–1,00	–0,75	–1,25	–0,75	0,25	–1,25	–1,00	–0,82
Affe	0,75	–0,75	0,25	–0,75	–1,75	0,25	0,00	–0,29
Emil	–0,50	0,00	0,00	–0,25	0,00	0,25	–0,50	–0,14
Robbe	0,50	0,25	0,75	–0,75	–1,25	0,75	0,50	0,11
Gert	0,50	0,00	0,50	1,00	–0,75	0,50	0,25	0,29
Tesse	0,50	0,50	0,75	0,25	–0,50	1,00	0,25	0,39
$M_{låg}$	**0,13**	**–0,13**	**0,17**	**–0,21**	**–0,67**	**0,25**	**–0,08**	**–0,08**
s	0,70	0,52	0,75	0,71	0,75	0,79	0,56	0,44
Mellannivå								
Otto	0,75	0,75	0,50	0,50	–0,75	0,50	0,75	0,43
Fred	1,25	–0,25	0,50	1,00	–0,50	0,50	0,75	0,46
Wille	1,00	0,50	1,00	0,75	–0,75	0,75	1,00	0,61
Ebbe	1,00	0,50	1,25	1,00	–0,75	0,50	0,75	0,61
Jesse	0,75	1,00	1,50	0,50	0,25	0,00	0,50	0,64
Lee	1,00	0,75	0,75	1,25	0,25	1,00	0,25	0,75
M_{medel}	**0,96**	**0,54**	**0,92**	**0,83**	**–0,38**	**0,54**	**0,67**	**0,58**
s	0,19	0,43	0,41	0,30	0,49	0,33	0,26	0,12
Hög nivå								
Theo	1,25	0,75	2,00	1,00	–0,25	0,00	0,75	0,79
Ninni	0,75	1,00	0,50	1,00	0,50	0,75	1,50	0,86
My	1,75	0,25	1,25	0,50	0,50	1,25	0,50	0,86
Stella	1,50	0,25	1,25	1,00	0,25	1,00	1,50	0,96
Lisa	0,25	1,50	1,75	0,75	0,50	1,50	0,75	1,00
Odin	1,50	0,25	1,50	1,00	1,75	0,75	0,75	1,07
$M_{hög}$	**1,17**	**0,67**	**1,38**	**0,88**	**0,54**	**0,88**	**0,96**	**0,92**
s	0,56	0,52	0,52	0,21	0,66	0,52	0,43	0,11

Tabell 15.4. *Fördelningen av antalet datorer och datoranvändning enligt lärarnas effektivitetsuppfattningsnivå.*

	Låg nivå	Mellannivå	Hög nivå
Antal datorer			
≤ 5	1	0	1
6–10	1	2	0
11–15	2	3	2
≥ 16	2	1	3
Datoranvändning			
inte alls	3	2	2
någon gång	2	3	3
flitigt	1	1	1

Bilaga 16. Friedmans test på medelvärdet av rangtalen vid rangordning av sju effektivitetsindikatorer i elev- och lärarstudien.

Tabell 16.1. *Elevernas rangordning av effektivitetsindikatorerna. Friedmans test på medelvärdet av rangtalen. Indikatorerna ordnade enligt rangtalens medelvärde.*

	M_{rang}	s	Minvärde	Maxvärde	
Motivation	6,17	0,94	5	7	n = 12
Förståelse	5,00	0,95	3	6	
Attityd	4,75	1,91	2	7	$\chi^2 = 31{,}2$
Tillfredsställelse	4,08	2,15	1	7	
Prestation	3,25	1,22	1	6	df = 6
Ansvar	2,50	1,73	1	7	
Kontroll	2,25	1,66	1	6	p < 0,001

Tabell 16.2. *Lärarnas uppfattning av elevers rangordning av effektivitetsindikatorerna. Friedmans test på medelvärdet av rangtalen.*

	M_{rang}	s	Minvärde	Maxvärde	
Motivation	6,39	0,78	5	7	n = 18
Förståelse	4,89	1,37	2	7	
Attityd	4,78	1,77	1	7	$\chi^2 = 56{,}0$
Tillfredsställelse	4,50	1,58	2	7	
Ansvar	2,83	1,34	1	5	df = 6
Prestation	2,50	1,50	1	7	
Kontroll	2,11	1,45	1	6	p < 0,001

Musiken som strömmar ut ur högtalaren genereras i ljudanläggningen av växelströmmar. Den elektriska energiproduktionen i samhället baseras på elektrisk växelström.

Bertil Eklund, gymnasielärare i fysik och matematik, granskar i avhandlingen hur fysikläraren kan designa ett datorbaserat simuleringsverktyg som representerar de fysikaliska växelströmsfenomenen i form av bilder, grafer och numeriska data. De olika representationerna, visualiserade parallellt och dynamiskt på dataskärmen, har en potential att ge eleven en djupare inblick i de komplicerade samband som karakteriserar elektrodynamiska processer. I avhandlingen visar författaren hur han har introducerat det datorbaserade verktyget i varierande situationer i undervisningen.

Empiriska data visar att elever och lärare allmänt taget har positiva uppfattningar av effektivt lärande av växelströmsfysik med det interaktiva datorverktyget. Elever som aktivt tar del i lärandeaktiviteterna har en positivare inställning än de som passivt följer med från sidan. Motivation och intresse att arbeta med dator har större betydelse än fysikkunskap. En kategori av fysiklärare har visat intresse för verktyget. Dessa lärare har accepterat det faktum att extra arbete fordras för att införa ny teknik och nya metoder i undervisningen. En del lärare anser emellertid att det är en alltför tidskrävande verksamhet.

Avhandlingen, som är ett exempel på en form av designbaserad forskning, ger bidrag till förståelsen av det komplexa i att integrera ett interaktivt datorverktyg i fysikundervisningen.

Åbo Akademis förlag
ISBN 951-765-314-X