

Mentale modeller og eksperimentelt arbejde i fysikundervisningen

Verner Schilling

Forord

Denne afhandling er resultatet af flere årtiers beskæftigelse med fysik, filosofi, fysikundervisning og fysikdidaktisk forskning.

Jeg har fra begyndelsen af min karriere som gymnasielærer været stærkt optaget af didaktiske problemstillinger. I 1996 fik jeg mulighed for at deltage i ALF-projektet (At Lære Fysik), et studie i læreprocesser i fysik finansieret af Undervisningsministeriet, og det var dette projekt der introduerede mig til egentlig didaktisk forskning. Det var en ny verden der åbnede sig for mig. Jeg begyndte at sætte mig ind i den didaktiske forskningslitteratur, deltog i internationale konferencer og lærte forskere indenfor området at kende.

Samspillet mellem en mangeårig reflekteret erfaring som lærer på den ene side og den forskningsmæssige undersøgelse af eleverne i læringssituationen på den anden, gjorde det klart for mig at der var en lang række problemer af didaktisk art som på den ene side ikke fuldt ud kan overskues og løses af den praktiserende lærer, men hvis forståelse og forskningsmæssige bearbejdning på den anden side forudsætter mange års praktisk erfaring.

Et problem der blev tydeligt for mig under det langvarige arbejde med ALF-projektet, var den pædagogisk set uafklarede rolle det eksperimentelle arbejde spillede i fysikundervisningen. Da der i 2000 blev mulighed for at søge ph.d.-stipendier ved det nyoprettede Dansk Institut for Gymnasiepædagogik (DIG), søgte jeg med et projekt med titlen ”Kan laboratoriet bruges til noget?”

Det er arbejdet med dette projekt der har resulteret i den foreliggende afhandling.

Miljøet på DIG har i været en stor inspiration for mig i dette arbejde. Ikke blot kunne jeg beskæftige mig med og diskutere pædagogisk-didaktiske problemer på fuld tid, jeg var sammen med mennesker med vidt forskellige faglige baggrunde. Denne bredde gav et perspektiv på diskussionerne som jeg ikke kunne have fået i en mere snæver faglig sammenhæng.

Jeg vil gerne takke alle på DIG, både faste medarbejdere og de andre stipendiater for mange inspirerende diskussioner, kritik og hjælp. Jens Dolin har jeg diskuteret med og fået inspiration af allerede under ALF-projektet som vi sammen deltog i. Tak til Finn Hauberg Mortensen som har styret det hele med sikker hånd.

Jeg vil også takke medarbejderne på IMFUFA, RUC, for adskillige gange at have hørt på mine tanker og kommet med konstruktiv kritik.

Tak til Københavns kommune for med stipendiet at have gjort det hele muligt.

En særlig tak må jeg give min familie, Signe, Mathilde og især Hanne. Hannes hjælp og overbærenhed har været uvurderlig. Hun har diskuteret projektet med mig, kritiseret, inspireret og støttet. Uden hende var det ikke gået.

Og så en helt speciel tak, nemlig til min vejleder (og, kan jeg sige: mentor), Karin Beyer. Karin var den der via ALF førte mig ind i den fysikdidaktiske forskning. Siden har hun jævnligt med sin klare tænkning skærpet min kritiske sans og øget mit overblik. Hun har, i et omfang langt ud over hvad der kunne forventes, fulgt projektet. Helt til enden, selv om det trak ud. Hun har været mere end en vejleder, hun har været en god ven.

Verner Schilling,

Jonstrup, August 2006

Mentale modeller og eksperimenter i fysikundervisningen

I denne afhandling analyserer jeg forholdet mellem elevers teoretiske viden og deres evne til at udføre eksperimentelt arbejde i fysik.

Afhandlingens udgangspunkt er en afvisning af det ofte stillede spørgsmål om det praktiske arbejdes effektivitet som et pædagogisk middel til at lære fysikkens teori. I stedet spørger jeg hvad der skal til for at gøre laboratoriearbejdet meningsfyldt for eleverne.

Afhandlingen består af tre dele.

Den første del er en teoretisk analyse. Jeg vælger at gå ud fra den præmis at skolefaget fysik skal afspejle særlige træk ved fysikken som en speciel måde at betragte naturen på. Idet jeg bruger indsigter fra videnskabsteorien, prøver jeg at indkredse fysikkens centrale karakteristika, specielt eksperimentets rolle. Jeg argumenterer for at et fænomen ikke er et *fysikfænomen* med mindre det ses fra fysikkens særlige synsvinkel. Og det er kun når et fænomen ses som et fysikfænomen at det kan gøres til genstand for fysikeksperimenter.

Jeg giver derefter en oversigt over forskellige typer praktisk arbejde og diskuterer hvordan elever kan lære at gennemføre fysikundersøgelser, dvs. se fænomener som fysikfænomener. Af diskussionen og analyserne i den første del udspringer det centrale forskningsspørgsmål:

Hvordan påvirker elevernes mentale modeller deres evne til at stille eksperimentelle fysikspørgsmål og gennemføre eksperimentelle fysikundersøgelser?

I den anden del kombinerer jeg viden fra videnskabsteorien med indsigter en kognitive psykologi for i detaljer at analysere elevernes mulige mentale modeller og hvordan disse kan tænkes at påvirke de fænomener de ser.

På grundlag af dette teoretiske arbejde har jeg udarbejdet et analyseredskab til analyse af elevernes dialoger under deres planlægning eller fortolkninger af eksperimentelle undersøgelser. Analyseapparatet omfatter en omhyggelig analyse af det pågældende eksperimentelle problem, både fra et fysikteoretisk perspektiv og fra et didaktisk perspektiv. Ved hjælp af denne analyse identificeres en række perspektiver for elevernes mulige mentale modeller i forhold til problemet, og elevernes dialog eller skriftlige udsagn sammenlignes med disse aspekter.

I den tredje del analyserer jeg detaljeret tre cases hvor elever arbejder med problemer i forbindelse med eksperimenter. Analysen er baseret på videooptagelser af eleverne, og fra udskriften af dialogen rekonstrueres plausible beskrivelser af deres mentale modeller efterhånden som disse udvikler sig i løbet af arbejdet. På denne måde fremkommer der en meget detaljeret beskrivelse af elevernes arbejde. Disse modeller sammenlignes så med hvad eleverne siger og gør.

Det viser sig at denne metode er et velegnet værktøj til at forstå elevernes mentale modeller. De tre cases illustrerer meget klart hvordan elevernes evne til at stille eksperimentelle spørgsmål i forbindelse med et fænomen forbedres efterhånden som deres mentale modeller udvikler sig.

De pædagogiske implikationer er at lærere bør være meget opmærksomme på deres elevers specifikke teoretiske forståelse (deres mentale modeller) i forbindelse med det fysikfænomen de undersøger. Man kunne tænke sig at en væsentlig del af den teoretiske undervisning stilles i eksperimentets tjeneste.

Mental models and practical work in school physics

In this thesis I analyze the relationship between students' theoretical knowledge and their ability to carry out experimental work in physics.

The starting point of the thesis is a rejection of the often asked question about the effectiveness of practical work as a pedagogical aid to teaching the theory of physics. Instead I ask what it takes to make laboratory work meaningful for the students.

The thesis consists of three parts.

The first part is a theoretical analysis. I start with the premise that school physics should reflect the essential features of physics as unique way of looking at Nature. Using insights from the philosophy of science, I then try to pinpoint the crucial characteristics of physics, in particular the role of experiments. I argue that a phenomenon is not a *physics* phenomenon, unless it is viewed from the special viewpoint of physics. And it is only when the phenomenon is seen as a physics phenomenon that it can be made the object of physics investigations.

I then give an overview of different types of practical work, and discuss how students can learn to carry out physics investigations, i.e. see phenomena as *physics* phenomena. As a result of the discussions and analyses in the first part, the main research question is developed:

How do students' mental models affect their ability to ask experimental physics questions, and carry out physics investigations?

In the second part, I combine knowledge from the philosophy of science with insights from cognitive psychology to analyze in more detail the students' possible mental models and how these might affect what phenomena they see, and thus, what kind of experimental questions they are capable of asking.

On the basis of this theoretical work I have devised a method of analysis of students' dialogues as they plan or carry out data analysis in connection with experimental investigations. This method involves a careful analysis of the particular experimental problem, both from the point of view of physics theory, and from a didactic point of view. From this analysis a number of aspects of the students' possible mental models in relation to the problem in question are identified, and the students' dialogue or written statements are compared with these aspects.

In the third part I analyse in detail three cases where students work with problems in relation to experiments. The analysis involves videotaping the students and, from the transcribed dialogue, reconstructing plausible descriptions of their mental models as these develop in the course of their work. The method for reconstructing the mental models is in part informed by the content of the dialogue itself. In this way a very rich and detailed description of the students' work emerges. These models are compared with the students' actions.

It is shown that the method is a good tool understanding the students' mental models. The three cases illustrate very clearly how the students' ability to ask experimental questions in connection with a phenomenon improves as their theoretical mental models develop.

The pedagogical implications are that teachers should pay much more attention to the level of their students' specific theoretical understanding (their mental models) in connection with the physics phenomenon they are investigating. I propose, in fact, that a major part of the teaching of theory in school is put at the service of experimental investigations.

Indhold

1	Indledning	7
1.1	Baggrunden.....	7
1.2	På vej mod et forskningsspørgsmål	10
1.3	Projektet.....	11
1.4	Metodiske overvejelser	12
1.5	Afhandlingens struktur	14
DEL I.....		16
2	Den videnskabsteoretisk- didaktiske femkant	16
2.1	Didaktik	16
2.2	Sammenhængen mellem begrundelse, indhold og metode	16
2.3	Skolefag og videnskabsfag	17
2.4	Videnskabsfaget	19
2.5	Skolefaget	19
2.6	Relationen mellem skolefag og videnskabsfag.....	20
2.7	Opsummering	21
3	Fysikdidaktik og videnskabsteori	23
3.1	Kan fysikdidaktikken lære noget af videnskabsteorien?	23
3.2	Sammenhængen med eksperimenter og observationer	23
3.3	Fysikkens særegenhed set fra en pædagogisk synsvinkel	25
3.4	Fysikken som historisk tradition	25
3.5	Teori og virkelighed	27
3.5.1	Begreb og observation.....	27
3.5.2	Fysikken og vores hverdagserfaring.....	28
3.5.3	To nødvendige synsvinkler: Instrumentalisme og realisme.....	29
3.6	Hvad er et fænomen?	29
3.6.1	Fænomen og eksperiment	30
3.7	Teori, eksperiment og læring.....	31

3.8	Den didaktiske situation	32
3.8.1	Valg af model.....	33
3.8.2	Valg af eksperimentelt problem	34
3.8.3	Elevens forudsætninger	34
3.9	Videnskabsteori og eksperimentets pædagogiske betydning.....	34
3.9.1	Tre typer normalforskning	35
3.9.2	Artikulering af et paradigme	36
3.9.3	Paralleller mellem paradigmeartikulering og læringssituationen	36
3.9.4	Betydningen af eksperimentel udforskning for teoriforståelsen	37
3.9.5	Fysikken som værktøj.....	38
3.10	Opsummering.....	38
4	Videnskabsteori og fysiklæring.....	40
4.1	Læring og erkendelse	40
4.2	Hvor kommer abstrakte begreber fra? Begrebsrealisme og nominalisme.....	41
4.3	Lockes empirisme	42
4.4	Videnskabelige teorier som instrumenter	43
4.5	Relativisme.....	44
4.6	Hvordan er fysiske teorier mulige?.....	45
4.7	Er der en sammenhæng mellem videnskabssyn og læringssyn?	46
5	Det praktiske arbejde i fysikundervisningen.....	51
5.1	Argumenter for praktisk arbejde.....	51
5.2	Typer af mål for det praktiske arbejde	51
5.3	Forholdet mellem de forskellige mål	53
5.4	Mål for det praktiske arbejde i forhold til fysikfagets generelle formål.....	54
5.5	Færdighedsperspektivet	55
5.5.1	Observationer	55
5.5.2	Målinger er observationer	55
5.5.3	Variable.....	56
5.5.4	Måling og data	57
5.5.5	Hvad målinger fortæller.....	58
5.5.6	Instrumentelle færdigheder	58
5.6	Vidensperspektivet	59
5.6.1	Illustrationer	59
5.6.2	Pædagogiske begivenheder	60
5.6.3	Diskutere et fænomen ud fra en teoretisk model	61
5.6.4	Frembringe et fænomen	61
5.6.5	Opdagelse af teori i laboratoriet.....	62
5.6.6	Konstruktion af begreber i laboratoriet.....	64

5.6.7	Hypoteser.....	65
5.7	Eksperimentelle undersøgelser	65
5.7.1	Den eksperimentelle undersøgelses begreber	68
5.7.2	En taksonomi for den eksperimentelle undersøgelses begreber	69
5.7.3	Generaliserbarhed af processuelle kompetencer.....	73
5.8	Mål og midler	73
5.8.1	Teori og eksperiment.....	73
5.8.2	Kompetencer	74
5.9	Opsummering.....	77
DEL II.....		78
6	Mentale modeller i fysik	78
6.1	Indledning	78
6.2	Teorier og modeller i fysikken.....	78
6.3	Mentale modeller	80
6.4	Kognitiv virksomhed, mentale modeller og læring.....	81
6.5	Conceptual change	85
6.6	Udviklingen af mentale modeller	87
6.7	Modeller som analogier.....	89
6.8	Mentale modeller og cognitive change	91
6.9	Flere mentale modeller?	92
6.10	To-verdens modellen.....	93
6.11	Kompleksitet og situeret kognition.....	94
6.12	Sammenfatning.....	95
6.13	Mentale modeller og eksperimentelle undersøgelser	96
7	Opbygning af analysemodel.....	97
7.1	Rekonstruktion af mentale modeller	97
7.2	Kognitive atomer: p-prims	98
7.3	Analysemodellen.....	101
7.3.1	Teoretisk analyse af fænomenet – opstilling af konsensusmodel	101
7.3.2	Kognitiv og didaktisk analyse	101
7.3.3	Rekonstruktion af elevernes mentale modeller	102

DEL III..... 104

8 Mekanik: Skibsmodel og kageforme..... 106

8.1	De to cases	106
8.2	Skibsmodel.....	107
8.2.1	Elevernes baggrund	107
8.2.2	Problemet.....	107
8.2.3	Bearbejdning af datamaterialet	108
8.3	Kageforme.....	108
8.3.1	Baggrund	109
8.3.2	Bearbejdning af datamaterialet	109
8.4	Fem forskellige perspektiver for mentale modeller	109
8.4.1	Formelperspektivet.....	109
8.4.2	Grafperspektivet.....	111
8.4.3	Systemperspektivet	111
8.4.4	Ligevægtsperspektivet.....	111
8.4.5	Kausalitetsperspektivet	112
8.5	Forbindelser mellem de forskellige mentale perspektiver	114
8.6	Analyse af elevmateriale	116
8.6.1	Skibsmodellen	116
8.6.2	Kageforme.....	117

Skibsmodellen 118

9 Grafperspektivet og formelperspektivet: Begrebers forskellige repræsentationer 118

9.1	Acceleration.....	118
9.1.1	Elevernes dialog: Acceleration	120
9.1.2	Elevernes dialog: Acceleration som fysisk begreb	125
9.1.3	Elevernes dialog: Hastighed og acceleration.....	127
9.2	Overførsel af generelle procedurer fra et område til et andet	132

10 Kinematik og dynamik: Acceleration og kraft..... 135

10.1	Elevernes dialog med fokus på acceleration og kraft	135
10.2	Diskussion af begreberne kraft og acceleration.	139

11 Kausalitet: sammenhæng og afhængighed 142

11.1	Symmetriske sammenhænge	142
------	-------------------------------	-----

11.2	Kontrollerede og ikke kontrollerede variable.....	142
11.3	Tiden som særlig variabel	143
11.4	Elevernes dialog med fokus på kausalitetsperspektivet.....	143
11.5	Indsigt.....	148
12	De enkelte elevers mentale billeder i fem forskellige perspektiver.....	149
12.1	Karsten	149
12.1.1	Formelperspektivet	149
12.1.2	Grafperspektivet.....	150
12.1.3	Systemperspektivet	151
12.1.4	Kausalperspektivet	152
12.2	Signe	156
12.2.1	Formelperspektivet.....	156
12.2.2	Grafperspektivet.....	157
12.2.3	Systemperspektivet	158
12.2.4	Ligevægtperspektivet	159
12.2.5	Kausalitetsperspektivet	160
12.3	Rie.....	162
12.3.1	Formelperspektivet.....	162
12.3.2	Grafperspektivet.....	163
12.3.3	Systemperspektivet	164
12.3.4	Ligevægtperspektivet.....	165
12.3.5	Kausalperspektivet	166
12.4	Cecilie.....	169
12.4.1	Formelperspektivet.....	169
12.4.2	Grafperspektivet.....	170
12.4.3	Systemperspektivet	170
12.4.4	Ligevægtperspektivet.....	171
12.4.5	Kausalperspektivet	171
12.5	Opsummering	172
	Kageforme	175
13	Faldende kageforme.....	175
13.1	Analyse af grundlæggende begreber i forbindelse med kageformsprojektet.....	175
13.1.1	Kausalperspektivets forbindelse med de fire andre perspektiver	175
13.1.2	Graf- og formelperspektivet: Kinematik.....	176
13.1.3	System- og formel- og ligevægtperspektivet: Dynamik	176
13.1.4	System- og ligevægtperspektivet: Tyngdekraft og luftmodstand	177
13.2	Analyse af to elevers arbejde med kageformsprojektet	178

13.2.1	Nannas historie.....	178
13.2.2	Ivans historie:	188
13.3	Indsigt.....	190
14	Varmelæreforsøg.....	191
14.1	Fem forskellige perspektiver for mentale modeller.....	191
14.1.1	Formelperspektivet.....	191
14.1.2	Systemperspektivet.....	193
14.1.3	Ligevægtperspektivet.....	194
14.1.4	Kausalitetsperspektivet.....	194
14.1.5	Bevarelsesperspektivet.....	195
14.2	Forbindelser mellem de forskellige perspektiver.....	197
15	Nannas mentale modeller i varmelære.....	200
15.1	Analyse af forsøg til bestemmelse af specifik varmekapacitet for et metal.....	200
15.2	Nannas udvikling af mentale modeller - varmfylde.....	202
15.3	Analyse af smelteforsøget.....	207
15.4	Nannas udvikling af mentale modeller - smeltevarme.....	211
15.5	Udviklingen af Nannas mentale modeller.....	219
15.5.1	Varmefyldeforsøget.....	219
15.5.2	Smelteforsøget.....	220
15.6	Opsummering.....	221
16	Sammenfatning og konklusion.....	223
16.1	DEL I: Teoretisk analyse.....	223
16.2	DEL II: Opbygning af analyseapparat til beskrivelse af elevernes mentale modeller.....	225
16.3	DEL III: Analyse af empiriske cases.....	225
16.4	Perspektivering og pædagogiske konsekvenser.....	227
	Litteratur:.....	229

1 Indledning

1.1 Baggrunden

Praktisk arbejde (hovedsageligt i laboratoriet) har i hele dette århundrede været en integreret del af fysikfaget i gymnasiet. Der har været vekslende syn på hvad formålet med denne del af undervisningen er, men en gennemgående begrundelse har været den vægt man har tillagt den pædagogiske betydning af elevernes selvvirksomhed (Beyer 1996), og overbevisningen om den afgørende betydning af det praktiske arbejde er i dag hos de fleste fysiklærere så grundfæstet og indiskutabel som nogen sinde.

Især i de senere årtier har der imidlertid i den didaktiske forskning, især i de angelsaksiske lande, været rejst alvorlig tvivl om det praktiske arbejde overhovedet kan bidrage til at frembringe de læringsresultater man hidtil har forventet af det. Det billede der typisk tegner sig af de sidste par årtiers forskning på området er at

There is insufficient evidence that laboratories promote better understanding of the methods of science and of abstraction and processes, make information memorable, reveal links between topics, and motivate (Richard White 1996, p.768)

Og Richard White fortsætter:

Educationists need to consider the situation carefully: Is our faith in laboratories misplaced and our theory about their value incorrect, or is practice poor? (Richard White 1996, p.768)

Der er næppe heller tvivl om at mange lærere, selv om de ikke grundlæggende sætter spørgsmålstegn ved det praktiske arbejde, har en ubehagelig fornemmelse af at deres elever ikke får det ud af det de burde få. Men *hvordan* de kunne få mere ud af det praktiske arbejde, og *hvad* de i givet fald skulle få ud af det er der ikke mange der har et godt bud på.

Heller ikke den fysikdidaktiske forskning byder på overbevisende svar. Der har som sagt været skrevet en hel del om hvad det praktiske arbejde *ikke* kan udrette i læringsmæssig henseende (se f.eks. Jenkins 1999). Der er blevet sagt langt mindre om hvad det måske alligevel *kan*. Som Richard White foreslår, kan det selvfølgelig skyldes, at dets muligheder faktisk er stærkt overvurderede. Men det kan, som han siger, også skyldes at det praktiske arbejde skal ændres væsentligt i forhold til den måde hvorpå det tilrettelægges af de fleste lærere i dag, for bedre at kunne opfylde nogle af de opstillede mål.

Forestillingen om det praktiske arbejdes betydning for elevernes begrebsudvikling falder godt i tråd med en konstruktivistisk forståelsesramme. Netop når eleverne tumler med konkrete genstande og fænomener hvorpå begreberne skal anvendes er det nærliggende at formode at begrebskonstruktion i særlig grad finder sted (se f.eks. Thomsen 1993, Welzel 1998). Når det tilsyneladende ikke sker ret ofte, kan det måske skyldes at det praktiske arbejde, som det almindeligvis tilrettelægges, slet ikke tvinger eleverne til at bringe deres (fysik)begrebsapparat i anvendelse.

Der er i England gennemført en lang række undersøgelser af fysiklæreres holdninger til spørgsmålet om formålet med laboratoriearbejdet. I tre undersøgelser i henholdsvis 1962, 1975 og 1996 (Woolnough, 1998) ser vi en vis udvikling i lærernes indstilling. I nedenstående tabel er resultaterne fra de tre undersøgelser anført. De mål der drejer sig om at forbinde det praktiske arbejde med teorien er særligt markeret. Tallene angiver lærernes syn på den relative vigtighed af ti mulige mål hvor 1 betyder mest vigtigt og 10 mindst vigtigt.

Læreres opfattelse af det praktiske arbejdes rolle i fysikundervisningen, 1962, 1975, 1996
(For elever i aldersgruppen 16-18, altså svarende til det danske gymnasium)

	Kerr	Oxford	Oxford
AIMS	1962	1975	1996
To make phenomena more real through experience	7	2	4
To practice seeing problems and seeking ways to solve them	8	7	3
To promote a logical, reasoning method of thought	4	3	2
To encourage accurate observation and description	1	1	1
For finding facts and arriving at new principles	3	8	10
To elucidate theoretical work as an aid to comprehension	2	6	5
To arouse and maintain interest	9	4	6
To develop specific manipulative skills	6	5	7
To verify facts and principles already taught	5	10	8
To satisfy National Curriculum and GSCE requirements	10	9	9

Fælles for resultaterne i alle tre undersøgelser er, at det formål lærerne tillægger størst betydning er "To encourage accurate observation and description". Hvis vi ser på de andre mulige formål lærerne blev præsenteret for, ændrer holdningerne til deres relative betydning sig markant: Fra stærk vægtning af formidling af teoretisk indhold til en hovedvægt på procesorienterede mål. I undersøgelsen fra 1962 kommer følgende formål ind på en andenplads: "To elucidate theoretical work as an aid to comprehension". Og på tredjepladsen nævnes: "For finding facts and arriving at new principles". Efter disse læreres mening har laboratoriearbejdet altså en central betydning for teori- og begrebsudviklingen hos eleverne, og det synspunkt at eleverne i laboratoriet kan finde frem til nye principper er åbenbart udbredt.

I 1975 er disse to formål (belyse teorien og finde frem til nye principper) gledet ned på hhv. sjette og ottende pladsen ud af ti mulige. I stedet får vi på andenpladsen: "To make phenomena more real through experience", og på tredjepladsen: "To promote a logical, reasoning method of thought". I 1996 avancerer dette formål (at fremme logisk ræsonnement) til andenpladsen, og på tredjepladsen får vi: "To practice seeing problems, and seeking ways to solve them". Dette formål optrådte i 1962 på ottendepladsen og i 1975 på syvendepladsen. Det formål der i 1962 kom ind på en tredjeplads: "For finding facts and arriving at new principles", er nu gledet ned på en tiendeplads af ti mulige, efter det intetsigende "At opfylde læreplanskravene".

Vi ser altså i denne engelske undersøgelse en ændring i lærernes forestillinger om den mulige pædagogiske effekt af laboratorieundervisningen. Dette skyldes uden tvivl en ændret opfattelse af hvad denne undervisningsform egentlig formår. Mange undersøgelser (se henvisninger hos Woolnough,

1999) har som nævnt sået alvorlig tvivl om laboratorieundervisningens effektivitet med hensyn til at give eleverne en forståelse af fysikkens begreber og teorier. Men ændringen kan meget vel også skyldes en forskydning i lærernes ideer om hvad der er formålet med fysikundervisningen i det hele taget. Det er påfaldende at bortset fra den uændrede topprioritering af ønsket om i laboratoriet at lære eleverne præcis iagttagelse og beskrivelse af naturfænomener, så har målet at bibringe eleverne en forståelse af teorierne vejet pladsen for mere almene kompetencer: at kunne ræsonnere logisk, at kunne identificere problemer, at kunne udtænke måder hvorpå problemer kan løses. Formål som i 1962 blev prioriteret lavt.

Selv om der ikke i Danmark er foretaget tilsvarende undersøgelser af udviklingen i gymnasielæreres holdninger, er der grund til at formode et lignende billede her. Af en undersøgelse (GFII) gennemført af Center for Naturfagernes Didaktik i 1998 af fysikundervisningen i 1.g (Krogh og Thomsen 2000) fremgår det at læringsmål som ”at opnå indsigt i fysikkens arbejdsmetoder” og ”udvikling af en undersøgende/eksperimenterende holdning” prioriteres højt (tilslutning fra hhv. 64% og 52% af de adspurgte lærere).

Nu er læreres svar på spørgsmålet om hvad de anser for vigtigt i fysikundervisningen ikke det samme som en beskrivelse af hvad de rent faktisk gør. Dertil er de uskrevne traditioner for undervisningsformen alt for stærk, tiden til fornyelse alt for knap, de forhåndenværende ressourcer alt for begrænsede. De samme lærere der anfører de ovenfor anførte almene kompetencer ”to encourage accurate observation and description” og ”to promote a logical, reasoning method of thought” som højt prioriterede mål, angiver da også at de eksperimenter som de oftest lader deres elever udføre er ”strukturerede eksperimenter forbundet med teorien”. Altså det vi normalt ville kalde ”køgebogs-forsøg”. I den nævnte danske undersøgelse ser vi noget lignende.

Men det er ikke nødvendigvis bare traditionen og begrænsede ressourcer der har resulteret i konflikten mellem praksis og de opstillede pædagogiske mål. Der har sikkert også været et ønske om at nå flere forskellige mål på samme tid, og en manglende refleksion hos mange lærere over den pædagogiske effekt af forskellige aktiviteter i laboratoriet.

En af de forskere der har været mest skeptisk over for laboratoriearbejdet som det normalt ser ud i dag er Brian Woolnough.

Han trækker tingene skarpt op:

...much practical work is ineffective, unscientific and a positive deterrent for many students to continue with their science. It is ineffective in helping the students understand the concepts and theories of science.. It is unscientific in that it is quite unlike real scientific activity. And it is boring and time-wasting for many students who find it unnecessary and unstimulating.

I would argue that much of this ineffectiveness has been caused by a fundamental, and long lasting, confusion and conflict between aims for doing practical work ... We could argue that there are two main aims for teaching science, to know what and to know how - helping students understand the concepts of science and the processes of science. Science teaching should help the students know and understand the principles and theories of science and also understand and appreciate the way that scientists work. The problems arise when practical work is used with the hope of meeting both of these aims at - the same time. I would contend that trying to fulfil both aims in the same experiment will prevent the achievement of either - if we so tightly structure the practical that it clarifies the theory we will not allow the student to experiment freely, if we encourage the students to investigate the problem independently it is unlikely that they will discover “the right theory”. (Woolnough, 1998, p.109)

Woolnough sætter her fingeren på et afgørende dilemma i undervisningen i laboratoriet: Hvis eleverne skal udvikle en forståelse for ”fysikkens arbejdsmetoder” og udvikle ”en undersøgende/eksperimenterende holdning”, må de have en høj grad af frihed, deres egne fortolkningsforsøg og begrebskonstruktioner må tages alvorligt. Hvis de på den anden side skal udbygge deres forståelse for de (officielle) fysiske teorier og begreber kan en meget håndfast styring af deres arbejdsproces ofte synes nødvendig.

Dilemmaet sætter fokus på en afgørende forskel mellem den videnskabelige forskningsproces og elevernes læreproces i skolen: Der er forskel på at *skabe* fysik og at *genskabe* fysiske teorier.

Woolnough skelner mellem læringsmålene *to know what* og *to know how*, og hans pointe er at disse to forskellige læringsmål kræver to forskellige typer aktiviteter.

1.2 På vej mod et forskningsspørgsmål

Denne mangel på klarhed over laboratoriearbejdets muligheder og pædagogiske effekt og ønsket om at skabe større klarhed, er baggrunden for det projekt der ligger bag denne afhandling. Projektets første arbejdstitel var ”Kan laboratoriet bruges til noget?”

I udgangspunktet var det spørgsmål jeg ønskede at belyse, spørgsmålet *om* og i givet fald *hvordan* det praktiske arbejde i fysikundervisningen kunne opfylde Woolnoughs to læringsmål. Specielt ville jeg undersøge om der var laboratorieaktiviteter der var egnede til at nå målet *to know what*, altså til at lære fysikkens teori.

Jeg fremsatte den hypotese at når det praktiske arbejde havde så ringe en effekt, så skyldtes det først og fremmest at eleverne ikke brugte tilstrækkelig meget tid på at planlægge deres eksperimenter. Derfor lod jeg, i samarbejde med to fysiklærere, elever foretage en omhyggelig planlægning af eksperimenter. Jeg observerede eleverne under planlægningen og læste deres skriftlige planer. Planlægningen tog meget længere tid end jeg havde forestillet mig, og det blev klart for mig at hvis eleverne virkelig skulle nå frem til at forstå hvad de foretog sig i den eksperimentelle situation, skulle de igennem en meget omfattende udvikling af deres begrebsforståelse i forhold til netop dén specielle eksperimentelle situation de stod overfor.

Efterhånden som jeg dels iagttog elever i laboratoriet, dels arbejdede mig dybere ned i problemstillingen fra den teoretiske side, blev det klart for mig at spørgsmålene

Kan laboratoriearbejdet bruges til at fremme elevernes teorilæring?

Og, hvis svaret er bekræftende,

Hvordan kan laboratoriearbejdet fremme elevernes teorilæring?

var forkert stillet. Forholdet mellem teorilæring og det praktiske arbejde er langt mere kompliceret end hvad der implicit er forudsat hos f.eks. White og Woolnough. At skelne skarpt mellem *to know what* og *to know how*, og dermed adskille teorilæringen fra den åbne eksperimentelle undersøgelse, er dybt problematisk. Dels er det nemlig klart at eksperimentelle undersøgelser forudsætter teoretisk indsigt, og man kan spørge om det overhovedet er muligt at foretage en sådan undersøgelse uden en teoretisk baggrund. Dels er det på ingen måde klart hvad det vil sige at ”kunne” teorien. Er det at kunne ”gengive” teorien? Og hvordan afgør man så om det der gengives er forstået? Er det at kunne ”anvende” teorien? Og hvilke anvendelser skal der så være tale om?

1.3 Projektet

Når spørgsmålet om den pædagogiske anvendelighed af det praktiske arbejde bliver problematisk, sådan som jeg her påstår, får spørgsmålet om hvilken rolle det praktiske arbejde skal spille i fysikundervisningen også en helt anden karakter. Vi skal ikke spørge til sådanne aktiviteterets *brugbarhed* i undervisningen, men må spørge om efter hvilke kriterier vi skal udforme skolefaget fysik, og hvilke relationer der er mellem fagets forskellige elementer – herunder den eksperimentelle dimension.

Dette er et spørgsmål om fysikfagets kernefaglighed. Her vælger jeg at sige at skolefaget som en vigtig del skal afspejle det væsentlige i videnskabsfagets erkendelsestradition. Det vil sige at skolefaget fysik skal søge at formidle den centrale kerne i det bidrag som fysikken har leveret til vores naturerkendelse.

Jeg har derfor valgt at vende spørgsmålet om. I stedet for at spørge om nytten af det eksperimentelle arbejde i undervisningen, stiller jeg spørgsmålet: Hvilke forudsætninger er nødvendige for at eksperimentelt arbejde i fysikundervisningen kan være med til at formidle fysikkens erkendelsestradition?

Tager vi udgangspunkt i den præmis at skolefaget skal afspejle det væsentlige i videnskabsfagets erkendelsestradition, er det vigtigt at besvare spørgsmålene

Hvad er de væsentlige karakteristika for videnskabsfaget fysik og hvad er eksperimentets rolle i videnskabsfaget set fra en videnskabsteoretisk synsvinkel?

Samt

Hvordan kan den væsentlige kerne i eksperimentets rolle i videnskabsfaget overføres til undervisningsfaget fysik?

Disse spørgsmål vil jeg forsøge at afklare i den første del af afhandlingen. Det er denne afklaring der fører frem til det egentlige forskningsspørgsmål, der kan siges at være en indsnævring af det ovenfor stillede spørgsmål om forudsætningerne for at eksperimentelt arbejde kan formidle fysikkens erkendelsestradition:

Hvilken betydning har elevernes teoretiske forudsætninger for deres mulighed for at få udbytte af eksperimentelt arbejde i skolen?

Da det er virkelige elever vi har med at gøre, må vi også spørge hvilke vanskeligheder de vil have i forbindelse med at opnå de nødvendige forudsætninger i forbindelse med deres eksperimentelle arbejde.

Vi kan derfor uddybe spørgsmålet på følgende måde:

Hvordan udvikler elevernes (mere eller mindre hensigtsmæssige) teoretiske forudsætninger sig? Med andre ord, hvilke mentale billeder har de i forhold til eksperimentelle situationer og problemer, hvordan udvikler disse billeder sig, og hvilken betydning har de for deres udbytte af den eksperimentelle undervisning?

Ser vi generelt på de didaktiske vanskeligheder i forbindelse med eksperimenter i undervisningen, er det er klart at der er andre forudsætninger for succesfuldt eksperimentelt arbejde end teoretiske. F.eks. er det indlysende at elevernes eksperimentelle færdigheder og kompetencer har betydning for deres mulighed for at få udbytte af eksperimentelt arbejde. Det er også klart at elevernes engagement er afgørende for succesen af enhver undervisningsaktivitet – også eksperimentelle aktiviteter (se f.eks. Beyer 1992). Man kan måske endda hævde at motivation og engagement og øvrige affektive faktorer i betydning overskygger alle andre faktorer i undervisningen.

Mit fokus vil imidlertid være elevernes teoretiske forudsætninger, og når jeg kommer ind på elevernes eksperimentelle færdigheder og kompetencer, er det fordi de viser sig at være intimt forbundne med de teoretiske forudsætninger.

Elevernes teoretiske forudsætninger har jeg valgt at diskutere ud fra teorien om mentale modeller sådan som den er udviklet inden for den kognitive psykologi. Jeg prøver altså at undersøge hvordan arten af elevens mentale modeller påvirker deres forståelse af en eksperimentel situation.

På baggrund af teorien om mentale modeller har jeg bestræbt mig på at udvikle et analyseredskab eller en analytisk tilgang der skal kunne anvendes til at studere udviklingen af konkrete elevens teoretiske forudsætninger, repræsenteret ved deres mentale modeller. Dette analyseredskab afprøves på tre konkrete cases hvor elever arbejder med eksperimentelle problemstillinger i fysik.

Et spørgsmål der derfor også søges besvaret i afhandlingen er spørgsmålet

Kan det i afhandlingen opstillede analyseredskab bruges til at bedre at forstå elevernes tænkning og deres vanskeligheder og til at opnå en bedre forståelse af årsagen til disse vanskeligheder?

1.4 Metodiske overvejelser

Grundlæggende er denne afhandling en teoretisk analyse. Grundlaget er flere forskellige teorikomplekser: Videnskabsteori, kognitiv psykologi og læringsteori, fysikkens teori. Dette mangeartede teorigrundlag søges kombineret i en sammenhængende didaktisk analyse af elevens læringssituation i forbindelse med eksperimentelt arbejde.

Det er en vigtig pointe i min metodiske tilgang at alle disse vidensområder spiller en vigtig rolle. For eksempel er det vigtigt for at kunne foretage en troværdig rekonstruktion af elevernes mentale modeller at inddrage en dybtgående forståelse af strukturen af relevante fysiske teorier og modeller. Generel psykologisk viden er vigtig, men vil her være helt utilstrækkelig.

Det kan naturligvis være problematisk at brede sig over så mange vidensområder. Især hvad angår den kognitive psykologi har det kun været muligt for mig at sætte mig relativt overfladisk ind i emnet. Men det har været afgørende, for at komme frem til en troværdig beskrivelse af elevernes forståelse, at inddrage dette område sammen med det øvrige teorigrundlag.

De elever jeg har studeret og som indgår i de cases jeg præsenterer, har deltaget i aktiviteter som jeg har været med til at planlægge. Der er dog ikke tale om deciderede eksperimenter med undervisningsform eller indhold, idet jeg blot i samarbejde med deres lærer har forsøgt at gøre undervisningssituationen så relevant for mig som muligt. I den første af de tre cases (se afhandlingens del

III) diskuterede eleverne deres opgave uden indgriben fra læreren, i den andet case blev eleverne bedt om med mellemrum at skrive deres overvejelser ned og i den tredje case udarbejdede jeg det materiale eleverne brugte som grundlag for deres arbejde.

Materialet der angår elevernes arbejde består først og fremmest af videooptagelser af deres indbyrdes dialog. Der er dog også brugt spørgeskemaer og interviews. Udskrifterne af videooptagelserne er derefter blevet analyseret med henblik på at opnå en bedre forståelse af udviklingen af deres mentale modeller og deres vanskeligheder i forbindelse med eksperimentelle situationer.

Udviklingen af den metode jeg anvender i denne analyse bliver beskrevet i kapitel 7. Det er et vigtigt mål med studiet af de valgte elevcases at afprøve denne metode. Analyseredskabet der udvikles skal ikke opfattes som et standardværktøj som man kan bruge på samme måde i forhold til alle situationer. Det skal opfattes som en analytisk tilgang til studiet af elevernes læreproces i forbindelse med eksperimentelle problemstillinger. Den konkrete udformning af denne tilgang skal tilpasses både det problem eleverne bliver præsenteret for og de konkrete elever og deres forudsætninger. Denne tilpasning vil blive mere præcist beskrevet i forbindelse med gennemgangen af de enkelte cases.

Den detaljerede fremgangsmåde i m.h.t. indsamlingen og analysen af materialet fremgår også af de enkelte afsnit i del III.

Det er vigtigt at understrege at afhandlingen er teoretisk. Selv om der er brugt et omfattende empirisk materiale (elev-cases), er dette materiale ikke brugt til at bekræfte eller afkræfte en hypotese, heller ikke som grundlag for at opstille nye hypoteser. Det er brugt til at udfolde og kvalificere de teoretiske analyser og til at skaffe en baggrund for at kunne nyttiggøre de teoretiske indsigter i den pædagogiske praksis.

På samme måde som elevernes forståelse er bygget op i et samspil mellem eksisterende ideer og nye indsigter opstået i arbejdet med den givne opgave, er de indsigter der vil blive præsenteret i denne afhandling fremkommet i en vekselvirkning mellem teoretiske overvejelser og brug af tidligere forskning på den ene side, og de (ofte overraskende) detaljerede iagttagelser jeg har kunnet gøre af elevernes dialog. De teoretiske overvejelser har gjort det muligt at sætte elevernes dialog ind i en forståelsesramme og har gjort det plausibelt at forståelsen af dialogen til en vis grad afspejler elevernes tankeprocesser. På den anden side har dialogen inspireret en del af de teoretiske analyser.

Det kan ikke afvises at der her er tale om en omfattende cirkelslutning, hvor den teoretiske forståelse af elevernes tænkning er baseret på en fortolkning af elevernes dialog, mens fortolkningen af dialogen på den anden side er baseret på de teoretiske forestillinger. Men i den fortløbende vekselvirkning er fortolkningsrammen og forståelsesniveauet blevet stadig mere omfattende og detaljeret. Tankefigurer går igen og giver mening i mange sammenhænge, og elevernes tænkning fremstår som stadig mere transparent. Jeg påstår ikke at jeg vil kunne se ind i elevernes hoveder, eller at jeg kan finde ud af hvad de tænker. Men jeg indsamler og organiserer en lang række tankemønstre hos eleverne der kan hjælpe os til at tale med dem og forsøge at forbinde deres tænkning med vores læringsmål.

Det er vigtigt at være opmærksom på at mine cases kun omfatter få elever, og da elever jo er forskellige (selv om vi ved at der er betydelige fællestræk i deres tankemønstre), kan det tænkes at andre elever vil tænke anderledes. Pointen er heller ikke at den præcise beskrivelse af den udvikling i elevernes mentale modeller jeg har foretaget kan generaliseres. Pointen er at en forståelse og analyse af elevernes mentale modeller kan hjælpe os i det pædagogiske arbejde.

1.5 Afhandlingens struktur

Afhandlingens overordnede struktur fremgår af oversigtsfiguren på side 15. Den består af tre dele.

DEL I:

Den første del er en teoretisk analyse af fysikfaget og dets elementer. Jeg forsøger at afklare forholdet mellem teori og eksperiment ud fra et didaktisk perspektiv, idet jeg gennemarbejder de dybtliggende sammenhænge mellem en videnskabsteoretisk forståelse af faget og fagets didaktiske problemstillinger.

Del I består af fire kapitler. Kapitel 2 giver en oversigt over forholdet mellem videnskabsfaget og skolefaget. Kapitel 3 er en didaktisk analyse af fysikfaget og specielt eksperimentets rolle ud fra en videnskabsteoretisk synsvinkel. I kapitel 4 diskuteres forholdet mellem videnskabsteori og lærings-teori. Kapitel 5 er baseret på et udvalg af relevant litteratur, og er en mere detaljeret gennemgang af det praktiske arbejde i fysikundervisningen og dets muligheder.

DEL II:

Den anden del er en beskrivelse af mentale modeller ud fra den kognitive psykologis begreber samt en analyse af den didaktiske betydning af at anlægge et sådant mentalt perspektiv. Forholdet mellem elevernes mentale modeller (som er under stadig udvikling) i forbindelse med fysik, og de eksplícitte modeller der undervises i, diskuteres.

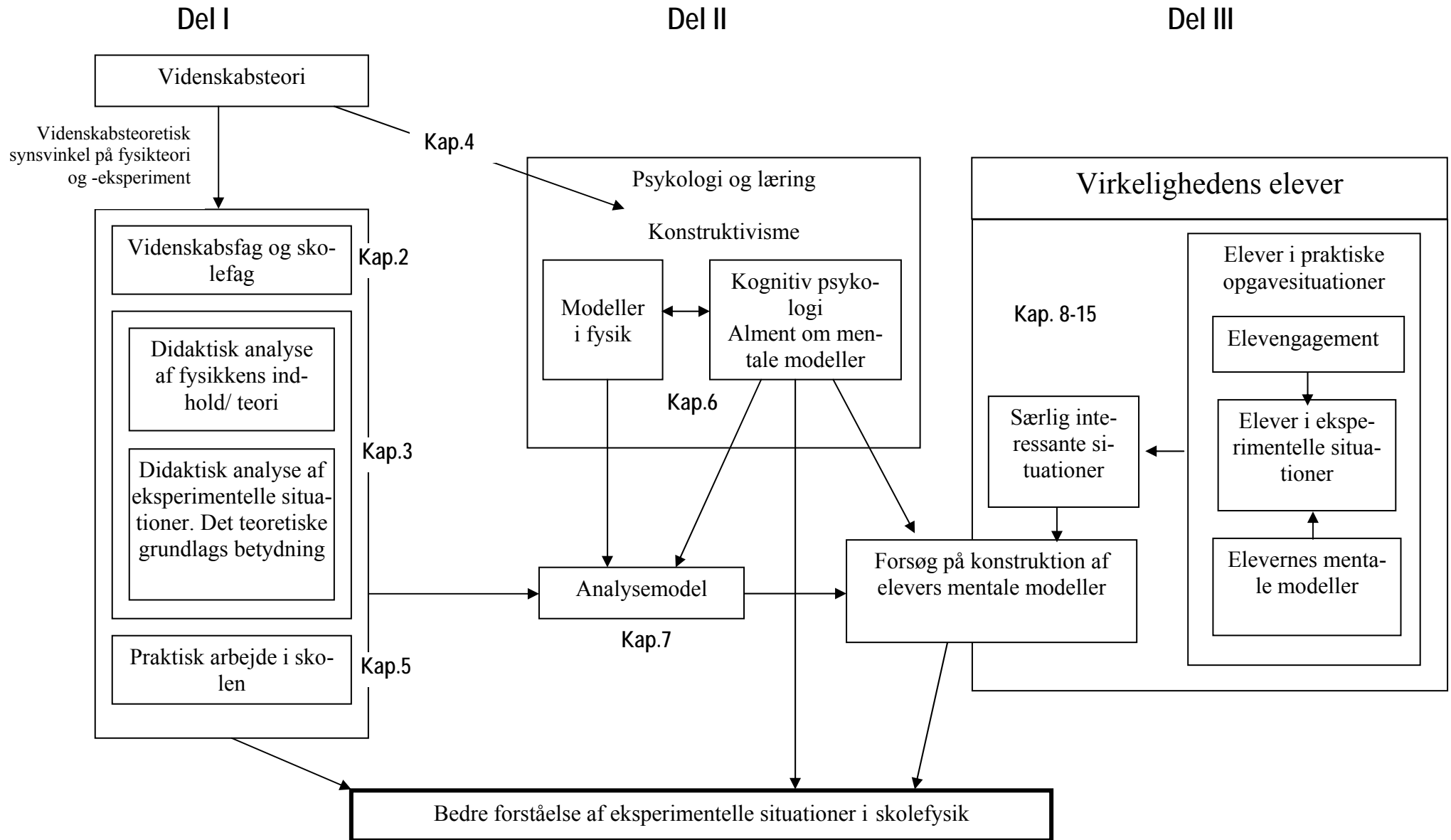
Del II består af to kapitler. Kapitel 6 forsøger, hovedsageligt på baggrund af den kognitive psykologi, at give et overblik over elevernes udvikling af mentale modeller. Med baggrund i disse indsigter opbygges i kapitel 7 et analyseapparat, der har til formål at rekonstruere elementer af elevernes mentale modeller og vurdere deres betydning for elevernes læreproces. Grundstrukturen i dette apparat er at en fysikteoretisk analyse af en bestemt problemstilling eller situation kombineret med en viden om alment forekommende mentale grundstrukturer, konfronteres med elevernes udsagn eller dialoger. Derved rekonstrueres en række mentale modeller som igen benyttes til at få en dybere forståelse af elevernes vanskeligheder og faglige udvikling.

DEL III:

Del III består af en række cases hvor elevs dialoger bliver analyseret i dybden ud fra det ovenfor beskrevne skema. Det er meningen herved at afprøve og illustrere analyseapparatets muligheder, bl.a. at prøve at få en række væsentlige træk i elevernes læreproces til at træde meget tydeligt frem. Det bliver her undersøgt hvilken betydning elevernes mentale modeller, som normalt forbliver skjult for læreren, har ikke bare for at de kan formulere, men for at de overhovedet kan forstå en eksperimentel problemstilling i fysik.

Til sidst konkluderer jeg på de ovenfor beskrevne udredninger og undersøgelser og prøver på baggrund heraf at fremsætte nogle pædagogiske handlingsanvisninger.

Oversigt



DEL I

2 Den videnskabsteoretisk- didaktiske femkant

2.1 Didaktik

I de følgende kapitler, kapitel 3 og 4, vil der blive argumenteret for at videnskabsfagets grundtræk er af afgørende didaktisk betydning i fysikundervisningen.

Fagdidaktik drejer sig bl.a. om tre spørgsmål: *Hvad* skal der læres og dermed undervises i, *hvordan* skal der undervises, og *hvorfor* skal der undervises i netop dette. Det første spørgsmål som angår indholdet, handler både om at fastlægge hvilke kompetencer faget skal bidrage med at udvikle hos eleverne og om kriterier for udvælgelse og pædagogisk bearbejdning af det stof der skal gøres til genstand for undervisningen. Det andet spørgsmål som angår de pædagogiske metoder, knytter an til såvel generelle læringsteoretiske problemstillinger som til mere specifikke overvejelser over læringsproblemer der er særegne for faget, og til effekten af forskellige undervisningsaktiviteter. Endelig omfatter det tredje spørgsmål, der angår begrundelser for faget, dels undersøgelser af hvilke grunde der kan gives for faget i forhold til hvad der måtte være af overordnede målsætninger for uddannelsessystemet, dels overvejelser over begrundelsen for enkeltdele af faget i forhold til fagets egen generelle målsætning.

2.2 Sammenhængen mellem begrundelse, indhold og metode

Det kan forekomme naturligt først at søge at definere det generelle formål med at undervise i et fag for derefter at fastlægge indholdet og endelig til sidst at overveje hvilke undervisningsmetoder der skal anvendes. Dvs. at den didaktiske analyse skulle følge følgende overordnede skema:

hvorfor → *hvad* → *hvordan*

Det er imidlertid ikke muligt at anskue disse tre hovedspørgsmål uafhængigt af hinanden. Spørgsmålet om formålet med en del af et fag eller med hele faget kan ikke ses alene i lyset af mere overordnede mål. Et fag er, både som videnskabsfag og som skolefag, resultatet af en historisk udvikling, og derfor må en del af ”hvorfor”-spørgsmålet være: Hvorfor er faget her? Hvilken rolle spiller det som videnskabsfag og som skolefag i vores samfund?

Dermed kommer en undersøgelse af formålet med skolefaget også til at omfatte et nøjere studium af videnskabsfaget – såvel af dets metoder som af dets resultater. Det er dette indhold der så at sige artikulerer formålet med videnskabsfaget – og dermed også en del af formålet med skolefaget, idet skolefaget har videnskabsfaget som en del af sit uafrystelige grundlag. ”Hvad”-spørgsmålet kommer derfor til at indeholde en væsentlig del af svaret på ”hvorfor”-spørgsmålet.

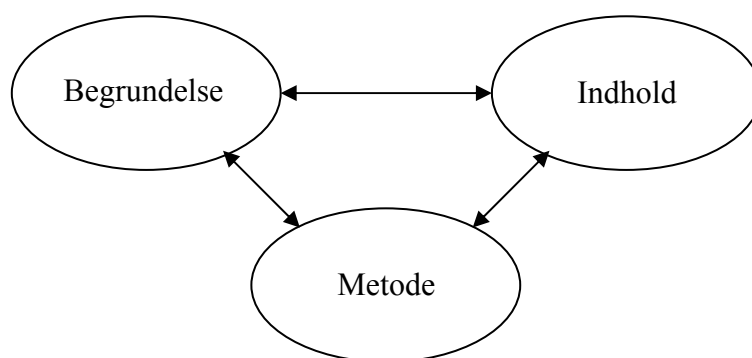
”Hvad”-spørgsmålet har også en sammenhæng med ”hvordan”-spørgsmålet der går ud over den indlysende kendsgerning at undervisningsmetoderne afhænger af det stof der undervises i. Et videnskabsfag er karakteriseret dels ved et genstandsområde, dels ved en for faget særegen metodisk tilgang til dette genstandsområde. Dette metodiske aspekt udgør en væsentlig del af fagets indhold og egenart. Det gælder i særlig grad for fysik der, som vi senere skal vende tilbage til, i langt højere grad er defineret ved sine metoder end ved genstandsområdet. Men hvis det at lære faget i et betydeligt omfang drejer sig om at tilegne sig en metode – og her bruges ordet ”metode” i den videste

betydning, så det omfatter både den empiriske og den teoretiske tilgang til verden – bliver ”metode” som del af faget og ”metode” som didaktisk strategi svære at skille ad.

Begrundelse, indhold og metode kan altså i fagdidaktikken ikke anskues som en lineær følge hvor begrundelsen bestemmer indholdet og indholdet bestemmer metoden. For at gøre denne pointe klar kunne vi, idet vi sætter sagen lidt på spidsen, argumentere for at den omvendte rækkefølge giver næsten lige så god mening: Faget drejer sig om en måde at se verden på, en metode til at lære noget om verden. Metoden bestemmer et indhold, nemlig den type indsigter der er et resultat af fagets særlige tilgang. Og først herefter giver det mening at spørge om fagets formål, altså meningen med faget, fordi meningen med faget følger af metoden og det deraf afledte indhold.

2.3 Skolefag og videnskabsfag

Begrundelse, indhold og metode er alle gensidigt forbundne (fig. 2.1). Det komplicerede forhold



Figur 2.1

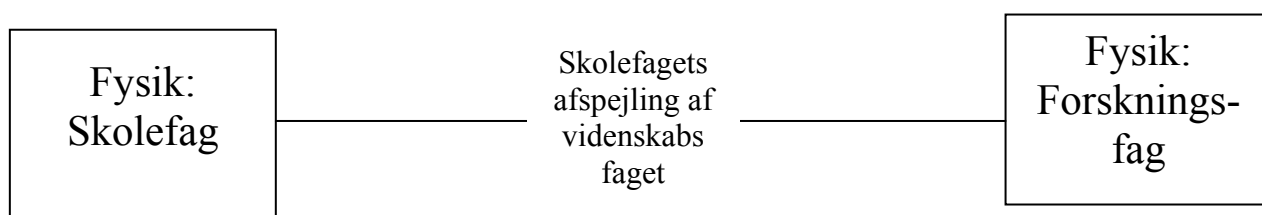
mellem dem udspringer først og fremmest af forholdet mellem på den ene side skolefag og på den anden side videnskabsfag. Da et skolefag er udsprunget af et (undertiden flere) videnskabsfag, hver især karakteriseret ved bestemte erkendelsestraditioner og samfundsmæssige institutioner, må didaktiske analyser af skolefaget nødvendigvis inddrage videnskabsfaget. Faren ved ikke i tilstrækkeligt omfang at gøre dette ligger ikke så meget i at skolefaget helt løsriver sig fra alle videnskabsfag – dertil er skolefagenes traditionelle (og, via gymnasielæreruddannelsen, også institutionelle) forankring i videnskaben alt for stærk. Der er snarere en fare for at en manglende forståelse af det komplicerede forhold mellem videnskabsfag og skolefag fører til en ureflekteret overførsel af videnskabsfagets praksis og indhold til skoleundervisningen. En sådan overførsel fører let til at det didaktiske spørgsmål kommer til at lyde: Hvordan formidler vi bedst videnskabsfagets begreber, teorier og metoder til eleverne? En nøjere analyse af videnskabsfagets grundlag og struktur kunne i stedet føre til spørgsmålet:

Hvordan realiseres videnskabsfagets grundlæggende erkendelsestradition i en bestemt skolesammenhæng – f.eks. i gymnasiet?

Det er ikke fordi spørgsmålet om formidlingen af fagets begreber, teorier og metoder er forkert eller irrelevant. Men det er sandsynligvis for snævert. Hvis begreber, teorier og metoder opfattes som midler der er udviklet i videnskabsfaget for at realisere erkendelsestraditionen, så opstår spørgsmålet om hvilke midler der vil være hensigtsmæssige med henblik på at formidle den samme *erkendel-*

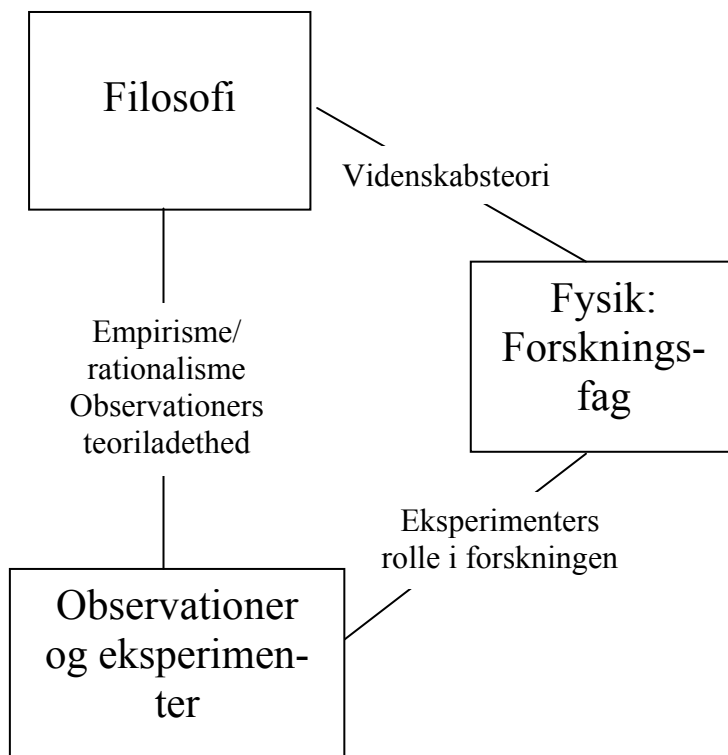
sestradition i undervisningen. Skal teorier og metoder tilpasses eller rekonstrueres, og i givet fald hvordan? Skal der skabes nye teorier og modeller, skal der udvikles nye metoder og nye former for praksis? Hvordan skal tekniske anvendelser og de til videnskabsfaget knyttede tekniske fag indgå i skolefaget? For at kunne besvare sådanne spørgsmål må vi have en nøjere forståelse af to problemfelter:

1. Videnskabsfagets erkendelsestradition og sammenhængen mellem denne tradition og fagets metoder og indhold.
2. Skolefagets betingelser – herunder forhold angående læring af fagets begreber og metoder



Figur 2.2

En forståelse af de væsentlige fagdidaktiske problemer i et fag som fysik kan altså ikke kun bygge på undersøgelser af den ene side af figur 2.2 – fysikken anskuet som skolefag og de med dette fag forbundne målsætninger og læringsproblemer. Vi er også nødt til at se nøjere på den anden side – fysikken som forskning. Først efter en sådan analyse vil vi have mulighed for ikke bare at konstatere *at* skolefaget afspejler forskningsfaget, men også mere præcist at forstå *hvordan*. Her gælder det om både at forstå hvordan det eksisterende fag faktisk afspejler og har afspejlet forskningsfaget, og på hvilke måder forskningsfaget har betydning for en videre udvikling af undervisningsfaget.



Videnskabsfaget fysik

Figur 2.3

2.4 Videnskabsfaget

Fysikken er som al naturvidenskab et empirisk fag, forstået på den måde at der er tale om et forsøg på at beskrive vores erfaringsverden – uden at vi dermed har taget stilling til sådanne ontologiske spørgsmål som i hvilket omfang vores erfaring svarer til en af os uafhængig ”virkelighed”.

Det betyder at observationer og eksperimenter kommer til at spille en ganske særlig rolle i såvel skolefaget som i forskningsfaget. Det vanskelige erkendelsesteoretiske spørgsmål er her hvilken sammenhæng der er mellem erfaringen og teorien. Er erfaringen grundlaget for det hele (empirisme), eller kan der være andre kilder til teorierne end erfaringen (rationalisme)? Eller er der et kompliceret vekselspil mellem fornuft og erfaring, mellem teori og observation? Denne problemstilling omfatter bl.a. også spørgsmålet om i hvilken grad observationer afhænger af teori – observationers teoriladethed.

Når vi skal undersøge fysikken som forskningstradition, må vi derfor, udover at betragte faget ud fra en generel filosofisk og videnskabsteoretisk synsvinkel, se på den særlige rolle eksperiment og observation spiller i fysikken. Desuden må vi undersøge de specifikke erkendelsesteoretiske problemstillinger der er knyttet til iagttagelse og eksperimenter. Det felt der skal kortlægges for at vi kan karakterisere fysikkens egenart som forskningsfag, kan således illustreres ved trekanten i figur 2.3.

2.5 Skolefaget

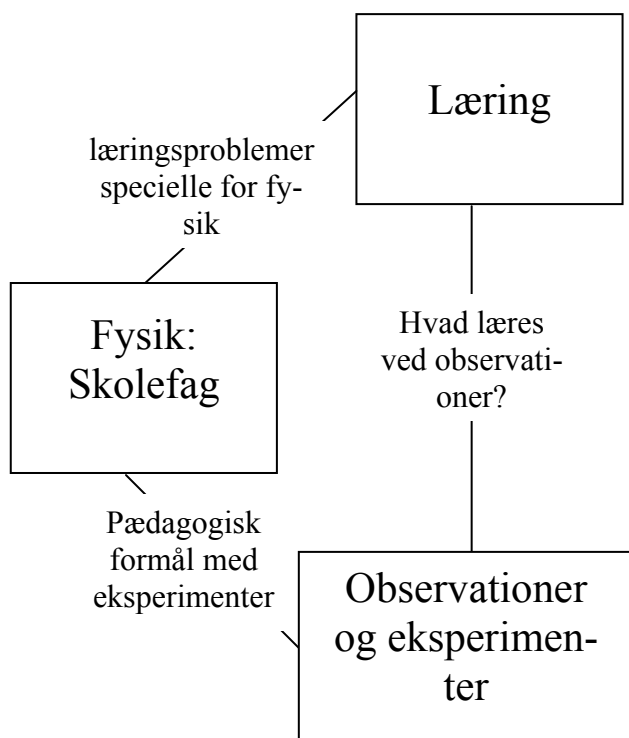
Fysikken som skolefag må på samme måde relateres til eksperimenter og observationer. Det generelle fagdidaktiske problem, som angår forholdet mellem fag og læring, bør suppleres med særlige overvejelser over den rolle observationer og eksperimenter spiller i faget. Forholdet mellem fag og

læring drejer sig om de særlige læringsproblemer der er forbundet med tilegnelsen af fysik, men også om den betydning fagets udformning kan have for overvindelsen af læringsproblemerne.

Af den betydning observationer og eksperimenter har i forståelsen af videnskabsfaget, følger vigtigheden af at få klarhed over sammenhængen mellem dette aspekt og læringsvanskelighederne. Og heraf følger igen nødvendigheden af grundigt at analysere de eksperimentelle aktiviteter didaktiske rolle.

Eksperimentets rolle og betydningen af observationer har to aspekter.

1. Det ene aspekt angår placeringen af eksperimentelle aktiviteter i det generelle billede af undervisningen: Hvilke forskellige pædagogiske formål kan disse aktiviteter have, hvilke færdigheder bidrager de til at opøve, hvordan bidrager de til for-



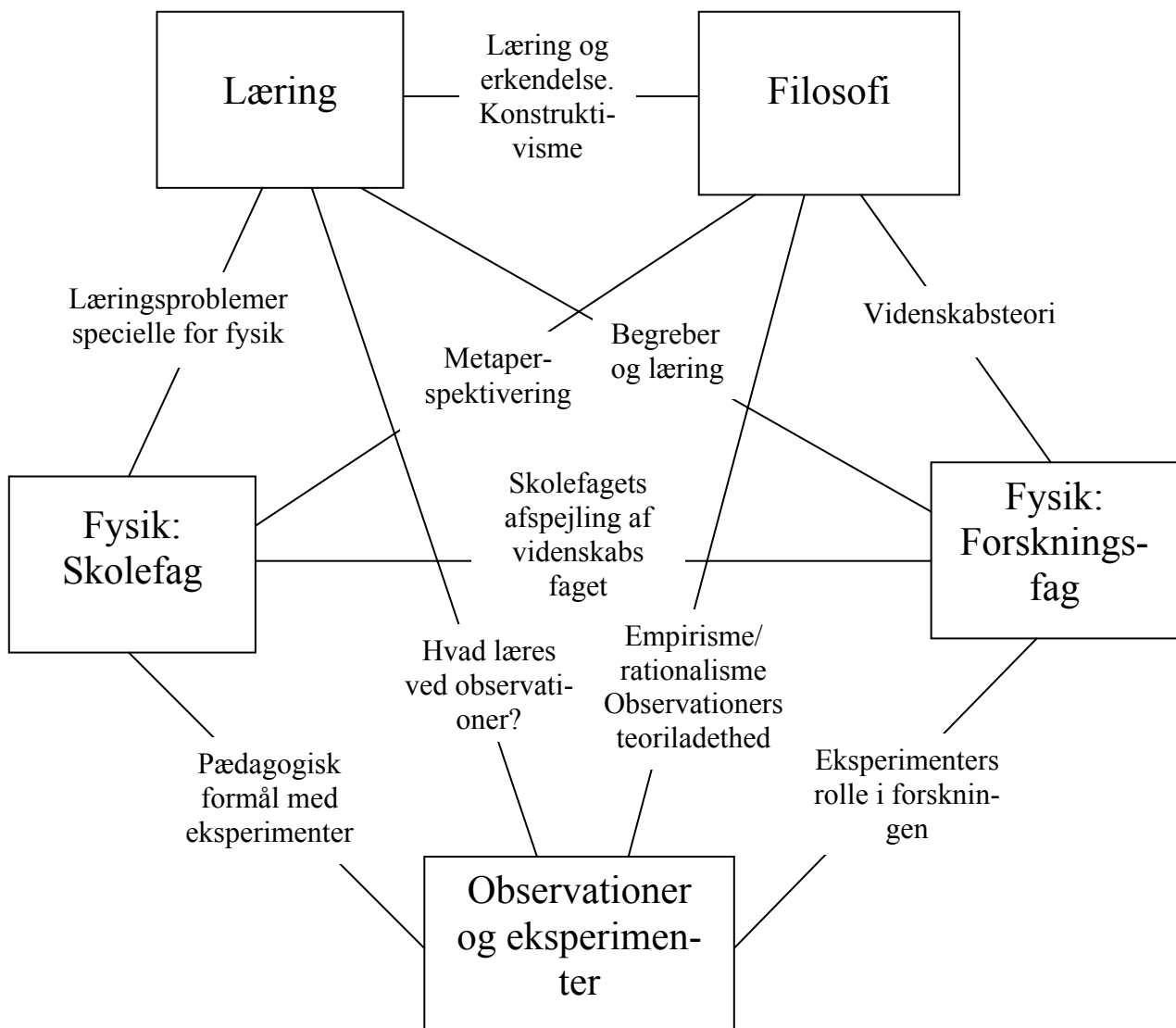
Figur 2.4

ståelsen af fagets teori. Vi ser nærmere på dette i kapitel 3 og 4.

2. Det andet aspekt angår den rolle vores sanseerfaring kan have for hvad vi lærer om vores omverden. Man kan spørge: Er naturen vores læremester? I hvilket omfang fører sammenligning af vores forventninger med det vi faktisk ser til mere og bedre viden?

En kortlægning af fysikken som skolefag, og specielt en kritisk diskussion af eksperimentelle aktiviteter i faget, kræver derfor en behandling af de relationer der er illustreret i figur 2.4. Disse spørgsmål vil vi se nærmere på i kapitel 5.

2.6 Relationen mellem skolefag og videnskabsfag



Figur 2.5

Som vi allerede har været inde på, er det imidlertid ikke muligt at forstå de didaktiske problemer i forbindelse med skolefaget uden at inddrage en omhyggelig analyse af videnskabsfagets natur. Vi kombinerer derfor figur 2.3 og figur 2.4 i en femkantet figur (figur 2.5 på forrige side) som kan illustrere forbindelserne mellem på den ene side skolefaget og de pædagogiske og fagdidaktiske problemer, og på den anden side videnskabsfaget og de filosofiske og videnskabsteoretiske problemer. Jeg vil kalde dette den videnskabsteoretisk-didaktiske femkant.

Der viser sig i denne femkant yderligere nogle forbindelser, som vi har været inde på i afsnit 2.3:

Hvordan afspejler skolefaget videnskabsfaget (forskningsfaget)? Altså hvilke træk i skolefaget stammer fra videnskabsfaget, og hvilken forståelse af videnskabsfaget præger (eller bør præge) skolefaget? Det vil vi vende tilbage til i kapitel 3 og 4.

En anden forbindelse der fremkommer, er forbindelsen mellem faget som skolefag og filosofi-en/videnskabsteorien. I hvilken grad og hvordan bør en videnskabsteoretisk forståelse indgå i skolefagets målsætning? Denne forbindelse kunne vi kalde metaperspektivering.

En afgørende problemstilling i diskussionen af skolefaget var hvilke læringsproblemer vi møder i forbindelse med fysikundervisningen som er specielle for faget fysik. Her kan vi vende os mod forskningsfaget og se om forskningsprocessen indenfor fysik kan kaste lys over dette spørgsmål. Hvad vi skal undersøge, er altså om der kan være lighedspunkter mellem de processer gennem hvilke begreber og teorier udvikles og anvendes i forskningen og de læringsprocesser elever skal gennemgå for at tilegne sig disse begreber og teorier, og om videnskabsteoretiske analyser derfor kan bidrage til en bedre forståelse af læringsproblemerne. Vi ser nøjere på dette i Kapitel 3.

Et spørgsmål der dukker frem i figur 2.5 angår læringsproblemets sammenhæng med det filosofiske spørgsmål om erkendelse. Selv om læring først og fremmest må betragtes som et psykologisk anliggende, mens erkendelsesteorien normalt beskæftiger sig med de grundlæggende betingelser for at vi kan have viden om verden, er grænsen mellem de to problemstillinger ikke helt let at drage. Det bør undersøges i hvilket omfang erkendelsesteoretiske betragtninger kan bidrage til læringsteori, og i hvilket omfang en manglende klar distinktion mellem problemstillingerne kan føre på vildspor. Dette ser vi på i kapitel 4.

2.7 Opsummering

Indledningsvis har jeg fremsat det synspunkt at en væsentlig del af et skolefag er at vise eller realisere videnskabsfagets erkendelsestradition. Skolefaget fysik skal altså (hvis det med rimelighed skal kaldes "fysik") gøre eleverne bekendt med fysikkens måde at se på og beskrive virkeligheden.

Et bud på hvordan dette kan ske forudsætter imidlertid en dybtgående forståelse af de komplicerede relationer der er mellem elementerne i videnskabsfaget fysik og i skolefaget. Disse relationer er sammenfattet i den videnskabsteoretisk-didaktiske femkant (figur 2.5)

Det er ikke på forhånd oplagt *hvad* undervisningen skal omfatte for at den kan opfylde dette mål. En pædagogisk præsentation af fysikkens teorier i forenklet udgave giver ikke nødvendigvis en forståelse af *erkendelsestraditionen*. Det er altså vigtigt omhyggeligt at gennemtænke hvilke teorier og aktiviteter der for eleverne kan tænkes at fremme dette formål. Derfor er det nødvendigt at gennemføre dels en analyse af fysikken og den erkendelsestradition den repræsenterer, og dels en analyse af hvordan forskellige former for undervisning hænger sammen med denne erkendelsestradition.

Skolefagets afspejling af videnskabsfaget har to aspekter: Det *indhold* (herunder teori) eleverne bliver præsenteret for, og de *metoder* til at opnå viden om naturen (herunder observationer og eksperimenter) de bliver undervist i.

Observationer og eksperimenter indtager en helt central plads i fysikken – og i naturvidenskaben overhovedet. Derfor må en undersøgelse af hvordan fysikundervisning bedst kan formidle en forståelse af fysikkens erkendelsestradition, omfatte en undersøgelse af hvilke særlige læringsproblemer forståelsen af den eksperimentelle situation kan indebære for eleverne. Herunder en undersøgelse af hvilken rolle elevernes egne eksperimenter kan have i fysikundervisningen.

En sådan undersøgelse omfatter bl.a. en analyse af samspillet mellem teori og eksperiment i undervisningen: Kan elev eksperimenter hjælpe elever til bedre at forstå fysikkens teori? Og omvendt: Hvilken betydning har elevernes teoretiske forståelse for deres mulighed for at udføre eksperimenter?

Disse spørgsmål er emnet for kapitlerne 3 og 5.

Undersøgelsen må også omfatte en diskussion af elevernes mulighed for, med udgangspunkt i eksperimentelt arbejde, selv at skabe (konstruere) viden. Som baggrund for bedre at kunne besvare dette spørgsmål, vil vi prøve at klargøre forskelle og ligheder mellem videnskabens frembringelse af viden (som kollektivt projekt) og den enkelte elevs udvikling af fysikforståelse. Det ser vi på i kapitel 4.

3 Fysikdidaktik og videnskabsteori

3.1 Kan fysikdidaktikken lære noget af videnskabsteorien?

Ligesom det videnskabelige samfunds erkendelsesproces sker inden for visse, mere eller mindre snævre rammer (naturens faktiske indretning, eksisterende teorier, osv.), foregår elevens konstruktion af viden også inden for bestemte rammer. Det *didaktiske* problem består bl.a. i hvordan disse rammer formidles af læreplaner og lærer. Lærerens vejledningsopgave består derfor ikke blot i at hjælpe eleven til at lære i forhold til en udefra given virkelighed. Den består i høj grad også i at *sætte* denne virkelighed. Og ”virkeligheden” består både af et teoretisk stof og den erfaringsverden der manifesterer sig gennem observationer og eksperimenter. Observationer og eksperimenter som enten kan være beskrevet for eleven eller foretaget af eleven selv.

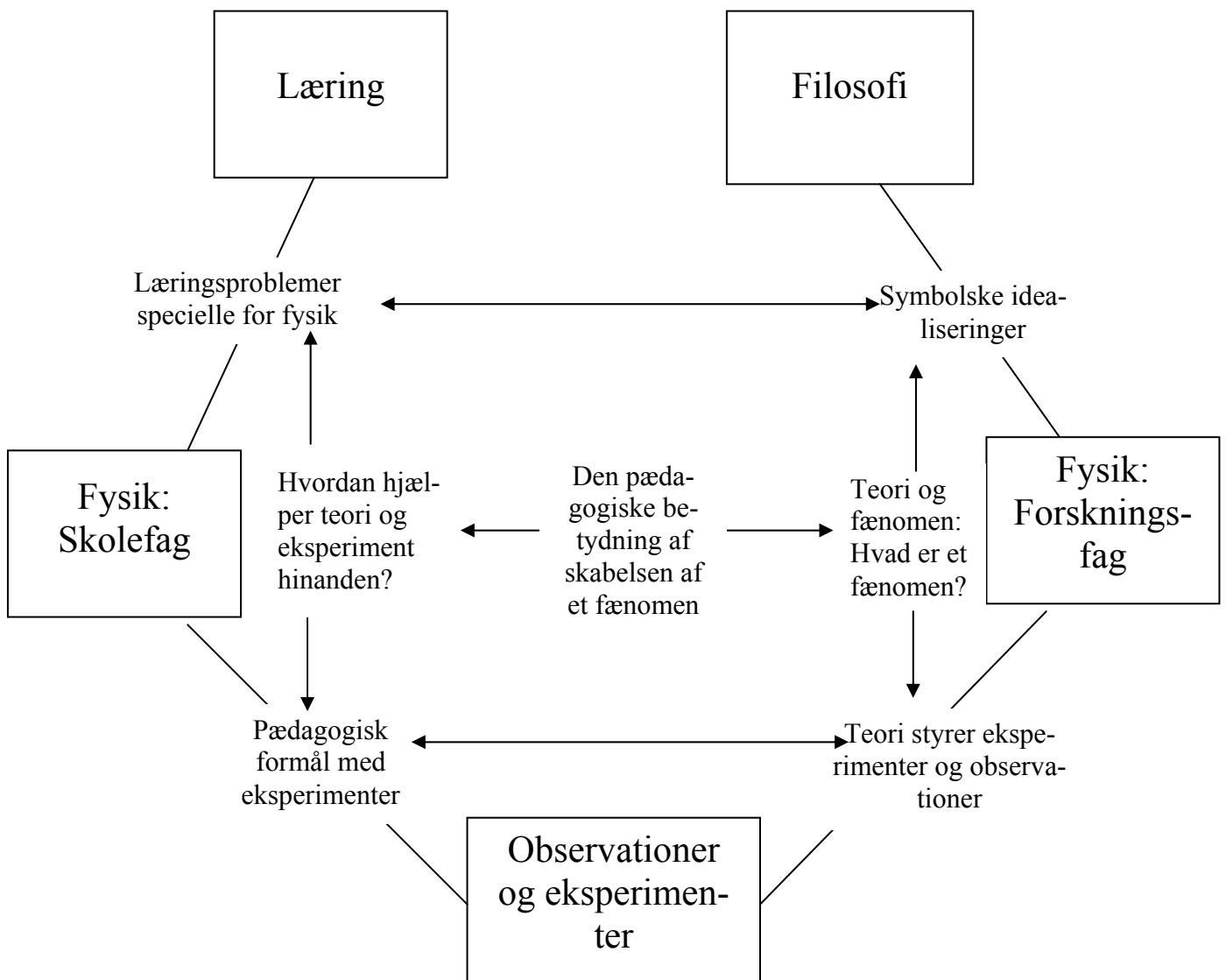
Den ”virkelighed” eleven skal sætte sig ind og udvikle sin begrebsforståelse i forhold til, må derfor udforskes nøjere. Dette er nødvendigt, dels for i didaktisk øjemed at kunne iscenesætte det teoretisk-eksperimentelle univers eleven skal indføres i, dels for bedre at kunne forstå betydningen af elevens egne observationer eksperimenter for hans eller hendes muligheder for at tilegne sig (konstruere de nødvendige begreber) inden for dette univers.

I denne udforskning må vi trække på videnskabsteoriens forståelse af de forskellige dele af naturvidenskaben, af sammenhængen mellem deres forskellige elementer, af eksperimentets betydning for videnskabens udvikling. Vi må kort sagt prøve at forstå fysikken som videnskabeligt projekt med henblik på de didaktiske problemer i fysikundervisningen.

3.2 Sammenhængen med eksperimenter og observationer

Vi vil altså nu se nøjere på hvordan de videnskabsteoretiske indsigter der angår forskningsfaget kan medvirke til forståelsen af læringsproblemerne der angår skolefaget, og den rolle eksperimenter og observationer spiller i denne sammenhæng.

De vigtige forbindelser er illustreret i figur 3.1. Det er grundlæggende den samme figur som figur 2.5 (den videnskabsteoretisk-didaktiske femkant), men denne gang er der i forbindelserne lagt vægt på paralleller og sammenhænge mellem den didaktiske side (til venstre) og den videnskabsteoretiske side (til højre). Det der karakteriserer fysikken som forskningsfag, er at det konstruerer idealiserede, altså stærkt simplificerede repræsentationer af dele af virkeligheden, og derefter skaber matematisk-symbolske beskrivelser (modeller) af dem. Disse symbolske idealiseringer er bestemmende for de eksperimenter der planlægges og udføres, ligesom observationer i almindelighed fortolkes i overensstemmelse med de teoretiske modeller. Man kan sige at teori, eksperiment og observation tilsammen skaber et fænomen.



Figur 3.1

Netop disse symbolske generalisationer, der er et centralt træk ved fysikken, og som på den ene side ligger meget langt fra den umiddelbare erfaring, på den anden side henter hele deres berettigelse i forbindelse med erfaringen, repræsenterer kernen i det der gør fysik til et svært fag at tilegne sig for de fleste. Vanskeligheden ligger ikke blot i det abstrakte symbolsprog og den matematiske struktur, men som figur 3.1 illustrerer i den subtile forbindelse med erfaringen – altså observationer og eksperimenter.

Både i forskningen og i forbindelse med læring er pointen at de fænomener forskere/elever skal tage stilling til og mentalt arbejde med, skabes i et vekselspil mellem teori og iagttagelse. At beskæftige

sig med fysik indebærer nye måder at se på og i takt med at nye teoretiske modeller læres opstår nye fænomener at betragte og analysere.

3.3 Fysikkens særegenhed set fra en pædagogisk synsvinkel

I det følgende vil vi se lidt nøjere på fysikken som videnskab. Vi vil gennemgå forholdet mellem teori og virkelighed i et videnskabsteoretisk lys, og derefter se på den didaktiske betydning af de videnskabsteoretiske indsigter.

Vi kan formulere det specielle læringsproblem i forbindelse med fysiklæring, altså de problemer der i særlig høj grad forekommer når det er fysik der skal læres, på følgende måde: At lære fysik indebærer at man forbinder en abstrakt verden med en fænomenverden. Men selv om denne formulering uden tvivl sætter fingeren på det væsentlige, er den alligevel alt for overfladisk og upræcis. For hvad betyder egentlig ”abstrakt”? Hvad er et ”fænomen”? Og gælder det egentlig ikke inden for ethvert fag at ”virkeligheden” eller ”fænomenerne” sættes på begreb, altså beskrives ved hjælp af abstraktioner?

3.4 Fysikken som historisk tradition

Vi må trænge dybere ned i den sammenhæng mellem fænomener og teoretisk beskrivelse der læringsproblemets omdrejningspunkt, hvis vi vil forstå det bedre. Fysikken er baseret på en videnskabelig tradition der går tilbage til oldtiden, og som på en måde der er særegen, også i sammenligning med andre naturvidenskaber, benytter matematisk tænkning. Man kan identificere to naturvidenskabelige traditioner, med Olaf Pedersen (Pedersen 1996) faktisk tre, der alle har deres udspring i den græske oldtid. Den ene, som man sædvanligvis betegner som den platoniske tradition, har sin oprindelse i pythagoræernes talmystik og Platons idelære. Vægten i forhold til naturerkendelsen ligger i denne tradition på det vi kan indse med vores fornuft - det vi kan slutte os til ad logisk vej. For Platon går det vi kan bevise matematisk, forud for sanseerfaringen. Den anden, den aristoteliske tradition, lægger større vægt på vores erfaring, og søger at formulere kausale *forklaringer* på naturfænomenerne. Til disse to traditioner føjer Olaf Pedersen en tredje, den archimediske tradition. Archimedes' arbejde er udpræget matematisk, men går ligesom Aristoteles ud fra erfaringen. Karakteristisk for Archimedes er det at han giver afkald på ethvert forsøg på at opstille årsagsforklaringer – han formulerer simpelt hen sammenhænge mellem kvantitative størrelser.

Pointen er nu at alle disse tre traditioner er synlige i den ”moderne” fysik (dvs. fysikken fra renæssancen til i dag). I fysikken er matematikken og de abstrakte begreber ikke blot redskaber. Fra den platoniske tradition har den moderne naturvidenskab overtaget tanken om at naturen lader sig beskrive ved simple matematiske principper. Ordet ”simpel” betyder her ikke ”letfattelig”, men refererer til den ide at man ud fra nogle få matematiske formulerede grundsætninger (”love”) rent logisk kan udlede naturens egenskaber. Som vi senere skal komme ind på, kan man hævde at det der definerer netop fysikken i forhold til de andre naturvidenskaber, er at fysikken i særlig grad bygger på den platoniske tradition. Det skal ikke forstås sådan at fysikere i vore dage – eller for den sags skyld på Galileis tid – har ment at man, idet man bevæger sig i en rent platonisk ideverden, alene ved matematiske følgeslutninger kan nå frem til sandheder om universet. Men på to afgørende måder lever den platoniske tanke videre i fysikken: Nemlig dels i idealet om at beskrive verden ved hjælp af få

simple (matematiske) principper. Dette ideal består stadig, uanset om den enkelte fysiker deler den opfattelse hvoraf det oprindelig er afledt, nemlig at verden i virkeligheden grundlæggende er simpel, og at det derfor gælder om at finde frem til denne simple kerne. Og dels i fysikkens måde at opbygge teorier som omfattende sammenhængende matematiske strukturer. Der går en lige linje fra Euklids "Elementer", hvis aksiomatiske geometri, selv om den i dag ses som et rent matematisk system, i to tusind år også er blevet opfattet som en sand beskrivelse af det fysiske rums struktur, over Ptolemaios' "Almagest" og Kopernikus' "Revolutionibus" til Newtons "Principia". Alle disse værker er opbygget som aksiomatiske matematiske systemer, hvori man kan bevæge sig rundt, bevise påstande, finde teoretiske sammenhænge osv., uden nødvendigvis hele tiden at skulle gøre brug af iagttagelser og empiriske undersøgelser. Forbindelsen til erfaringen ligger i disse systemer udelukkende i de indledende simple grundsætninger hvoraf resten udledes. Grundsætningernes gyldighed – at de virkelig repræsenterer et sandt grundlag for naturbeskrivelsen – sikres af de udledte konsekvensers overensstemmelse med erfaringen.

Det skal understreges at dette ikke betyder at disse og andre teorier er *fremkommet* på den netop beskrevne måde: ved først at formulere et grundlag og derefter at udlede konsekvenserne. Det vigtige er at teorierne, ofte som en slags *efferrationalisering*, i overensstemmelse med det platoniske ideal *frelægges* på denne måde.

Fra den aristoteliske tradition har fysikken først og fremmest overtaget ideen om at en naturlov skal angive *årsager* til fænomenerne. Konfrontationen mellem denne tradition, der mener at det er vigtigt at *forklare* hvad vi ser i naturen, og den archimediske tradition der lægger vægten på at opstille sammenhænge uden at søge at besvare dybere spørgsmål om årsager, ser vi hele vejen gennem fysikkens historie.

Fra oldtiden og op til middelalderen eksisterede flere beskrivelser af solsystemet ved siden af hinanden. Aristoteles' beskrivelse byggede på Eudoxos' (ca.400 – 350 f.kr.) kugleskalsmodel, ifølge hvilken himmellegemerne sad fast på koncentriske kugler, hver roterende om en akse der var fæstnet til en anden kugle. Dette system blev opfattet som det vi i dag kunne betegne som en teori med et "fysisk" indhold, dvs. man mente at det gav en forklaring på himmellegemernes bevægelser. Ptolemaios' system derimod, som byggede på et system af epicykler, dvs. cirkler hvis centre bevægede sig på andre cirkler, måtte opfattes som et rent matematisk regneskema der muliggjorde forudsigelser af solens, månens og planeternes bevægelser på himlen. En af de afgørende årsager til at Kopernikus udarbejdede sin nye teori for solsystemet, var netop den indbyrdes modstrid der var mellem de eksisterende beskrivelser. Ptolemaios' system blev brugt ved astronomiske beregninger, samtidig med at man anså Aristoteles' fysik og astronomi (som ikke kunne bruges til tilfredsstillende astronomiske beregninger) for at være den korrekte beskrivelse af universet. (For en beskrivelse af denne udvikling se f.eks. Teichmann, 1988, Toulmin & Goodfield, 1964 og Cohen, 1962).

Kopernikus betragtede næppe sin teori som blot et sæt af regneregler beregnet til astronomiske forudsigelser. Han gjorde f.eks. en del ud af at tilbagevise de "fysiske" argumenter der kunne fremføres mod Jordens bevægelse. Men han beskæftigede sig ikke med årsagerne til planeternes bevægelser. Kepler derimod fandt frem til sin berømte areallov ud fra en (ganske vist delvis fejlagtig) antagelse om de kræfter der var årsag til planetbevægelserne. Samtidig søgte han bestandig, på ægte platonisk vis og med inspiration fra pythagoræiske talspekulationer, efter æstetisk tiltalende matematiske sammenhænge i solsystemet. Men han gjorde dette med en fuldstændig respekt for de empiriske data og accepterede ikke en matematisk smuk model der afveg fra observationerne, også selv om afvigelsen var ganske lille. Kepler forenede således alle de nævnte traditioner i sit arbejde.

Galilei udarbejdede i Archimedes' ånd en matematisk beskrivelse af frit fald og kast uden at gå ind på årsagerne til bevægelserne, mens Newton skabte en dynamik, altså en teori for sammenhængen

mellem kraft og bevægelse. Men også han var i stand til at sætte sig ud over årsagsspørgsmål når det var nødvendigt. Hans berømte udtalelse *hypotheses non fingo* ("jeg fremsætter ingen hypoteser") (Newton, 1934, p.547) angår spørgsmålet om årsagen eller oprindelsen til gravitationskraften, som Newton ikke føler sig forpligtet til at besvare: Han har, siger han, blot udarbejdet et matematisk system til beregning af planetbevægelser og andre naturfænomener.

3.5 Teori og virkelighed

Det afgørende i disse eksempler fra fysikhistorien kan sammenfattende siges at være det komplicerede forhold mellem virkelighed og teori. Vi ser altså på forbindelsen mellem den øverste og den nederste del af figur 3.1. Fysikken er som nævnt baseret på en tradition for at opbygge omfattende og, i forhold til erfaringen, nærmest autonome matematiske systemer. Dette giver meget stor frihed til at skabe abstrakte begreber, ofte alene baseret på andre abstrakte begreber. Undertiden skabes begreberne for at løse rent teoriinterne problemer, snarere end empiriske. Som eksempel kan tjene feltbegrebet inden for elektromagnetismen. Feltbegrebet opstår på baggrund af en ny måde at formulere lovene for elektricitet og magnetisme, en formulering der fører til imponerende resultater, bl.a. erkendelsen af at lys må være et elektromagnetisk fænomen. Men derefter følger årtiers diskussion om hvilken virkelighedsstatus dette felt har. Repræsenterer det en virkelig substans eller er det kun en matematisk hjælpe størrelse?

Med friheden til at opbygge nye begreber inden for abstrakte matematiske strukturer opstår altså et problem der bliver mere udpræget i fysik end indenfor andre vidensområder, nemlig hvordan de abstrakte begreber skal forbindes med virkeligheden eller erfaringen.

Vi står overfor følgende tre problemer:

1. Hvordan hænger de fysiske begreber sammen med de iagttagelser/målinger vi foretager?
2. Hvordan hænger de fysiske begreber sammen med vores mere eller mindre intuitive forståelse af fænomenerne, vores "hverdagserfaringer"?
3. Hvordan hænger fysikkens love og teorier sammen med virkeligheden? Skal de blot forstås som regneskemaer til forudberegning af iagttagelser – eller skal de forstås som beskrivelser af reelle mekanismer der virker i naturen?

3.5.1 Begreb og observation

Det tredje spørgsmål, som er spørgsmålet om et instrumentalistisk syn på fysikkens teorier overfor et realistisk syn, skal vi vende tilbage til. Uanset hvordan man stiller sig til dette spørgsmål, er det første spørgsmål om sammenhængen mellem begreber og målinger vigtigt. En vis del af enhver fysisk teori må nødvendigvis beskæftige sig med dette spørgsmål, altså angive konkrete procedurer for hvordan målte størrelser skal bruges i teorien. Men disse procedurer vil sjældent være formuleret eksplicit, og for at forstå sammenhængen mellem måleprocedurer og den måde hvorpå de målte størrelser anvendes i de matematiske formuleringer af teoriens lovmæssigheder og sammenhænge, må man i reglen have et ret dybtgående kendskab til den pågældende teoretiske struktur. Ofte må man endda kende til mere omfattende teorier for at forstå hvordan bestemte måleprocedurer kan bruges i en mere begrænset teori. Og den teori der kræves for at forstå måleprocedurerne kan være en ganske anden end den der ligger til grund for den måde hvorpå begreberne (ofte implicit) er defineret.

Vi kan som eksempel se på teorien for elektriske kredsløb hvor Ohms lov er det centrale omdrejningspunkt. Tre størrelser indgår i Ohms lov: Strømstyrke, spænding og resistans. Resistansen kan defineres ved hjælp af Ohms lov, altså ved hjælp af selve den teori hvori denne fysiske størrelse indgår – og under alle omstændigheder findes den indirekte ud fra værdier for strøm og spænding. Disse størrelser kan teoretisk defineres ud fra begreber som elektrisk ladning og energi. Men for at forstå hvordan de to størrelser kan måles, må man inddrage andre og mere omfattende teorier, f.eks. om sammenhængen mellem elektrisk strøm og magnetisme. Da et sådant teoretisk overblik ikke er til stede i den indledende fysikundervisning, må måleinstrumenterne forvandles til ”black boxes”, hvilket imidlertid er medvirkende til at også den ”virkelighed” hvormed teorien skal forbindes, bliver et abstrakt univers som det er meget vanskeligt at danne sig mentale billeder af. Dette kan være en af grundene til de meget store vanskeligheder som et stort antal undersøgelser (se f.eks. Niedderer, 1995) har vist at elever på næsten alle niveauer i fysikundervisningen har med forstå og arbejde korrekt med elektriske kredsløb.

3.5.2 Fysikken og vores hverdagserfaring

Selv om fysikkens begreber ofte skabes på et helt abstrakt grundlag og ingen forbindelse har med vores umiddelbare erfaring (som det er tilfældet med begrebet ”elektrisk spænding”), er det vigtigt at være opmærksom på at vores hverdagsforståelse af fænomenerne spiller en betydelig rolle, både for udviklingen af mange fysikbegreber og for forståelsen af begreberne hos dem der forsøger at lære fysik. Et begreb som ”masse” er ganske vist uhyre abstrakt og kan i den klassiske fysik kun defineres med reference til enten gravitationsloven eller Newtons 2. lov, altså selve omdrejningspunkterne i Newtons teori. Men begrebet knytter sig samtidig til intuitive forestillinger om ”stof” og ”substans”. Newtons temmelig intetsigende definition I Principia er

”The quantity of matter is the measure of the same, arising from its density and bulk [rumfang] conjointly”

Og han skriver videre

”It is this quantity that I mean hereafter everywhere under the name of body or mass”

(I. Newton (Newton 1934 p.1))

Intuitioner i forbindelse med massebegrebet der ligner Newtons findes hos de fleste mennesker. Men samtidig med at disse intuitioner, også for Newton, ligger til grund for begrebet, skal man for kunne bruge det korrekt i en vis forstand kunne hæve sig over intuitionen, så man til trods for den vage eller manglende definition anvender begrebet konsekvent og stringent.

Mange andre begreber i den matematiske fysik kan tilsvarende ses som kvantificeringer af forhold eller virkninger i forbindelse med erfaringen. Vi kan her tænke på begreber som impuls (impetus), kraft, varme (caloric) og det generelle energibegreb. Den meget langvarige proces som har været nødvendig for udviklingen og præciseringen af hver af disse begreber så de har kunnet indgå i fysikkens teoretiske systemer, vidner om hvor vigtigt (og vanskeligt) det har været at forankre teoriens præcise kvantitative begreber i før-teoretiske beskrivelser.

Generelt kan man sige at det ikke er muligt fuldstændig at ignorere den forestilling der bliver kvantificeret som et fysisk begreb, for det ville betyde at man helt eller delvist måtte give afkald på den

vigtige ressource som udgøres af de erfaringer der kommer til udtryk i denne forestilling. Man kan altså ikke alene betragte begreberne som størrelser i et matematisk system med klare regler for deres anvendelse. På den anden side er man ofte nødt til midlertidigt at kunne suspendere sine intuitive forestillinger – og dermed til dels erfaringen – for at kunne bruge det teoretiske system med fuld styrke.

Elevers hverdagsforestillinger, som i mange år har udgjort et centralt forskningsobjekt inden for fysikdidaktikken under betegnelser som *misconceptions* eller *alternative conceptions* (se f.eks. Duit, 1991), kan ses i dette lys. (Vi vender tilbage til disse begreber i afsnit 6.4). De bør hverken betragtes som misforståelser eller som gyldige, men ”alternative” forestillinger. Når det er vigtigt for lærere at kende disse forestillinger, er det ikke bare fordi det er nødvendigt at kende elevernes forudsætninger for at kunne undervise dem i fysikkens begreber. I disse forestillinger ligger gemt en erfaring som i stor udstrækning er den erfaring fysikken søger at beskrive. Den proces mentalt at udvikle fysikbegreberne samtidig med at de før-fysiske ideer fastholdes og sættes i forbindelse med de nye begreber kan måske have fælles træk med den proces gennem hvilken begreberne oprindeligt blev udviklet, og det er værd at overveje om ikke de historiske vanskeligheder i forbindelse med begrebsudviklingen kan kaste lys over elevers vanskeligheder med udvikle en klar forståelse af fysikkens begreber og de overensstemmelser og forskelle der er mellem dem og hverdagsbegreberne.

3.5.3 To nødvendige synsvinkler: Instrumentalisme og realisme

Det tredje spørgsmål om teoriernes instrumentalistiske funktion og deres realistiske indhold skal ikke her diskuteres som et erkendelsesfilosofisk spørgsmål om instrumentalisme kontra realisme (dette spørgsmål vil blive nærmere diskuteret i afsnit 4.4). Pointen er at selve eksistensen af det filosofiske spørgsmål afspejler to væsentlige elementer i fysiktraditionen. Den der sætter sig ind i denne tradition er nødt til på den ene side at kunne anskue det teoretiske system instrumentalistisk, dvs. uden at insistere på at ville ”forstå” begreberne og relationerne mellem dem i forhold til virkeligheden. På den anden side skal man for at kunne lære at analysere virkelige fænomener kunne sætte teorien i forhold til intuitive begreber der afspejler den daglige erfaring, begreber som f.eks. årsag og virkning, kraftpåvirkning, varme og kulde.

3.6 Hvad er et fænomen?

Vi vil nu nøjere komme ind på forholdet mellem fysikkens teori og fænomenerne (det hovedspørgsmål der søges illustreret med figur 3.1. Her må vi først spørge: Hvad er et fænomen? Vi vil ikke her diskutere det filosofiske spørgsmål om forholdet mellem fænomen og virkelighed (Kants *Ding an sich*). Vi vil derimod spørge: Hvad er et *fysisk* fænomen? Et naturfænomen er ikke nødvendigvis i sig selv et fysisk fænomen, altså et fænomen der kan gøres til genstand for en teoretisk beskrivelse i overensstemmelse med fysiske principper. Fysikkens fænomener skal først frembringes af fysikeren. Et naturfænomen skal betragtes ud fra en særlig fysikteoretisk synsvinkel eller frembringes i en særlig eksperimentel opstilling for at kunne kaldes et fysisk fænomen. Videnskabs-teoretikeren Feyerabend (1981) udtrykker denne pointe i tilspidset form, idet han siger at fænomener er udvalgte og idealiserede eksperimenter hvis egenskaber punkt for punkt svarer til den teori der skal bevises.

Et eksempel kan være de Brownske bevægelser der betragtes i et mikroskop. Ikke bare kræves der et kompliceret apparatur og en omhyggelig forberedelse for at kunne observere fænomenet. *Hvori* fænomenet overhovedet består, afhænger af de teoretiske briller iagttageren har på. Når fysiklæreren skal forklare sine elever hvad det egentlig er de ser (og en forklaring er absolut nødvendig), må

han hos dem skabe den teoretiske forestilling som fænomenet formodes at illustrere, nemlig at luften består af usynlige molekyler i stadig bevægelse som bombarderer de små partikler man ser. Kun hvis eleverne kan danne et sådant mentalt billede af situationen (hvilket meget ofte ikke er tilfældet), kan man sige at de ”ser” det samme fænomen som læreren.

Et andet eksempel er brugen af et optisk gitter. Hvad er det vi ”ser”, når lys passerer gennem et gitter? Vore iagttagelser giver kun mening på baggrund af en omfattende teoretisk forestillingsverden angående lysets natur som et bølgefænomen, en delvis matematisk forståelse af begrebet ”bølge” og viden om vekselvirkningen mellem gitter og lysbølge. Først med denne omfattende teoretiske bagage står vi overfor et fysisk fænomen vi kan stille spørgsmål til og undersøge eksperimentelt og teoretisk. Det er vigtigt at bemærke at selv om sådanne eksperimentelle opstillinger repræsenterer ”bevist” for at lys kan beskrives som et bølgefænomen, så er der intet ved fænomenet som det umiddelbart fremtræder, der leder tanken hen på bølger. Opstillingen med gitter og lampe *viser* ikke at lys er et bølgefænomen – men bølgefænomenet skabes af denne specielle opstilling i samspil med en bestemt teoretisk model.

3.6.1 Fænomen og eksperiment

Nu går vi et skridt videre i diskussionen af forholdet mellem teori og fænomen, idet vi ser på det fysiske eksperiment. Menneskers aktivitet i forhold til et fysisk fænomen begrænser sig ikke til rent kognitivt at bringe teori i anvendelse i forhold til iagttagelser. Vi skaber selv det vi iagttager ved at stille spørgsmål til naturen, og på baggrund af sådanne spørgsmål at anstille eksperimenter. Det er derfor ikke bare den måde vi opfatter fænomenerne på der er baseret på teori. En eksperimentel situation skabes ved at der formuleres et eller flere problemer i forbindelse med fænomenerne, og problemer kan kun formuleres på baggrund af en teori. I det ovennævnte eksempel med det optiske gitter kan man formulere helt almene spørgsmål, f.eks. ”hvorforser mønstret af lysprikker på skærmen ud som det gør?” Men som vi har set, er dette ikke et spørgsmål der kan besvares eksperimentelt. Forudsætningen for at svare på det spørgsmål er at man udtænker en bølgemodel for lys. Og det eneste vi derefter kan sige, er at hvis vi *forudsætter* denne model, så giver iagttagelserne mening.

Et eksperimentelt spørgsmål – altså et spørgsmål der kan besvares eller belyses ved hjælp af målinger og observationer i forbindelse med særligt tilrettelagte forsøgsopstillinger – forudsætter et grundlag på baggrund af hvilket spørgsmålet giver mening. Spørgsmål som ”hvad er bølgelængden for lyset fra en bestemt lyskilde (f.eks. en laser)?” eller ”hvordan afhænger lysets bølgelængde af det medium som lyset bevæger sig igennem?” giver mening hvis (og kun hvis) man har en teoretisk forestilling om lys som et bølgefænomen. Men for at sådanne spørgsmål virkelig skal kunne kaldes eksperimentelle spørgsmål, er det også nødvendigt at man har en forestilling om at det er muligt på en eller anden måde at måle bølgelængden for lys. Man kan sagtens have et teoretisk billede som giver anledning til spørgsmål der giver udmærket mening indenfor dette billede, samtidig med at billedet ikke giver mulighed for at gøre disse spørgsmål til *eksperimentelle* spørgsmål. Tænker man sig f.eks. at man forestiller sig en planetmodel for et atom, kan man stille forskellige spørgsmål i sammenhæng med en sådan model: Hvor langt væk er elektronerne fra kernen, hvor hurtigt bevæger elektronerne sig i deres baner, osv. Disse spørgsmål giver udmærket mening i forhold til modellen. Men der er ikke tale om eksperimentelle spørgsmål, fordi vi ikke kan angive metoder til at afgøre dem. Og det er ikke bare fordi vi mangler fantasi eller tilstrækkeligt avanceret måleudstyr. Modellen mangler simpelt hen, såvel eksplicit implicit, anvisninger på hvordan disse størrelser kan forbindes med noget observerbart. Så selv om spørgsmålene, alt efter hvor udbygget modellen er,

måske kan besvares *teoretisk* (dvs. størrelserne kan tillægges værdier der bevarer modellens indre konsistens), kan de ikke optræde som *eksperimentelle* spørgsmål.

Spørgsmålet om bølgelængden for lys bliver først et eksperimentelt spørgsmål når vi foruden bølgemodellen f.eks. har en teori for vekselvirkningen mellem lys og et gitter. Har vi først accepteret dette teoretiske grundlag bliver en bestemt procedure en standard metode til at bestemme bølgelængder, vi kan derefter gå videre og bestemme bølgelængder for lys fra forskellige lyskilder, for lys i forskellige medier, osv. Hver eneste måling er så at sige en artikulering af det teoretiske grundlag, og målingerne giver kun mening i forbindelse med dette grundlag. Det er hverken observationerne eller målingerne der ligger til grund for den teoretiske model. Tværtimod fortolkes alt hvad der observeres eller måles i forhold til model.

Hvis vi i stedet for at måle bølgelængder ved hjælp af gitter vælger at bruge et prisme, må vi bruge vi en teori for lysbrydning (og dermed en teori for bølgelængdens afhængighed af medium) i stedet for teorien for gitter. Men dermed ændrer vi den eksperimentelle status af de forskellige variable. Vi kan betragte tre variable: Bølgelængden, gitterkonstanten og mediet (brydningsindeks). Vi kan så enten vælge at måle bølgelængder ved hjælp af gitter. Så bliver bølgelængdens afhængighed af mediet et eksperimentelt problem, mens bølgelængdens afhængighed af gitterkonstanten er en teoretisk forudsætning. Eller vi kan vælge at måle bølgelængde ved hjælp af et prisme. Så bliver bølgelængdens afhængighed af gitterkonstanten et muligt eksperimentelt problem, mens bølgelængdens afhængighed af mediet (eller brydningsloven) bliver det teoretiske grundlag.

3.7 Teori, eksperiment og læring

Eksemplet med lysbølger viser hvor intimt teori og fænomen er sammenvævet i en eksperimentel situation. Dette forhold kan være med til at kaste lys over didaktiske problemer, både i forbindelse med elevens tilegnelse af fysikkens begreber og i forbindelse med betydningen af eksperimentelle aktiviteter i undervisningen. Vi kan beskrive læringsituationen som resultatet af et samspil mellem tre komponenter:

1. Den idealiserede fysiske model af et fænomen.
2. De eksperimentelle problemer der kan opstilles i forbindelse med fænomenet.
3. Elevens forståelse af fænomenet og det eksperimentelle problem.

Den idealiserede model (f.eks. lys beskrevet matematisk som bølge, den frit faldende punktmasse i et homogent kraftfelt eller det matematiske pendul, altså en punktmasse ophængt i en masseløs snor) repræsenterer altid kun én mulighed for idealisering. Idealiseringen indebærer et valg: Nemlig en udvælgelse af de dele af fænomenet man betragter som relevante, og som man derfor vil satse på. Kuhn (Kuhn 1970), peger på hvordan fænomenet "et pendul" blev betragtet helt forskelligt af Galilei og hans forgængere. I virkeligheden er det først Galilei der ser fænomenet "pendul" sådan som vi nu opfatter det, nemlig som et legeme der gentager den samme bevægelse igen og igen. Det betød at perioden i bevægelsen blev en vigtig variabel, mens den aftagende amplitude blev uinteressant og skulle abstraheres bort som en forstyrrelse af den ideelle bevægelse. For Aristoteles derimod var det afgørende i fænomenet legemets bevægelse mod Jordens centrum – en bevægelse som på grund af forskellige forhindringer og påvirkninger bliver kompliceret og langvarig. For ham var de afgørende træk derfor netop dem som Galilei fjernede i *sin* idealisering.

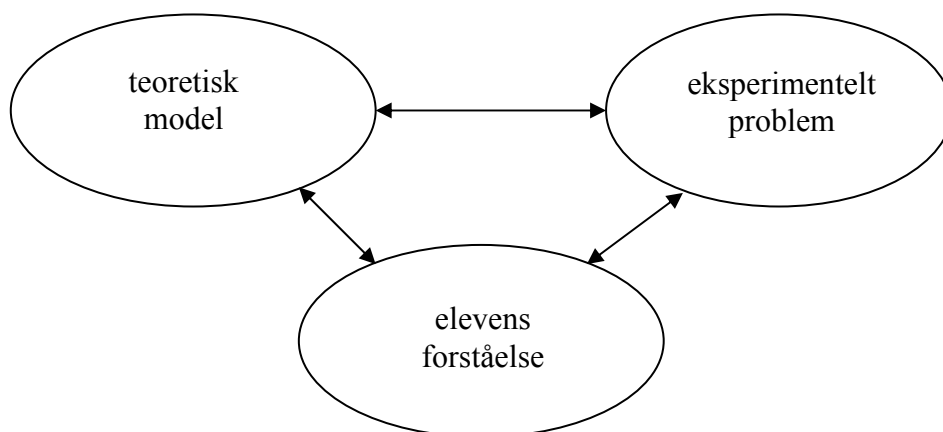
Hvad de eksperimentelle problemer angår, er de naturligvis mange forskellige muligheder i forhold til en bestemt ideal model. De mulige problemer er blot begrænset af modellens struktur. Det bety-

der også at hvis man vælger en anden model, bliver de eksperimentelle problemer der kan formuleres også nogle andre.

Elevernes forståelse af fænomenet bestemmes, som vi har set, bl.a. af den idealiserede model der bruges til at gøre fænomenet til et fysisk fænomen. Men der er selvfølgelig ikke nogen garanti for at eleverne ikke tænker på andre "modeller" eller har andre mentale billeder i forhold til fænomenet, end dem der er i overensstemmelse med den model der undervises i, eller fra lærerens side forventes bragt i anvendelse. Det normale vil tværtimod være at sammenstykke lidt hverdagsforståelse med lidt af de kun delvist forståede teoretiske modeller eleverne er blevet præsenteret for i undervisningen, til nogle mentale billeder som danner *deres* teoretiske forudsætninger for at skabe et fænomen i den foreliggende situation, og for at stille eksperimentelle spørgsmål i forhold til den.

3.8 Den didaktiske situation

De tre faktorer – en teoretisk model, det eksperimentelle problem og elevernes forståelse – er altså intimt forbundne (figur 3.2):



Figur 3.2

Den teoretiske model er bestemmende for arten af det eksperimentelle problem. Omvendt vil en indgang til fænomenet der fokuserer på bestemte spørgsmål, være styrende for hvilken ideal model der skal udarbejdes for at disse spørgsmål kan gøres til reelle eksperimentelle spørgsmål, altså spørgsmål der kan besvares ved observation og måling.

Den teoretiske model har også afgørende betydning i forhold til elevernes forestillinger – hvad enten de har en fuld eller en meget mangelfuld forståelse af den – fordi det er denne model der udgør den teoretiske kerne i fænomenet, sådan som det *præsenteres* for eleven, og fordi modellen udgør den standard som elevens forståelse holdes op mod. Hvis vi skal beskrive elevernes opfattelse af fænomenet, kan vi ikke blot referere deres (skriftlige eller mundtlige) udsagn. For at beskrivelsen af elevernes opfattelser skal være brugbar, må vi kunne stille en række spørgsmål til den af didaktisk

relevans: Opfattelsernes hensigtsmæssighed, hvor og hvordan de adskiller sig fra en forståelse baseret på de modeller der indgår i undervisningen, hvilke supplerende erfaringer der kunne gøre elevens opfattelser mere hensigtsmæssige med henblik på at kunne formulere eksperimentelle problemer, osv. Hvis beskrivelsen skal muliggøre sådanne spørgsmål, er det nødvendigt at den er baseret på både elevens udsagn og på de teoretisk-fysiske modeller af fænomenet.

På tilsvarende måde hænger elevernes forståelse af fænomenet og det eksperimentelle problem nøje sammen. Igen er det ikke sikkert at eleverne overhovedet er i stand til at formulere et eksperimentelt problem. Måske er deres forståelse af fænomenet så langt fra en forståelse baseret på en frugtbar teoretisk model at de end ikke er i stand til at forstå et eksperimentelt problem der bliver præsenteret for dem. Men uanset om eleven kan formulere eller bare forstå et eksperimentelt problem i forbindelse med fænomenet, er nøglen til en forståelse af situationen elevens forhold til den teoretiske model der er med til at definere det fysiske fænomen.

Den didaktiske udfordring ligger nu på flere planer, svarende til samspillet mellem de tre faktorer vi her har beskrevet. Det drejer sig om følgende:

1. Valg af model
2. Valg af eksperimentelt problem
3. Arbejde med elevens forudsætninger

3.8.1 Valg af model

Netop fordi der er en række frihedsgrader i forbindelse med konstruktionen af idealiserede modeller, kan selve valget af model være en del af en didaktisk strategi. En idealiseret model skal gøre det muligt, inden for modellens sammenhænge og matematiske strukturer, at formulere spørgsmål der kan besvares teoretisk eller eksperimentelt. Som vi før har diskuteret, er den mest hensigtsmæssige model derfor bl.a. bestemt af hvilke spørgsmål vi er interesserede i at stille og få svar på. Det betyder at idealiserede modeller som har en central betydning på ét niveau i et fysikundervisningsforløb, ikke er velegnede på et andet niveau. F.eks. kan en kugle der ruller ned ad et skråplan behandles som et frit fald, blot med en mindre acceleration, sådan som Galilei gjorde det. Kuglens rotation vil så ikke optræde i modellen, men vil være abstraheret bort ligesom luftmodstanden. Der vil være tale om fejkilder som man ganske vist kan være opmærksom på, men som vi ikke inden for modellens rammer kan udforske nøjere. I en anden og mere avanceret model kan rotationen eksplicit indgå, sådan at vi kan stille spørgsmål som ”hvordan påvirker rotationen den translatoriske acceleration?”, ”hvordan afhænger denne virkning af kuglens radius?”, ”hvilken betydning har kuglens masse?”, osv.

Når afgrænsede dele af naturen beskrives ved hjælp af idealiserede modeller, er modellernes opbygning, indhold af variable, grad af matematisk kompleksitet, osv. altid bestemt af de formål man har med at opstille modellen. Hvis vi ser på modeller for Jordens drivhuseffekt, er de bestemt af ønsket om at kunne forudsige det globale klima over lange tidsrum. Derfor har disse modeller en struktur der adskiller sig markant fra modeller der skal gøre det muligt at forudsige vejret lokalt nogle få dage frem. Den didaktiske situation bidrager yderligere med hensyn der skal tages højde for i opbygningen af modeller. En model for drivhuseffekten kan opbygges på mange måder. Simple modeller som ikke ville være brugbare i den politiske diskussion om effekten af menneskers udledning af drivhusgasser, kan udmærket være velegnede til forbedre elevens forståelse af principperne i drivhuseffekten.

På tilsvarende måde vælger vi i undervisningen modeller for elektriske kredsløb, mekaniske systemer, gasser osv. på en sådan måde at de passer bedst muligt til elevernes teoretiske forudsætninger og de spørgsmål og problemer de kan forventes at skulle beskæftige sig med. Dette gælder ikke bare når der, som i de netop nævnte eksempler, er tale om standardmodeller i fysikken, men også i konkrete eksperimentelle situationer. Her ligger der en vigtig didaktisk opgave, nemlig den at præsentere fænomenet for eleven på en sådan måde at de idealiseringer og modeller der benyttes, er afpassede efter elevens forståelsesniveau og efter de eksperimentelle spørgsmål eleven kan forventes at arbejde med. Ligesom elevens store mængde af hverdagserfaringer udgør et forvirrende reservoir af mere eller mindre relevant information som vanskeliggør en præcisering af fænomenet som fysikfænomen, er elevens store reservoir af teoretisk fysikviden (uanset hvor velkonsolideret denne "viden" er) ofte lige så meget en hindring som en støtte i arbejdet med en eksperimentel opgave.

3.8.2 Valg af eksperimentelt problem

Som nævnt er valget af eksperimentelt problem tæt forbundet med valget af teoretisk model. Vi kan vælge problemet inden for de rammer en given model giver os, eller vi kan formulere et problem eller et spørgsmål mere upræcist og så søge at fastlægge modellen således at mere præcise problemer til belysning af det valgte spørgsmål lader sig formulere. I begge tilfælde er der tale om en krævende proces der nødvendiggør et samspil mellem elev og lærer. Den didaktiske opgave består bl.a. i at overveje formålet med aktiviteten. Hvis formålet er at eleven bedre skal forstå en bestemt teoretisk model, må eleven hjælpes til enten at formulere problemer (eller forstå problemformuleringer) der er baseret på denne model, eller ledes frem til at stille spørgsmål der netop kan belyses ved hjælp af modellen. Hvis formålet er at eleven skal lære at præcisere et mere generelt spørgsmål til en fysisk problemformulering, skal der bl.a. arbejdes med hvilke spørgsmål der på denne måde let kan fysificeres og hvilke der ikke kan. Samspillet mellem model og problemformulering må gøres til et tema for undervisningen.

3.8.3 Elevens forudsætninger

Det er klart at hvis det eksperimentelle problem og teoretiske modeller hænger så nøje sammen som bl.a. de anførte eksempler viser, så er det af afgørende betydning at tage højde for elevens forudsætninger når en eksperimentel aktivitet tilrettelægges. En betydelig forståelse af de mentale billeder eleven har forudsætninger for at danne sig i forbindelse med et fænomen, er en betingelse for at kunne udvælge et problemfelt eller fænomenområde som kan være frugtbart i forhold til elevens fysiklæring. Det er også nødvendigt at følge elevens arbejde nøje, så man om nødvendigt kan arbejde med de elementer i forudsætningerne som i forløbet viser sig at være mangelfulde i forhold til det valgte problemfelt. Der vil således, hvis undervisningen er vellykket og samspillet mellem lærer og elever fungerer, være en løbende vekselvirkning mellem udvikling af teori- og modelforståelse, eksperimentel problemformulering og udviklingen af elevens forudsætninger.

3.9 Videnskabsteori og eksperimentets pædagogiske betydning

Den betydning for undervisningen i fysik, og specielt for det praktiske arbejde, som det tætte forhold mellem teori, fænomen og eksperiment har, svarer nøje til betydningen af denne sammenhæng for videnskabens udvikling. Vi skal nu prøve at se om det er muligt at uddrage didaktiske pointer af en videnskabsteoretisk indsigt i eksperimentets rolle i den videnskabelige udvikling.

Mange fremstillinger af videnskabshistorien og også megen videnskabsteori (f.eks. Popper 1959, Popper 1972)) fokuserer på de store omvæltninger i verdensbilledet som indførelsen af det Kopernikanske system i astronomien, af Newtons mekanik, termodynamikken, den klassiske elektromagnetisme, relativitetsteorien og kvantemekanikken. Netop de eksperimenter, iagttagelser og teoretiske overvejelser som ud fra vores nuværende viden forekommer at have været betydningsfulde for udviklingen af disse teorier, kommer til at fremstå som prototypen på videnskabelig forskning. Thomas Kuhn (Kuhn 1970) har påpeget at størstedelen af den videnskabelige forskning ikke fører til sådanne nye grundlæggende teorier – og heller ikke har til formål at gøre det, og at den derfor har en helt anden karakter. De store omvæltninger betegner han som *videnskabelige revolutioner*. Mellem disse revolutioner foregår der hvad Kuhn kalder *normalforskning*, som er forskning der er styret af et *paradigme*, dvs. et sæt overordnede principper, idealer og generelle udsagn som accepteres af hele forskersamfundet, og som udgør den ramme indenfor hvilke man formulerer og søger at løse problemer. De store grundlæggende teorier vi netop har nævnt, udgør en del af et sådant paradigme.

Kuhn betegner normalforskningen som *puzzle-solving* – løsning af gåder, og hvis vi vil lede efter paralleller mellem forskningen og situationen i fysikundervisningen, kan et frugtbart udgangspunkt måske være at se på en del af fysikundervisningen som *puzzle-solving*.

3.9.1 Tre typer normalforskning

Kuhn identificerer tre typer problemer som normalforskningen beskæftiger sig med: For det første forsøg på at bestemme vigtige data (f.eks. stoffers elektriske og termiske egenskaber, bølgelængder for spektralinjer), for det andet forsøg på at frembringe målinger der direkte understøtter teoriens centrale love og for det tredje forsøg på at artikulere paradigmet.

De to første typer genfinder vi tydeligt i traditionen for det praktiske arbejde i fysikundervisningen. Meget tid er blevet brugt – og bliver stadig brugt – i skolernes fysiklaboratorier på at bestemme modstandstemperaturkoefficienter, densitet, varmekapacitet osv. ligesom en anden udbredt aktivitet i undervisningslaboratoriet er udførelsen af forsøg der direkte illustrerer en grundlæggende fysisk lov: "Eftervisningen" af Newtons 2. lov med luftpudebane, eftervisningen af Coulombs lov eller gravitationsloven eller Lorentzkraften med specielt udviklet apparatur, osv. I den sidste type aktivitet (og til en vis grad også i den første) er det karakteristisk at det har været nødvendigt at udvikle særlig avanceret udstyr, f.eks. luftpudebanen. Det har netop ikke været et trivielt problem at udtænke eksperimentelle situationer, som f.eks. Cavendish' opstilling til eftervisning af gravitationsloven og til bestemmelse af gravitationskonstanten, hvor forsøgsresultaterne direkte kunne sammenlignes med de grundlæggende love, Newtons 2.lov og gravitationsloven.

Når sådanne forsøg optræder i undervisningen kan det være ud fra en antagelse om at de har betydning for forståelsen af de pågældende love. Men det kan lige så vel tænkes at disse ofte klassiske forsøg der oprindeligt er blevet udtænkt og udført for at understøtte et paradigme, har fået en sådan status som en central del af paradigmet, og derfor i nogen grad et undervisningsmål i sig selv. At etablere en direkte konfrontation mellem en teori og observationer er nemlig i reglen en vanskelig sag. Forbindelsen er næsten altid meget indirekte. Normalt udarbejder man på basis af teoriens love og begreber en model i relation til et fænomen, ved hjælp af modellen analyserer man så et bestemt aspekt af fænomenet, og hvis man derefter på tilfredsstillende måde kan løse et eller flere eksperimentelle problemer uden at der viser sig inkonsistenser, vil man kunne sige at der overensstemmelse mellem teori og eksperiment.

3.9.2 Artikulering af et paradigme

Den tredje type normalforskning i Kuhns beskrivelse, nemlig artikulation af paradigmet, er den vigtigste af de tre, og er også af særlig betydning når vi prøver at udforske hvilken didaktisk lære vi kan drage af videnskabsteorien. At paradigmet bliver artikuleret, betyder at det bliver udfoldet i den forstand at det bliver udformet som et effektivt værktøj til at løse et stort antal fænomener. En del af artikulationen af paradigmet består i bestemmelse af universelle konstanter. Som eksempel kan vi nævne bestemmelse af gravitationskonstanten. Newton kunne beregne en lang række imponerende konsekvenser af sin teori uden at kende dens værdi. Men en anvendelse af Newtons mekanik i hele dens anvendelsesområde kræver kendskab til denne konstant, som imidlertid først blev bestemt af Cavendish hundrede år efter Principias offentliggørelse.

Artikulationen af paradigmet er imidlertid langt mere omfattende end bestemmelse af naturkonstanter. Den vigtigste del består af detaljeret udforskning af hvordan paradigmet (herunder grundlæggende almene love) skal anvendes i forhold til bestemte fænomener for at løse konkrete problemer, samt mere generelt at afprøve effektiviteten af paradigmet som grundlag for udforskning af naturfænomener. Det drejer sig bl.a. om frembringelsen af kvantitative love, som f.eks. Keplers love, pendullove, Boyle-Mariottes lov, Joules lov. At foretage observationer eller opstille eksperimenter der kan danne basis for eller bekræfte sådanne love, forudsætter bestemte teoretiske ideer (f.eks. kunne Kepler ikke være kommet frem til sine love hvis han ikke var gået ud fra Kopernikus' heliocentriske system). Undertiden bliver lovene udledt teoretisk af mere grundlæggende teorier, undertiden bliver de til ud fra observationer. I reglen er der tale om en blanding.

Hvis vi igen ser på den klassiske mekanik, så var de løsninger Newton præsenterede ganske vist imponerende, men for virkelig at kunne løse især mekaniske problemer her på Jorden, måtte der udvikles et stort teoretisk og empirisk baseret apparat af matematiske og eksperimentelle metoder, empiriske love og konkrete modeller. I virkeligheden er sådanne love som Newtons love, de elektromagnetiske feltligninger, termodynamikkens første og anden hovedsætning osv. ikke rigtige love i den forstand at de direkte udtaler sig om forhold i naturen. Kuhn kalder dem symbolske generalisationer eller lovschemaer. Snarere end at være et direkte kvantitativt udsagn om naturen, repræsenterer f.eks. Newtons 2. lov et fælles mønster som karakteriserer en række mere præcise matematiske beskrivelser med direkte empirisk indhold: Beskrivelsen af et pendul, af en rullende kugle, af en svingende streng osv. At blive i stand til at "bruge" Newtons 2.lov betyder derfor at beherske eller være i stand til at udvikle sådanne specifikke beskrivelser som er i overensstemmelse med det overordnede mønster. Dette overordnede mønster repræsenteres symbolsk ved Newtons 2. lov som bliver en slags overskrift for en lang række lovmæssigheder og miniteorier angående forskellige, men beslægtede fænomener. Uden et ret indgående kendskab til betydelige dele af dette "indhold" er "overskriften" ikke til megen nytte. Men Newtons 2. lov er på den anden side heller ikke bare en paraply over en tilfældig samling af miniteorier eller modeller. Forstået rigtigt viser den netop det grundmønster som binder disse modeller sammen. Pointen er at har man forstået hvad det er for et fælles mønster der forbinder modellerne – og de fænomener de beskriver – indbyrdes, og hvordan dette mønster kommer til udtryk i Newtons 2. lov, kan denne fungere som rettesnor ved udarbejdelse af modeller for nye, men beslægtede fænomener.

3.9.3 Paralleller mellem paradigmeartikulation og læringssituationen

Præsentationen af fysikken for elever har betydelige ligheder med forskningens artikulation af et paradigme. Ligesom forskersamfundet har behov for at udforske et paradigme eller en grundlæggende teori til bunds for at få overblik over den og gøre den maksimalt anvendelig til løsning af så mange problemer som muligt, er formålet med undervisningen i en fysisk teori at give eleverne

overblik over teorien og forståelse for dens anvendelsesmuligheder. Under denne synsvinkel fremstår en række traditionelle aktiviteter som naturlige og velbegrundede. Bestemmelse af relevante naturkonstanter i skolelaboratoriet bliver en del af præsentationen af teorien. Og arbejdet med eksperimentelle standardsituationer (penduler, svingende fjedre, kalorimetriske målinger, spektroskopi) bliver en måde hvorpå eleven, ved at se de overordnede teoretiske principper udfoldet i forskellige situationer, kan opbygge en ægte forståelse af principperne.

3.9.4 Betydningen af eksperimentel udforskning for teoriforståelsen

Forståelse af fysikkens principper og metoder har imidlertid to sider. Som nævnt udgøres en del af paradigmets artikulering af udforskning af fænomener inden for paradigmets rammer. Sådanne udforskninger trækker på løsninger og modeller for standardsituationer (Kuhn kalder disse for *eksemplarer*), idet man søger at reducere fænomenet til en standardsituation, eller at identificere paralleller til standardsituationerne der kan inspirere til en tilfredsstillende beskrivelse. Men der er også metodiske principper på spil. De mest overordnede af disse principper udgør en del af paradigmet, men i mere konkrete situationer må metoderne udvikles. Den succesrige kombination af det teoretiske apparat i form af grundlæggende begreber og standardmodeller med systematiske undersøgelser af et fænoménområde er det der konsoliderer et paradigme og viser dets videnskabelige styrke. Uden en sådan demonstration af paradigmets værdi i den normalvidenskabelige *praksis* forbliver det en tom skal. Ganske tilsvarende kan man i en undervisnings- og læringssammenhæng sige at en udforskende praksis er en af de nødvendige forudsætninger for et reelt kendskab til et område af fysikken.

Lakatos (1970) bruger begrebet *forskningsprogram* i en betydning beslægtet med Kuhns paradigme, og han skelner mellem degenererende og progressive programmer. Det progressive program er det der giver anledning til stadig nye spørgsmål og indsigter mens det degenererende ikke fører videnskabelige undersøgelser med sig. Elever skal i denne optik opleve at fysikken (eller dele af den) er et progressivt program der kan bruges til at stille og besvare interessante spørgsmål til naturen.

Der er her tale om det der kan kaldes *procesdelen* af læringsmålet i fysik – i modsætning til *indholdsdelen* (altså teorier, begreber, modeller). Denne procesdel drejer sig at erhverve en evne til at kunne udforske fænomener på systematisk måde. Herunder regnes forskellige former for ”eksperimentel metode”, f.eks. kendskab til brugen af måleapparatur og forståelse af variabelkontrol. Som det fremgår af den ovenstående gennemgang, er der reelt ikke tale om en modsætning. For at blive meningsfuld må en udforskning omfatte en problemformulering (alene for f.eks. at fastlægge de variable der skal indgå i de forskellige dele af undersøgelsen), og en sådan problemformulering forudsætter et teoriapparat.

Men ikke blot er en teori en forudsætning for udforskning. Udforskning (det vil i fysikundervisningen sige arbejde med mere åbne problemstillinger) kan ud fra de ovenstående betragtninger forventes at være en forudsætning for en meningsfuld forståelse af teorigrundlaget. Vi kan forsøgsvis identificere ”artikulering af paradigmet” i forskningen med ”læring af den grundlæggende teori” i fysikundervisningen. Konsekvensen af en sådan identifikation kunne så være følgende: Ligesom paradigmet i Kuhns forståelse først artikuleres i videnskabelige undersøgelser der er baseret på paradigmet, kunne man sige at virkelig forståelse af fysikken (dvs. hele det teoretiske og metodiske apparat) først opnås ved at man selv anvender den til at beskrive og forstå naturfænomener.

3.9.5 Fysikken som værktøj

I denne analyse opfattes fysikken som en slags værktøj som bruges til at udforske naturen, og som man reelt først har forstået når man selv har prøvet at bruge det. En gennearbejdning af nogle af standardløsningerne, hvad enten der er tale om eksperimentelle standardsituationer som beskrevet ovenfor, eller om teoretiske standardmodeller, kan ikke give den fulde forståelse. Ikke bare fordi eleven ikke *selv* har benyttet teoriapparatet til problemløsning, men kun har fået det *demonstreret* – hvilket også gælder for *hands-on* praktiske øvelser fordi eleven her følger en plan han eller hun ikke selv har været med til at lægge. At arbejdet med standardsituationer ikke kan give en fuld forståelse, har ud fra den her anlagte optik dybere årsager. Fysikkens væsensindhold ligger ikke i teorien *per se*, heller ikke i standardløsningerne, men i sammenhængen mellem teorien og det mere diffust definerede naturfænomen. Selv om standardmodellerne normalt er fremkommet ved et sådant møde mellem teori og fænomen, så bliver modellen eller løsningsmetoden, i det øjeblik den foreligger, en del af paradigmet – en del af værktøjskassen, så at sige. Der kan anføres mange læringspsykologiske grunde til at elevernes selvstændige og udforskende arbejde med stoffet fremmer deres forståelse. Hvad der her foreslås, er at selve fysikkens *indhold* ikke er fuldstændig beskrevet hvis ikke beskrivelsen omfatter hvordan fysikken fungerer i konkret konfrontation med naturfænomener. Men da denne konfrontation ikke kan følge et bestemt mønster, men nødvendigvis realiseres forskelligt, ikke bare afhængigt af fænomenets art, men også af mange andre omstændigheder, er det nødvendigt for at opnå en forståelse af denne afgørende del af fysikken, selv i et vist omfang at have været en del af processen. Påstanden er altså at en forståelse af en bestemt del af fysikken der ikke omfatter erfaring med ”fysificering” af fænomener, altså udvikling og løsning af konkrete fysiske problemstillinger i forbindelse med naturfænomener, vil være mangelfuld.

Det skal her lige understreges at med ”mangelfuld forståelse” menes her ikke at eleven ikke forstår det pågældende område ”helt i dybden” eller ”fuldstændigt”. Påstanden skal forstås på den måde at selve *kernen* i fysikken som fag, det der så at sige konstituerer faget, ikke er kommet rigtigt på banen. Påstanden er derfor møntet på fysikundervisning på alle niveauer, fra folkeskole til universitet.

3.10 Opsummering

Et centralt problem i dette kapitel har været dette: Hvad er egentlig genstanden for en eksperimentel undersøgelse i fysik. Med andre ord: Hvad skal vi forstå ved et ”fysikfænomen”?

For at afklare dette har vi undersøgt fysikken som en bestemt tilgang til naturbeskrivelse, altså som historisk tradition. Fysikken etablerer ganske bestemte former for relationer mellem fysikteori og virkelighed, altså mellem teori og hverdags erfaring og mellem begreb og observation.

Disse relationer, og den deraf afledte forståelse af fysiske fænomener som indbefatter *både* hverdags erfaringer, fysikteori og teoretisk forståelse af observationer, har en afgørende didaktisk betydning.

Hvilke spørgsmål vi kan stille til ”Naturen” er i vidt omfang baseret på valg – og i skolesammenhæng er der tale om *didaktiske* valg. Ved at vælge den eller de teoretiske modeller hvorpå vi vil basere et bestemt eksperimentelt problem, har vi så at sige selv skabt det fænomen der skal undersøges. Konsekvenserne for undervisningen bliver følgende: Ikke bare er det klart at der er en nøje sammenhæng mellem lærerens valg af teoretisk indhold i undervisningen og de eksperimentelle problemer eleverne kan arbejde med. Den *måde* hvorpå eleverne angriber den eksperimentelle situation er afhængigt af deres teoretiske forudsætninger.

En yderligere konsekvens er denne: Hvis de fænomener vi undersøger er medbestemt af bestemte teoretiske modeller, så det *fænomen* eleverne ser, må formodes at være afhængig af deres forståelse af de teoretiske modeller der danner udgangspunkt for en problemstilling, kan man sige at fysikkens teori har til formål at ”skabe fænomener”, dvs. organisere vores forståelse af virkeligheden således at vi kan stille spørgsmål til den – undersøge den.

Dette har betydning for hvilke væsentlige træk ved videnskabsfaget fysik der afspejles i skolefaget (se kapitel 1).

Det betyder nemlig at fysikkens teori ikke kan forstås uden at dette fundamentale formål er forstået. Og derfor er det nødvendigt, hvis elever skal begribe fysikkens teori, selv på det mest elementære plan, at de har arbejdet med teoriens sammenhæng med eksperimentelle situationer.

4 Videnskabsteori og fysiklæring

4.1 Læring og erkendelse

I kapitel 3 har vi forsøgt at karakterisere fysikfaget ud fra en videnskabsfilosofisk synsvinkel og at uddrage nogle didaktiske konsekvenser heraf. Det er fristende at gå et skridt videre og prøve at se elevernes læreproces som ækvivalent til udviklingen i den videnskabelige erkendelse. Selv om der kan hentes inspiration til læringsteoretiske overvejelser fra videnskabsteorien (det vil i et vist omfang blive gjort i kapitel 6), må der advares mod en sammenblanding.

Hovedpointen i det dette kapitel er den at der ikke er nogen simpel sammenhæng mellem videnskabsteori og læringsteori. Specielt er det ikke frugtbart at postulere direkte forbindelser mellem bestemte videnskabsteoretiske positioner og bestemte læringsteoretiske positioner.

Et eksempel på en meget udbredt sammenkobling af læringsteori og erkendelsesteori finder vi i diskussionen om konstruktivisme. Der er ofte blevet gjort forsøg på at "udlede" eller begrunde det konstruktivistiske perspektiv inden for læringsteori, hvor man lægger stadig større vægt på elevens egen konstruktion af viden (se f.eks. Tobin, 1993), ud fra erkendelsesteoretiske overvejelser. Samtidig går visse moderne erkendelsesteoretiske positioner under betegnelsen konstruktivisme. (Se f.eks. von Glasersfeld, (1995), Nielsen & Paulsen (ed.) (1992)),

Den læringsteoretiske konstruktivisme har lighedspunkter med (og er også delvist inspireret af) den udvikling i retning af stadig større relativisme vi har set i videnskabsteorien (se f.eks. von Glasersfeld (1995)). Den frihed som vi erkendelsesteoretisk påstår at have i vores beskrivelse af naturen overføres til elevens situation. Læreren bliver vejleder i elevens (helt eller delvist frie) konstruktionsproces.

Læringsteori er, ligesom psykologien i det hele taget, en forholdsvis ny videnskabelig disciplin. Men, som den tyske psykolog H. Ebbinghaus har sagt, "psykologien har en kort historie, men en lang fortid" (Madsen, 1986, Bind 1, p.71)). Spørgsmål af central betydning for psykologien, som forholdet mellem sjæl og legeme (eller "psyke" og "materie") eller den menneskelige erkendelses grundlag, har været en væsentlig del af den filosofiske diskussion i et par tusind år. Og er "erkendelse" ikke i bund og grund det samme som "læring"? Det er ganske nærliggende at identificere, eller i det mindste se en tæt forbindelse mellem læringsteori (som psykologisk disciplin) og erkendelsesteori (som filosofisk disciplin).

Et hovedærinde i dette kapitel er som sagt at advare mod en sammenblanding af begreberne. Selv om den læringsteoretiske konstruktivisme også har forbindelse med bestemte traditioner inden for erkendelsesteori, har den sine egne rødder og søger svar på andre spørgsmål end erkendelsesteorien. Det er derfor vigtigt, som baggrund for en analyse af hvad erkendelsesteorien generelt og videnskabsteorien specielt *kan* lære os om fysiklæring og fysikdidaktik, at klargøre hvad forskellen er mellem *videnskabsfilosofiske* spørgsmål og *læringsteoretiske* spørgsmål.

Jeg vil i det følgende prøve at vise at forbindelsen mellem læring og erkendelse ikke er nær så indlysende og umiddelbar som mange forfattere får det til at se ud (Thomsen, 1992, Glasersfeld, 1995). Jeg vil lægge til grund at læringsteori og erkendelsesteori er to forskellige discipliner med til dels grundlæggende forskellige problemstillinger, og specielt argumentere for at et "konstruktivistisk"

*lærings*syn derfor ikke direkte kan oversættes til bestemte “konstruktivistiske” *erkendelsesteoretiske* positioner.

Mens læringsteorier søger at kortlægge hvordan viden udvikler sig hos mennesker i konkret samspil med andre, undersøger erkendelsesteorien de generelle betingelser og begrænsninger for den menneskelige erkendelse, herunder erkendelsens gyldighed. Naturligvis er der berøringsflader mellem de to, og især i ældre erkendelsesteori ser vi erkendelsens gyldighed begrundet ved overvejelser over hvordan mennesket erhverver ny viden. Alligevel må det understreges at der er en fundamental forskel mellem på den ene side at begrunde påstået viden, og på den anden side at undersøge hvordan mennesker lærer noget, hvad enten det nu er sandt eller ej. Hvor læringsteori bl.a. må interessere sig for hvordan kulturelle ideer overføres fra en generation til den næste, men ikke nødvendigvis for om disse ideer er rigtige eller forkerte, så er spørgsmålet om hvorvidt ideerne repræsenterer sand viden naturligvis af afgørende betydning for erkendelsesteorien.

Jeg vil ganske kort gennemgå nogle hovedtræk af erkendelsesteoriens historie, idet vi hele tiden har den konstruktivistiske ide i baghovedet. Vi skal se at alle erkendelsesteoretiske retninger i en eller anden forstand kan kaldes konstruktivistiske. Dermed mister begrebet jo i nogen grad sin mening, og man kunne spørge om man så ikke helt skulle lade være med at bruge betegnelsen i den sammenhæng. Vi skal imidlertid se at der inden for centrale dele af videnskabsteorien er sket en udvikling i retning af stadig mere relativistiske holdninger. Man kan sige at jo mere uafhængig af en objektivt eksisterende ydre verden man anser videnskabsprocessen for at være, i desto højere grad kan man kaldes konstruktivist. Visse stærkt relativistiske holdninger til videnskab er da også blevet betegnet som konstruktivistiske. Vi skal blot huske på at selv om denne betegnelse kan anvendes både om et videnskabssyn og et læringsyn, så er det ikke givet at der er en klar forbindelse mellem ordets betydninger i de to tilfælde.

Desuden må det understreges at det ikke er givet at den historiske proces, i hvilken den videnskabelige viden vi kender i dag er skabt, har en indlysende lighed med de læreprocesser i hvilken den enkelte opnår ny viden. Det betyder at man godt kan have synspunkter af ”konstruktivistisk” tilsnit inden for videnskabsteori, men ikke inden for læring. Og omvendt: et konstruktivistisk læringsyn behøver ikke medføre et ”konstruktivistisk” syn på videnskaben.

4.2 Hvor kommer abstrakte begreber fra? Begrebsrealisme og nominalisme

Forsøget på at finde et sikkert grundlag for erkendelsen har grundlæggende ført i to retninger: Enten søger vi at finde grundlaget i vore sanseerfaringer (*empirisme*). Eller også søger vi at forankre erkendelsen i vores fornuft (*rationalisme*).

Tæt forbundet med disse erkendelsesteoretiske strømninger er forskellige ideer om de abstrakte begrebers oprindelse og ontologiske status (virkeligheds karakter). Rationalismen indebærer en forestilling om at vi via fornuften har adgang til vigtige sandheder om verden. Denne tanke går ofte hånd i hånd med en *begrebsrealisme* ifølge hvilken begreber eksisterer uafhængigt af vores sprog og bevidsthed.

Begrebsrealisme betegnes undertiden også som platonisme, fordi vi hos Platon (428-348 f.kr.) finder den i sin mest konsekvente form (Platon, 1985). For Platon udgjorde begreberne, eller ideerne, simpelt hen den sande virkelighed, i modsætning til den umiddelbare sanseerfaring som er en slags illusion, et sløret genskin af ideernes virkelige verden. Det er faktisk ifølge Platon kun i kraft af ideerne at vi kan erkende fænomenerne i sansernes verden. Hos Platon eksisterer ideerne uafhængigt af enkelttingene: “Det Skønne” eksisterer uanset om der faktisk findes skønne ting.

Begreberne findes ifølge Platon i os som medfødte ideer. Kan denne tanke nu kaldes konstruktivistisk? Ikke i den forstand at vi mennesker selv skaber vores viden og de begreber der indgår i den. Ideerne findes nemlig (mere eller mindre latent) i os i forvejen. Men vi skal på den anden side lægge mærke til at Platon heller ikke mener at viden kommer til os fra andre: I Platons dialoger fungerer Sokrates bare som en slags fødselshjælper, så samtalepartneren selv kan nå frem til sin indsigt. Og det er jo i god (men noget overfladisk) overensstemmelse med moderne konstruktivistisk jargon. Man kan faktisk sige at vi i Platon, hvis tænkning må siges at være den direkte modsætning til *filosofisk* konstruktivisme, samtidig finder et tidligt eksempel på *læringsteoretisk* konstruktivisme.

Men kan det virkelig være rigtigt at vi gennem vores fornuft kan få gyldig viden om den verden der omgiver os? Er ikke sanserne vores eneste kilde til viden om verden? Dette er empirismens udfordring til rationalisterne. Og med et empiristisk syn på erkendelsen følger let en *nominalistisk* opfattelse af begreber, der står i modsætning til begrebsrealismen. Ifølge nominalismen er virkeligheden lig med de sansede enkeltting, og begreberne er rene *tankekonstruktioner*. Middelalderens mest berømte repræsentant for nominalismen er William fra Ockham (1285-1349), kendt for "Ockhams rasekniv": Det princip at man i forklaringer ikke skal antage flere ting (eller indføre flere begreber) end højst nødvendigt. William fra Ockham er altså helt uenig med Platon: Der findes ingen begreber på forhånd, vi konstruerer dem selv ud fra den sansede verden.

Det er let at se hvordan et sådant synspunkt i sig bærer kimen til skepticisme og relativisme. Hvis vore begreber er frit konstruerede af os for at forklare vore sanseerfaringer, så kunne vi måske have valgt helt andre begreber og helt andre forklaringer. Og findes der så overhovedet sikker universel viden?

4.3 Lockes empirisme

Hvis begreber, som nominalisterne hævder, ikke kan hentes fra ideernes verden, hvordan bærer vi os så ad med at skabe dem? Et tidligt forsøg på at forklare hvordan vi konstruerer begreber finder vi hos en af grundlæggerne af den nyere tids empirisme, John Locke (1632-1704), der indtager et mellemstandpunkt mellem begrebsrealismen og den rene nominalisme. Han mener at vi selv konstruerer vore ideer og begreber, men det betyder ikke at de er frit opfundne. Almenbegreberne dannes ved abstraktion af ligheder mellem enkeltting og stammer dermed i sidste ende alle fra sansningen.

I *An Essay Concerning Human Understanding* (Locke 1965) skriver Locke:

... tingenes inddeling er forstandens værk, idet det er den, der abstraherer og danner de almene ideer. (Locke 1965)

Locke afviser at ideerne kan have nogen anden *oprindelse* end erfaringen. Men begrebsdannelsen er en *aktiv* proces. Locke opererer med to former for erfaring: For det første *sansningen*, og for det andet

... opfattelsen af vor bevidstheds funktioner inden i os, når den beskæftiger sig med de ideer den har modtaget. (Locke 1965, p.67)

Denne evne til at observere sin egen bevidstheds funktioner kalder Locke *refleksion*.

Locke mener at vi selv, med grundlag i erfaringen, konstruerer vores viden om verden og de begreber denne viden består af, og det ovenstående kan udmærket ses som en konstruktivistisk beskrivelse af begrebsdannelse.

4.4 Videnskabelige teorier som instrumenter

Den skepticisme der lurder i empirismens projekt kommer til fuld udfoldelse hos den berømteste repræsentant for den klassiske britiske empirisme, David Hume (1711-1776). Hume viderefører og radikaliserer den nominalistiske opfattelse af de abstrakte begreber som fiktive konstruktioner der kun findes i sproget og fantasien. Specielt gennemfører han en sønderlemmende kritik af årsagsbegrebet: Vi kan ikke ad *tænkningens* vej indse at der er en årsagssammenhæng mellem to fænomener, f.eks. at en rullende billardkugle der rammer en anden kugle, er årsag til at den anden kugle begynder at rulle. Der ligger nemlig ingen *logisk* modstrid i at forestille sig at den ikke gjorde det. Men vi kan heller ikke ud fra *erfaringen* vide at der er en årsagssammenhæng, dvs. en *nødvendig* og dermed generel sammenhæng, for vi kan altid kun observere enkelttilfælde (det såkaldte induktionsproblem). Argumentet er en bombe under forestillingen om naturlove, i hvert fald hvis disse skal forstås som objektiv viden om verden. Humes overvejelser fører ham til en radikal skepticisme, som bl.a. får ham til at hævde at der ikke er noget grundlag for at antage at vore sanseindtryk har nogen lighed med genstande i en ydre verden. I ”An Inquiry concerning Human Understanding” skriver Hume angående spørgsmålet om der kan være en sådan sammenhæng:

How shall this Question be determin'd? By experience surely, as all other Questions of a like Nature. But here Experience is, and must be entirely silent. The mind has never anything present to it but the perceptions, and cannot possibly reach any Experience of their Connexion with Objects. The supposition of such a Connexion is, therefore, without any Foundation in Reasoning. (D. Hume 1975, p. 153)

Det nominalistiske syn på begreberne fører let til et *instrumentalistisk* syn på videnskab. Det ser vi tydeligt hos den tredje af de store britiske empirister, Berkeley (1685-1753). Newtons teori for solsystemet f.eks., gør brug af begrebet gravitationskraft. Men kraftbegrebet er for Berkeley en ren konstruktion. Vi kan ikke observere nogen kraft, kun bevægelse:

But what is said of forces residing in bodies, whether attracting or repelling, is to be regarded only as a mathematical hypothesis, and not as anything really existing in nature. (Berkeley 1744, i Popper 1972)

Der findes altså ikke kræfter som årsag til planeternes acceleration; kræfterne i Newtons teori repræsenterer simpelt hen et matematisk værktøj, et instrument, der sætter os i stand til at beregne deres positioner. En radikal anvendelse af Ockhams rasekniv!

Vi genfinder det instrumentalistiske synspunkt i den klassiske empirismes arvtager *positivismen*. Ernst Mach (1838-1916), der regnes for den moderne positivismes stamfader, mente at videnskabelige begreber er tankekonstruktioner, indført alene med det formål at organisere vore erfaringer på en hensigtsmæssig måde. Denne holdning førte ham til at afvise atomernes eksistens:

Atomer kan vi intetsteds sanse, de er tankeobjekter som alle andre substanser... Skulle atomerne alligevel være egnet til at beskrive en række kendsgerninger, vil naturforskeren ... kun lade denne teori gælde som et provisorisk hjælpemiddel ...(Mach, 1883, i Kragh & Pedersen, 1981, p.125)

Den instrumentalistiske tankegang kan udtrykkes således:

Fysiske begreber er frit opfundne af den menneskelige hjerne, og er ikke, selv om det måske ser sådan ud, entydigt bestemt af den ydre verden. I vores bestræbelser for at forstå virkeligheden er vi i nogenlunde samme situation som en mand der prøver at forstå mekanismen i et ur. Han ser viserne bevæge sig, hører det endda tikke, men han har ingen mulighed for at åbne det. Hvis han er dygtig kan han måske danne et eller andet billede af en mekanisme, som kunne være ansvarlig

for alle de ting han observerer; men han kan ikke være helt sikker på, at hans billede er det eneste der ville kunne forklare hans observationer. (Einstein & Infeld, 1939)

Et instrumentalistisk syn på begreber og videnskabelige teorier finder vi også i den amerikanske *pragmatisme* (repræsenteret ved bl.a. James og Dewey). Efter 2. Verdenskrig, hvor mange af de centraleuropæiske positivister var emigreret til USA, flød den logisk-positivistiske tradition og pragmatismen i nogen grad sammen. Denne adskiller sig dog fra positivismen ved på forhånd at afvise et sikkert grundlag for erkendelsen: Al viden er foreløbig. Sandhed identificeres med det der er brugbart til at foretage forudsigelser og løse problemer.

Instrumentalismen har haft stor gennemslagskraft i dette århundrede. Københavnerfortolkningen af kvantemekanikken kan siges at være instrumentalistisk:

Strengt taget udgør den matematiske formalisme i kvantemekanikken blot regneregler til udledning af forventninger om observationer, opnået under veldefinerede forsøgsbetingelser ... (Niels Bohr, 1961, p.78)

En radikal (læringsteoretisk og filosofisk) konstruktivist som von Glasersfeld (von Glasersfeld 1995) har helt taget instrumentalismen til sig, og ser de samme ideer i konstruktivismen: Vi afprøver vores (formodede) viden på omgivelserne, og hvis den ”fungerer”, i samtale og i forhold til vores iagttagelser, konsolideres denne viden.

4.5 Relativisme

Vi har fulgt en erkendelsesteoretisk udvikling i retning af stadig større tvivl om det overhovedet er muligt at finde universelle sandheder om en objektivt eksisterende verden. En sådan skepsis fører næsten uundgåeligt en eller anden form for relativisme med sig.

Man kan se Kuhns teori om paradigmeskift og videnskabelige revolutioner (se afsnit 3.9) som endnu et skridt i relativistisk retning i erkendelsesteorien. Det kontroversielle i Kuhns beskrivelse er, at da alle påstande kun kan vurderes inden for et paradigme, kan man ikke rationelt afgøre om det ene paradigme er mere sandt end det andet. Kuhn sammenligner selv overgangen fra et paradigme til et andet med en religiøs omvendelse.

Kuhn har dog modificeret sine synspunkter siden han først fremsatte dem i 1962 (Kuhn 1962), og han benægtede selv at være relativist (Kuhn, 1977).

Fra den mening at vores teorier om virkeligheden er noget vi selv frit finder på, kombineret med Humes erkendelse af at vi ikke kan vide om vores sanseerfaring svarer til en ydre virkelighed, er der ikke så forfærdelig langt til at mene at selve virkeligheden er noget vi finder på. Og hvis virkeligheden er noget vi selv finder på, kan vi vel også have forskellige ”virkeligheder”. Ud fra en sådan radikal relativisme kan forskellige grupper eller kulturer tænkes at leve i hver deres virkelighed, uden at det er muligt at afgøre hvilken der er den ”rigtige”, fordi der ikke *findes* andet end den virkelighed vi selv konstruerer.

Radikale relativistiske synspunkter har bredt sig, hovedsageligt inden for humanistiske og sociologiske kredse, til dels nok som en del af almindelig postmodernistisk tænkning. De har givet anledning til en meget radikal videnskabskritik og særdeles ophedede diskussioner, især i Amerika hvor man ligefrem har talt om en ”science war”. Synspunktet bliver ofte betegnet som konstruktivisme og udelukker helt at videnskabelige teorier kan gøre krav på at repræsentere objektiv viden. I en kritisk artikel beskriver Helge Kragh den nogenlunde således:

Hvad vi anerkender som pålidelig viden om naturen, er først og fremmest opnået gennem retoriske, sociale og politiske "forhandlinger" mellem forskerne og afspejler på ingen måde naturen selv. Forskernes teorier kunne under andre sociale omstændigheder være ganske anderledes, idet man så at sige kunne have bestemt sig for andre teorier alene ud fra sociale interesser. (Kragh, 1999a, p.37)

Et eksempel på denne tankegang finder vi hos Latour og Woolgar der i bogen *Laboratory life: The construction of scientific fact* (Latour&Woolgar 1986) beskriver hvordan de sociale relationer i forskersamfundet er bestemmende for hvilke videnskabelige sandheder der bliver konstrueret. For en kritik af dette synspunkt, se Kragh, 1998, Kragh, 1999b og Collin (1999).

4.6 Hvordan er fysiske teorier mulige?

Som den foregående gennemgang har vist, kan den moderne konstruktivistiske tænkning ses som et naturligt led i en lang filosofisk udvikling. Men der er næppe mange naturvidenskabsteoretikere der vil acceptere en radikal socialkonstruktivisme som den ovenfor beskrevne. Tværtimod kan man sige at en stor del af den erkendelsesteoretiske diskussion i det sidste par hundrede år har kredset om forsøg på at undslippe alt for relativistiske konklusioner, hvilket har ført til synspunkter der indeholder både empiristiske og rationalistiske elementer.

Det første store forsøg på at komme ud over Humes skepticisme finder vi hos Emmanuel Kant (1724-1804). Kants problem var dette: På den ene side havde fysikken med Newtons værk tydeligt opnået en dyb og sand indsigt i verdens struktur. På den anden side havde Hume vist at vi ikke ud fra erfaringen kan slutte os til iboende sammenhænge i naturen. Stillet overfor Newtons imponerende tankebygning kunne Kant ikke stille sig tilfreds med at betragte fysiske teorier som rene instrumenter.

Newton's mekanik eksisterede som en kendsgerning, og problemet var derfor hvordan det overhovedet havde været muligt at frembringe et så kompliceret system af abstrakte begreber og sammenhænge med en så forbløffende forklaringskraft over for vores sanseverden. Kant afviser ligesom Hume at vi af vore medfødte ideer skulle kunne udlede en så dybtgående erkendelse af vores sanseverden. Og da vi, som Hume viser, ikke kan udlede årsagssammenhænge af erfaringen, vender Kant spørgsmålet på hovedet og hævder at bl.a. årsagsbegrebet er en forudsætning for at vi overhovedet kan erkende. Det er altså os der påtvinger fænomenerne en årsagssammenhæng. Karl Popper (1902-1999) udlægger Kants tanker således:

Selv om ... den Newtonske videnskab ... bekræftes af observationer, er den ikke resultatet af disse observationer, men af vores egne måder at tænke på, af vore forsøg på at ordne vore sansedata, forstå dem og at fordøje dem intellektuelt. Det er ikke disse sansedata, men vort eget intellekt, organisationen af vort åndelige fordøjelsessystem, som er ansvarlige for vore teorier. Naturen som vi kender den med dens orden og med dens love er derfor i det store og hele et produkt af vor ånds indoptagende og ordnende aktiviteter. (Popper, i et radioforedrag på 150-årsdagen for Kants død, i Witt-Hansen, 1985, p.198).

Kants siger altså ikke som rationalisterne at vor viden i sidste ende kan føres tilbage til medfødte ideer. Vi konstruerer selv vor viden ud fra erfaringen. Men for at vi skal kunne gøre det, må vi som erkendende væsener være udstyret med bestemte begrebslige forudsætninger.

Kant satte desuden fingeren på et afgørende punkt: Vores viden, f.eks. Newtons mekanik, bliver efterhånden så kompliceret og er så langt fra vores umiddelbare erfaring, at det bliver stadig mere

uforståeligt hvordan den er opstået, dvs. hvordan vi egentlig har båret os ad med at konstruere den. Kants analyse er et forsøg på at vise hvordan det har været muligt, og især via Piaget, der var inspireret af Kant, kan denne analyse siges at have haft indflydelse på konstruktivistisk læringsteori.

I de sidste hundrede år har filosofien i stadig højere grad har opgivet at udtale sig om *hvordan* vi egentlig bærer os ad med at konstruere vores begreber og teorier om verden, og det er blevet almindeligt at hævde at den overhovedet ikke skal beskæftige sig med det spørgsmål. Filosofien har koncentreret sig om at analysere gyldigheden af erkendelse (*begrundelse*) og interesseret sig stadig mindre for hvordan erkendelsen faktisk finder sted for den enkelte (*opdagelse*). Og derfor har størstedelen af den moderne videnskabsteori ikke ret meget at sige der har direkte læringsteoretisk interesse.

Den logiske positivisme skelnede skarpt mellem *Context of Discovery* og *Context of Justification* og betragtede kun den sidste, altså begrundelsen, som en opgave for filosofien. Denne skelnen (indført af Reichenbach i 1938 (Monk & Dillon, 2000)) blev overtaget af de fleste filosoffer, også Karl Popper:

Det forekommer mig, at den indledende fase, undfangelsen eller opdagelsen af en teori, hverken kræver en logisk analyse eller kan gøres til genstand herfor. Spørgsmålet om hvordan en ny ide opstår hos et menneske - det være sig et musikalsk tema, en dramatisk konflikt eller en videnskabelig teori - kan være af stor interesse for den empiriske psykologi; men den er irrelevant for den logiske analyse af videnskabelig viden ... Jeg skal derfor skelne skarpt mellem hvorledes en ny ide undfanges, og metoder og resultater til en logisk undersøgelse af den ... der findes ikke nogen logisk metode til at få nye ideer ... (Popper, 1959, p.30-31)

4.7 Er der en sammenhæng mellem videnskabssyn og læringssyn?

Hvilke sammenhænge kan vi så finde mellem erkendelsesteori og læring? Der er, som vi har set, konstruktivistiske elementer i næsten enhver erkendelsesteori, og det er som nævnt fristende at drage paralleller til læringsteoretisk konstruktivisme. Men parallellerne bliver let overfladiske og misvisende. Et eksempel finder vi i ”Undervisning i fysik – den konstruktivistiske ide” (Nielsen & Paulsen 1992), hvor både Poul V.Thomsen og Björn Andersson stiller en empiristisk videnskabsopfattelse op som *modsatning* til et konstruktivistisk læringssyn. Begge tillægger lærerens mere eller mindre ubevidste videnskabsteoretiske holdninger stor vægt. Poul V.Thomsen mener således at

...hvis læreren skal undgå en kognitiv konflikt på [det videnskabsfilosofiske] område må hans/hendes fagopfattelse være i rimelig overensstemmelse med hans/hendes syn på menneskets udvikling og læring.

Nu træffer det sig så heldigt, at de større videnskabsfilosofiske systemer langt hen viser sig at være parallelle til de hidtil diskuterede syn på erkendelse [dvs. læring], idet de groft set kan inddeles i dels en empiristisk retning, dels en række mere eller mindre konstruktivistiske retninger. (Thomsen, 1992, p.92)

Björn Andersson beskriver den empiristiske opfattelse således:

Sanserne fungerer som passive, men objektive registreringsorganer, omtrent som et kamera, der tager fotografier eller en båndoptager, der indspiller lyd. På disse sande registreringer kan man bygge pålidelige generaliseringer. [...]

Den som – måske ubevidst – har et empiristisk syn på læring og viden, ser på den naturvidenskabelige undervisning på en bestemt måde. Han eller hun synes fx, at eleven skal opdage og undersøge. Grundmotivet hertil er, at man kan hente viden i konkrete ting. Ved at eleven undersøger og prøver, kan der overføres viden fra forsøgsudstyret til eleven. (Björn Andersson, 1992, p.17)

En sådan overførsel fungerer naturligvis ikke, og derfor er der da heller ingen på gymnasie-niveau der underviser ud fra en sådan tankegang. Det ved Björn Andersson også godt (selv om det ikke afholder ham fra at kalde læreren for empirist):

Empiristen indser, at det er umuligt at skaffe sig al den viden, som indgår i skolefagene, gennem egne undersøgelser. Derfor undervises eleven på sædvanlig måde. Gennem passende organisering af stoffet forsøger læreren at lette indlæringen. Overførelsesprocessen antages at være relativt uproblematisk. Kundskaben findes i det talte ord, i figurerne på tavlen, i demonstrationseksperimenterne, i lærebogens tekst. (ibid., p.17)

Der findes givet lærere med holdninger der nærmer sig den af Björn Andersson beskrevne art, og der findes utvivlsomt megen dårlig undervisning. Men som citatet ovenfor viser, kan det være svært på overbevisende måde at føre det tilbage til en bestemt videnskabsteoretisk retning. Og som vi har set er det mindst lige så nærliggende at *identificere* empirisme og konstruktivisme (se f.eks. også Matthews 1994).

For at forstå hvorfor man kan mene at empirisme og konstruktivisme er modsætninger, bør vi lige se på hvad der er konstruktivismens udgangspunkt. Frem for at se mennesket som en passiv modtager af viden lægger konstruktivismen vægt på at videnstilegnelse forudsætter en aktiv proces hos den der lærer. Empirismens insisteren på at al viden i sidste ende kommer fra erfaringen og derfor udefra, kan derfor opfattes som en beskrivelse af mennesket som en passiv modtager af viden udefra: ”Der overføres viden fra forsøgsudstyret til eleven”. Dette er naturligvis en karikatur af empirismen. Intet fornuftigt menneske vil påstå at fysikkens begreber og teorier kan observeres i laboratoriet eller naturen – så havde det næppe taget så lang tid at komme frem til dem. Det der er spørgsmålet i forhold til konstruktivismen er ikke om begreberne er konstruerede, men hvor stor frihed mennesket (eller forskersamfundet) har ved denne konstruktion. Og om dét hersker der stor filosofisk uenighed. Er vi bundne, f.eks. af en ydre verden der er uafhængig af os, eller af en ubønhørlig logisk nødvendighed? Eller kan vi danne os billeder af verden helt uden begrænsninger? Eller ligger sandheden et sted midt imellem?

Det er selvfølgelig ikke utænkeligt at der findes lærere som mener at ”der overføres viden fra forsøgsudstyret til eleven” (selv om det næppe er mange, se kapitel 1). Kun afspejler det snarere et ureflekteret forhold til hvad man kan lære af en fysikøvelse og går, som Andersson også påpeger, sikkert hånd i hånd med et lige så ureflekteret forhold til hvad man kan lære af at læse en bog. Der er næppe nogen grund til at formode at en konvertering til et andet ”erkendelsesteoretisk standpunkt” hos en sådan lærer ville resultere i en mere gennemtænkt indstilling til læring og undervisning.

Hvad Andersson formentlig har ret i, er at mange lærere betragter overførselsprocessen som relativt uproblematisk. Styrken i det konstruktivistiske læringssyn er netop at det erkender hvor kompliceret og dårligt forstået overførslen af viden er, og at det retter søgelyset mod elevens aktive deltagelse i denne proces.

De fleste lærere (og fysikere iøvrigt) har næppe et i videnskabsteoretisk forstand særlig konsekvent videnskabssyn. Man har bl.a. i England prøvet at undersøge fagopfattelsen hos naturvidenskabelige lærere, og man fandt dels at de fleste havde indbyrdes modstridende synspunkter, dels at næsten alle videnskabsfilosofiske opfattelser var repræsenteret i gruppen af lærere som helhed. (Kouladis og Ogborn 1989 – nævnt af P.V.Thomsen i Nielsen & Paulsen 1992). Man kan spørge om det egentlig giver mening at kategorisere disse næppe særlig gennemtænkte synspunkter ved hjælp af det filosofiske begrebsapparat. Man kan måske i stedet opfatte dem som *common sense* opfattelser der gør

rimelig fyldest i forskellige situationer uden at gøre krav på at være et logisk sammenhængende hele.

Den selvforståelse som vi nok finder hos mange fysiklærere (og fysikere i øvrigt) giver Einstein en ganske dækkende beskrivelse af i det følgende citat:

Han [videnskabsmanden] må for den systematiske erkendelsesteoretiker fremstå som en hensynsløs opportunist: han synes at være realist for så vidt han søger at beskrive en verden uafhængig af sansningen; en idealist for så vidt som han ser på begreber og teorier som frie opfindelser af menneskeånden ...; som positivist for så vidt som han anser sine begreber og teorier begrundet alene i det omfang de kan give en logisk repræsentation af relationer mellem sanseerfaringer. Han kan endog forekomme som en platonist eller pythagoræer for så vidt som han anser synspunktet om logisk enkelhed som et uundværligt og effektivt værktøj i sin forskning. (A. Einstein i Pais, 1982, p.13, oversat af VS)

Der er altså mindst to grunde til at man skal passe på med at tale om f.eks. ”den empiristiske lærer”, sådan som bl.a. Björn Andersson gør det. For det første at kun få lærere (om nogen) har en konsekvent erkendelsesteoretisk holdning. Og for det andet at det er yderst diskutabelt hvad en sådan holdning (f.eks. en empiristisk) egentlig indebærer, læringsteoretisk set. Konstruktivisme? Behaviorisme? Eller noget helt tredje?

Er f.eks. eksperimenter der skal bekræfte (eller måske ligefrem ”bevise”) en bestemt lov i særlig høj grad udtryk for en empiristisk/positivistisk tankegang? Man kan spørge hvad et alvorligt ment formål kunne tænkes at være med et sådant eksperiment? Der kan ikke være tale om at læreren forventer at eleverne ud fra et stort antal forskellige enkeltobservationer ved induktion kommer frem til den almene lov, for de ser eller udfører jo kun ét eksperiment. Hvis situationen endelig skal sammenholdes med en ide om videnskabsprocessen, ser det snarere ud at de er blevet kastet ind på et bestemt trin i et (tænkt) hypotetisk deduktivt forløb. F.eks. dér hvor konsekvenser af en hypotese (som eleverne ikke selv har opstillet) skal afprøves: Hvis accelerationen af vognen på luftpudebanen er proportional med trækraften er det en bekræftelse af Newtons 2. lov. Eller dér hvor en hypotese skal opstilles: Strøm og spænding viste sig at være proportionale i denne opstilling - mon det gælder for alle modstande?

Det er rigtigt at en sådan undervisning kan være problematisk. Men det problematiske er næppe det ”forkerte” videnskabssyn den kunne tænkes at udspringe af. Problematisk vil det for det første være hvis læreren undlader at gøre det klart for eleverne hvad formålet med aktiviteten er og f.eks. ikke (i det ovenstående eksempel) forklarer hvad en hypotese er, hvordan den kan bekræftes eller falsificeres, osv.

Men sådanne aktiviteter kan også være problematiske af en helt anden grund: Eleverne skal jo ikke bare lære den hypotetisk deduktive metode ved at øve sig i små bidder af den. De skal opbygge - konstruere - et kompliceret abstrakt begrebsunivers, sådan at de bl.a. bliver i stand til at forstå og stille meningsfulde spørgsmål inden for dette univers. Kan de ikke det, er de i det ovennævnte eksempel overhovedet ikke i stand til at forstå hypotesen. Og hvis meningen med aktiviteten er at de skal opbygge begrebsapparatet *samtidig* med at de skal lege at de tester en hypotese, så kan resultatet blive at de slet ikke lærer noget, fordi de arbejder med begreber de ikke behersker for at nå et mål de ikke forstår.

Hvis der rent faktisk er tale om at læreren bevidst og konsekvent prøver at undervise i overensstemmelse med et bestemt videnskabssyn, er det stadig langt fra sikkert at det er en god ide. Det er nemlig slet ikke sikkert at en aktivitet der ligner noget der foregår i videnskabsprocessen, vil være den bedste til at fremme elevernes læring af fysik. Hermed er ikke sagt at man aldrig kan lære noget af aktiviteter der har en vis lighed med en forskningsproces. Men man kan næppe lære alt. At lære at bruge et eksisterende begrebsapparat og at forstå eksisterende teorier er nemlig ikke nødvendigvis det samme som at være med til at skabe nye begreber og teorier. Der er forskel på at arbejde sig frem til et sæt begreber der skal være brugbare i forhold til en eksperimentel virkelighed, og at give

mening til begreber der allerede bruges på en bestemt måde i eksisterende teorier. I begge tilfælde kan der for personen siges at være tale om en konstruktion, men de betingelser der afgrænser konstruktionsmulighederne, forekommer at være ret forskellige. Derfor er det heller ikke oplagt at de situationer i hvilke konstruktionen bedst fremmes i de to tilfælde ligner hinanden.

Når det drejer sig om at opfinde nye begreber bevæger en gruppe forskere (elever) sig ud i ukendt terræn, kun vejledt af deres iagttagelser og deres eksisterende begrebsapparat og forestillinger om verden. Drejer det sig derimod om at tilegne sig begreber og teorier der eksisterer som en del af den kulturelle virkelighed kan og bør man blive vejledt af en person der er fortrolig med disse begreber og teorier.¹

Nogle radikale konstruktivister som Ernst von Glasersfeld synes slet ikke at skelne mellem de to tilfælde, men opfatter blot lærerens korrektiv som en ydre begrænsning på linje med den eksperimentelle virkelighed:

The teacher cannot tell the students what concepts to construct or how to construct them, but by a judicious use of language they can be prevented from constructig in directions which the teacher considers futile ... (von Glasersfeld, 1995, p.184)

En kritik af von Glasersfelds radikale konstruktivisme kan findes hos Matthews (1998) og Suchting (1998).

Inddragelsen af (filosofisk) erkendelsesteori i den læringsteoretiske diskussion rummer altså mange faldgruber:

- Sammenkoblingen af lærings- og erkendelsesteori kan let ske på grundlag af overfladiske sproglige ligheder snarere end en reel grundlæggende overensstemmelse.
- En overfladisk, og mere eller mindre tilfældig, identifikation af en bestemt erkendelsesteoretisk/videnskabsteoretisk retning med en bestemt opfattelse af læring kunne forlede os til at gøre det formodede videnskabsteoretiske grundlag for undervisning til et afgørende bedømmelseskriterium for undervisningens kvalitet, og til at tro at læreren blot skal bibringes den ”rette” videnskabsteoretiske forståelse for at undervisningen kan blive bedre.
- Ved at postulere tydelige paralleller mellem videnskabsteoretiske holdninger og læringssyn, og dermed mellem den videnskabelige proces og læreprocessen, kommer man let til at se eleverne som en slags forskere der skal opdage verden, snarere end som elever der skal forstå en videnskab der er skabt gennem mere end tusind år. Man kan derved komme til at tro at kun skoleaktiviteter der ligner forskningsprocessen, fører til virkelig læring.
- Ekstreme, men populære erkendelsesteoretiske strømninger, som f.eks. at al viden er en ren social konstruktion, kan føre til tilsvarende holdninger i undervisningen: Uanset hvad eleverne i socialt samspil kommer frem til, er det deres viden, og skal respekteres som sådan.

De overvejelser der er gjort her, har didaktisk betydning. For det første må vi afklare om det at give mening til et eksisterende begrebsapparat kræver andre læringssituationer end konstruktionen af nye begreber der skal give mening til iagttagelser. Og i den sammenhæng må vi afklare om formålet med fysikundervisningen i skolen primært (eller udelukkende?) er at eleverne lærer at undersøge og få konsistent mening i deres omverden, eller om det (primært eller delvis) er at eleverne lærer at forstå og beherske dele af de centrale fysiske teorier. Helt kan man naturligvis ikke skille disse to ting ad, men det bør i hvert fald overvejes hvordan de skal vægtes.

Den almindelige fysiklærer (og fysiker i det hele taget) har som nævnt et meget sammensat og til dels selvmodsigende videnskabssyn, og med den ovenstående diskussion har vi prøvet at vise at der ikke er nogen entydig sammenhæng mellem erkendelsesteori og læringssyn og at der kan være alvorlige problemer ved at insistere på at en sådan sammenhæng eksisterer. I stedet for at hævde vig-

¹ Den same tankegang ligger i Vygotskys begreb om “den nærmeste udviklingszone” (Engeström, 1998)

tigheden af at fysiklærere ikke bare har en videnskabsteoretisk viden for at kunne undervise i den, men at de også lader deres undervisning i selve fysikken præge af denne viden, burde man måske acceptere lærernes snusfornuftige holdninger til videnskab som en udmærket baggrund for god undervisning. Så kunne kræfterne koncentreret om at udvikle lærernes indsigt i og forståelse for *læring*. Alle eksisterende erkendelsesteoretiske retninger kan sagtens og uden at det behøver at udløse en “kognitiv konflikt” hos læreren, leve sammen med f.eks. et konstruktivistisk læringssyn.

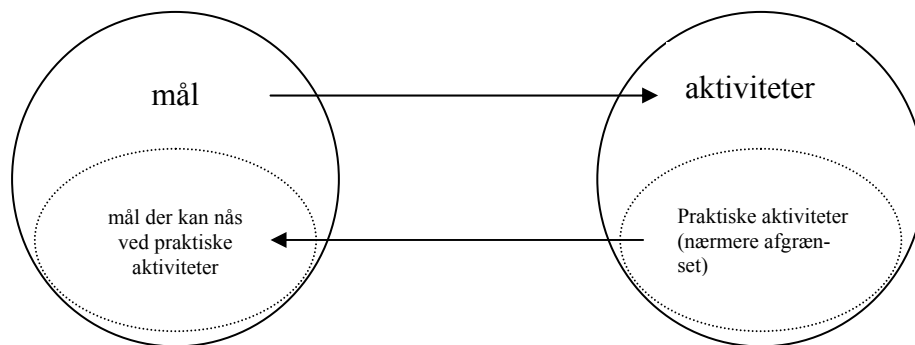
Det der her argumenteres imod er den påstand at læreres syn på elevernes *læring* i væsentligt omfang er styret af deres videnskabssyn. Det er derimod utvivlsomt rigtigt at forestillinger om fysikfagets egenart er påvirket af videnskabsteoretiske betragtninger. Og forestillinger om hvad faget fysik *er*, har naturligvis betydning for *hvad* der undervises i og til dels også på *hvordan* der undervises. Men spørgsmålet om *hvad* eleverne skal lære må adskilles fra spørgsmålet om hvordan de skal undervises og hvordan de – læringspsykologisk set – lærer.

5 Det praktiske arbejde i fysikundervisningen

5.1 Argumenter for praktisk arbejde

Praktisk arbejde kan opfattes som – og er naturligvis i praksis – blot én af mange aktiviteter man kan anvende i skolens fysikundervisning. Men det er ikke en hvilken som helst aktivitet, idet den også for de mange har fået karakter af konstituerende del af naturvidenskabelig undervisning i det hele taget. De pædagogiske målsætninger der kan knyttes til det praktiske arbejde er lige så varierede og sammensatte som de målsætninger der kan knyttes til fysikfaget som helhed. Hvis vi skal prøve at danne os et overblik over dette komplicerede felt af mulige målsætninger og deres indbyrdes sammenhæng, kan det være nyttigt at begynde med at overveje de argumenter der kan fremføres for at fysikundervisningen (og undervisningen i naturvidenskab i det hele taget) skal omfatte praktisk arbejde.

Problemstillingen er altså følgende: Hvilke pædagogiske mål i forhold til fysikfagets generelle målsætning kan man tænke sig opnået ved hjælp af det praktiske arbejde? Her skal vi selvfølgelig være opmærksomme på at forskellige typer af praktisk arbejde kan tjene forskellige pædagogiske formål. En didaktisk kortlægning af det praktiske arbejde kan altså begynde med, blandt undervisningsaktiviteter der kan tænkes at bidrage til at nå målene for fysikfaget som helhed, at gennemgå de praktiske aktiviteter. De praktiske aktiviteter undersøges altså ud fra hvilke af fysikfagets mål der kan forventes nået ved disse praktiske aktiviteter (figur 5.1).



Figur 5.1

5.2 Typer af mål for det praktiske arbejde

Forskningslitteraturen om det praktiske arbejde er omfattende. Et forsøg på at sammenfatte litteraturen på området (bl.a. undersøgelser der kortlægger læreres og forskeres holdninger til målene med praktisk arbejde) er gjort af Elizabeth Hegarty-Hazel (Hegarty-Hazel, 1990a). Hun når frem til seks hovedoverskrifter for målene med det praktiske arbejde:

Det første kan vi kalde et *færdighedsmål* (selv om ”apparatforståelse” naturligvis også har en videnskomponent):

1. Manipulative færdigheder og forståelse af apparater

Dernæst et mål der umiddelbart er et færdighedsmål, men som indebærer at en række vidensmål også forfølges:

2. *Øvelse i at tilrettelægge og udføre eksperimenter, frembringe data til analyse og fortolkning*

Der er to mål som vi kan kalde *vidensmål*, hvor det første ikke drejer sig om forståelse af videnskabens teoretiske indhold, men om forståelse af videnskabens natur – og som samtidig hænger sammen med færdighedsmålet i punkt 2:

3. *Frembringe forståelse af og erfaring med videnskabelig udforskning.*

Det andet vidensmål drejer sig om teoriforståelse og om at forbinde teori med erfaring:

4. *Introducere et nyt (teoretisk) område, give konkrete læringsoplevelser.*

Endelig er der to mål som kan betegnes *affektive* mål. Her sigter det første på holdninger der har direkte betydning for at man kan blive bedre til at foretage videnskabelige undersøgelser, altså nogle af de fire ovennævnte mål:

5. *Udvikle holdninger til det videnskabelige laboratorium, fantasi og kreativitet.*

Det andet affektive mål kan siges at være et mål i egen ret:

6. *Frembringe en følelse af succes, motivation og kontrol indenfor videnskab.*

Punkt 5 bør måske derfor rettelig kaldes et middel snarere end et mål – med mindre fantasi og kreativitet opfattes som almene egenskaber der bl.a. kan fremelskes i naturvidenskabsundervisningens praktiske aktiviteter og derefter overføres til andre sammenhænge. Dette spørgsmål skal vi vende tilbage til.

En målsætning for det praktiske arbejde som ofte fremføres (se f.eks. Millar 1991), er opøvelsen af evnen til præcis og omhyggelig *observation*. Den kan måske siges at være indeholdt i punkt 2 herover. Men observation foregår jo ikke kun i sammenhæng med eksperimenter, og evnen til omhyggelig og kritisk observation opfattes ofte som et selvstændigt og vigtigt mål i naturvidenskabsundervisningen.

Argumentet for det praktiske arbejde i fysikundervisningen er altså at det i sine forskellige former kan bidrage til at nå de ovennævnte mål. For opfyldelsen af nogle af målene (1 og 2) synes det praktiske arbejde at være uomgængeligt. Hvad angår opnåelsen af målene 3 og 5 forekommer det rimeligt at det praktiske arbejde må være en vigtig ingrediens i en undervisning der forfølger disse mål. Endelig er det for målene 4 og 6 i det mindste tænkeligt at andre aktiviteter lige så godt som - eller måske endda bedre end – det praktiske arbejde kan opfylde disse mål.

Jerry Wellington (1998) har prøvet at samle de argumenter der i tidens løb er blevet fremført for at praktisk arbejde skal indgå i skolernes naturvidenskabelige undervisning efter mere overordnede principper. Han finder at de kan placeres under en af tre hovedoverskrifter:

- 1) Færdigheds- eller kompetenceargumenter
- 2) Kognitive argumenter og
- 3) Affektive argumenter.

De er helt sammenfaldende med mål opstillet af Vincent Lunetta og Avi Hofstein (Lunetta & Hofstein, 1991):

- *Færdigheds- eller kompetenceargumenter.* Der er her tale om argumenter der er baseret på antagelsen om det praktiske arbejde er med til at fremme tilegnelsen af dels en række nyttige manuelle færdigheder, dels en række sammensatte kompetencer der har at gøre bl.a. med evnen til kritisk iagttagelse og evnen til at drage slutninger. Endvidere formodes disse kompetencer ofte at være generaliserbare, altså at kunne overføres til og bruges på andre områder end skolelaboratoriets domæne.
- *Kognitive argumenter.* Disse argumenter drejer sig om det praktiske arbejdes formodede rolle i udviklingen af elevernes forståelse af fysikkens teori og begreber. Argumenter for det

praktiske arbejdes betydning for elevernes forståelse af ”videnskabelige metoder”, hypotesedannelse og videnskabens ”natur” kan også placeres under denne rubrik.

- *Affektive argumenter.* Disse argumenter har en lidt anden karakter end de to foregående. Der er tale om argumenter hvis kerne er en påstand om at det praktiske arbejde har en egenskab der gør det særlig velegnet til at bidrage til opnåelsen af fysikundervisningens overordnede mål (herunder de mål der ligger implicit i de to ovennævnte kategorier af argumenter). Den egenskab der tænkes på, er det praktiske arbejdes formodede evne til at motivere og skabe entusiasme hos eleverne. Der er dog også argumenter der henviser til det affektive, som har en mere selvstændig karakter. Det er argumenter der bygger på påstande om at det praktiske arbejde er særlig velegnet til fremme en positiv holdning til naturvidenskab og en følelse af selvstændighed og overblik.

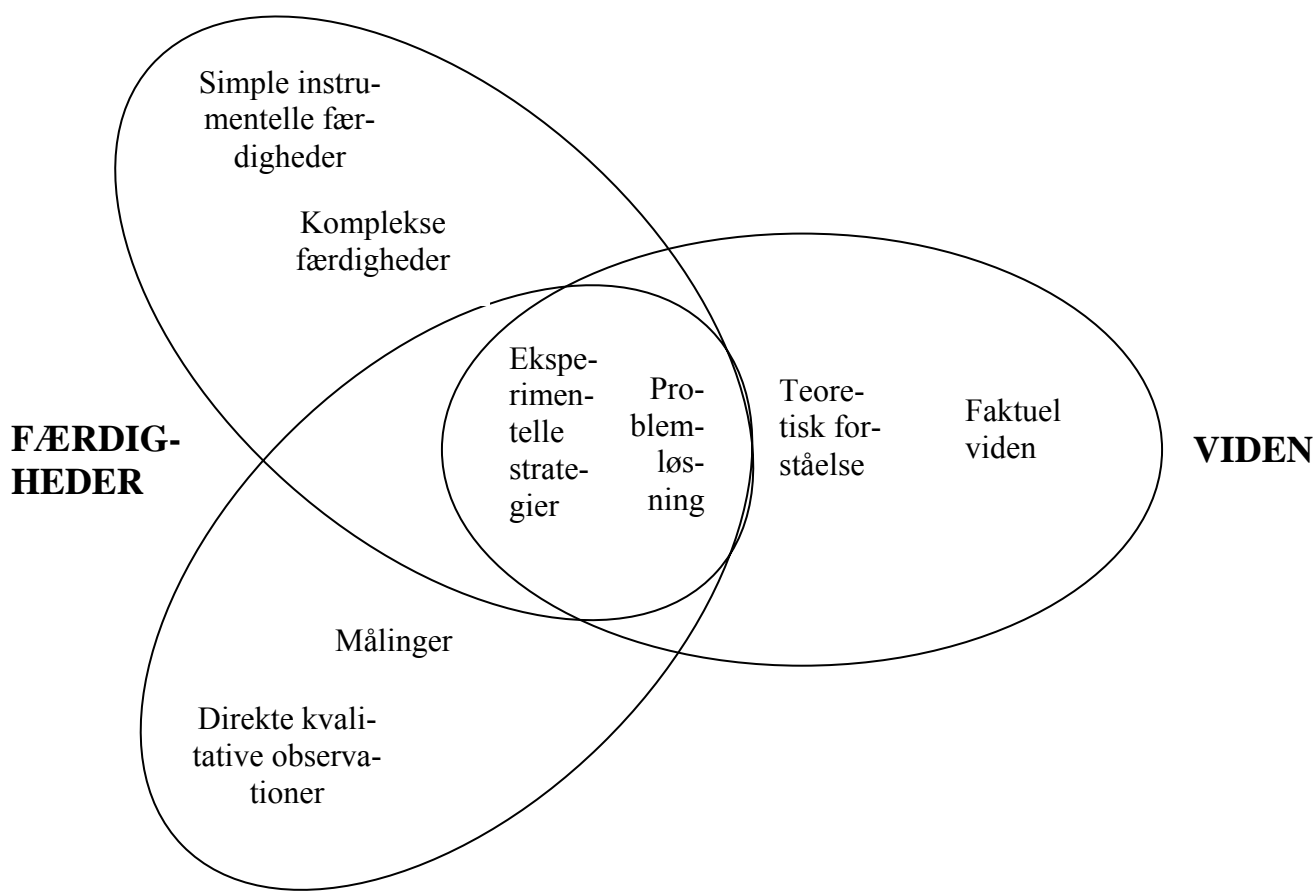
Vi kan se at Hegarty-Hazels klassifikation dækkes af disse overordnede argumenter, idet 1 og 2 er færdighedsmål, 3 og 4 kan betegnes som kognitive mål og 5 og 6 er mål der har med det affektive at gøre.

En kort bemærkning om brugen her af kompetencebegrebet. Der har i de senere år fundet en intens debat sted i Danmark om ”kompetencer”. (Se f.eks. Dolin, Krogh og Troelsen, 2003). Brugen af ordet spænder fra kompetencer i betydningen ”noget man kan” snarere end ”noget man ved”, til en betydning hvor ordet ”kompetence” kun bruges om noget meget generelt (og vagt): ”Kreativitet”, ”samarbejdsevne”, ”omstillingsparathed”. I den matematiske og naturvidenskabelige fagdidaktiske debat har ordet fortrinsvis været brugt i den førstnævnte betydning. Det er også den betydning der bruges her, idet jeg dog vil skelne mellem ”færdigheder” som er simple, og ”kompetencer” som er mere sammensatte (f.eks. evnen til at kombinere flere ”færdigheder”).

5.3 Forholdet mellem de forskellige mål

Der kan være grund til at knytte en kritisk bemærkning til betegnelsen ”kognitive mål” fordi det ikke er indlysende hvordan ”det kognitive” skal afgrænses og på hvilken måde forskellige kompetencer afhænger af menneskets kognitive apparat. Der synes her at være tale om en problematisk sammenblanding af begrebsparrerne ”kognitiv”-”affektiv” og ”deklarativ”-”procedural”. En mere frugtbar skelnen end mellem færdighedsmål og kognitive mål ville være mellem hvad man kunne kalde færdighedsmål og vidensmål. Med ”viden” menes her dels deklarativ viden, altså viden der kan formuleres sprogligt, men også viden der f.eks. danner baggrund for at man kan løse opgaver. Der er altså tale om en tilegnelse af fysikkens teoretiske univers. Færdigheder skal tilsvarende ikke forstås snævert som automatiserede manuelle færdigheder (at kunne tænde for en bunsenbrænder eller aflæse et termometer) eller simple observationer (at kunne se at to forskellige stålkugler falder lige hurtigt), men også f.eks. evnen til at bruge mere kompliceret apparatur (f.eks. dataopsamling med computer) eller beherskelse af variabelkontrol.

Færdigheder (simple instrumentelle færdigheder såvel som observationsevne) kan derfor ikke skilles helt fra viden. På figur 5.2 herunder er vist hvordan de spiller sammen i eksperimentelle aktiviteter. Hvor vi i hver ende har henholdsvis simple færdigheder og forskellige former for faktisk viden (det kan være at måle en elektrisk spændingsforskel på den ene side, og at vide at det der bevæger sig i en strømførende elektrisk ledning kaldes elektroner på den anden), har vi ind mod midten mere komplicerede færdigheder og viden (det kan være at opstille et elektrisk kredsløb til måling af sammenhængen mellem strøm og spændingsforskel over en komponent på den ene side, og viden om begreberne strømstyrke og spænding og deres forbindelse med andre teoretiske begreber som f.eks. energi og ladning på den anden). I sidste ende glider de to typer af mål over i hinanden, f.eks. når det drejer sig om at opstille hypoteser på teoretisk grundlag og afprøve dem eksperimentelt.



Figur 5.2

5.4 Mål for det praktiske arbejde i forhold til fysikfagets generelle formål

Hvordan hænger de beskrevne mål for det praktiske arbejde sammen med de generelle mål man kan opstille for fysikundervisningen i skolen? Vi kan tage udgangspunkt i Derek Hodsons ofte citerede trepunktskarakteristik af formålet med naturvidenskabelig undervisning i skolen:

- *Learning science*
- *Learning about science*
- *Learning to do science*

(Hodson, 1993, 1998). I forhold til denne beskrivelse falder punkt 4 i Hegarty-Hazels klassifikation ind under *learning science*, punkt 3 (og måske i nogen grad punkt 4) under *learning about science*, mens resten af punkterne (mest oplagt punkt 1 og 2) falder ind under *learning to do science*. Hvad vi skal lægge mærke til her, er at de opstillede mål for det praktiske arbejde synes at dække hele spektret af formål med undervisningen i de naturvidenskabelige fag. Der er altså ikke nogen del af disse fags overordnede målsætning som man ikke kan forestille sig at det praktiske arbejde bidrager til. Selv om det ved opstillingen af målene ikke påstås at der ikke findes andre aktiviteter der lige så godt (eller bedre) kan bidrage til de samme mål, og selv om det ikke påstås at alt hvad der kan tænkes på under Hodsons hovedmål også kan betragtes som mål for det praktiske arbejde, så har vi fået

en antydning af at det måske ikke vil være frugtbart kun at anskue denne aktivitet som et blandt mange pædagogiske tiltag i undervisningen. Den synes *på samme tid* at være et pædagogisk tiltag og en del af selve faget, som vi har fremført i Kapitel 3.

5.5 Færdighedsperspektivet

Vi vil nu prøve nøjere at gennemgå målene, idet vi vil fokusere på forskellene i målenes kompleksitet såvel som på sammenhængen mellem dem, sådan som det fremgår af figur 5.2. Da færdigheds- og videnselementerne, som vi ser, flyder sammen i de komplekse kompetencer i midten af figuren, kan vi nærme os disse komplekse kompetencer enten fra færdighedssiden eller fra videnssiden. Vi vil gøre begge dele, og så til sidst se på hvilket lys de to tilgange kan kaste på målsætningerne for det praktiske arbejde. Vi begynder med færdighedssiden og ser først på *evnen til at observere*.

5.5.1 Observationer

Målet ”at kunne observere omhyggeligt og med omtanke” er ikke let at beskrive præcist. For så vidt som det overhovedet kan opfattes som et undervisningsmål, kan det opfattes som simpel opdragelse til at være omhyggelig, se godt efter og ikke overse noget. Altså langt ude til venstre på i vores model. Problemet er bare at i fysik, og i naturvidenskab i det hele taget, *skal* man overse noget. Videnskabelige observationer (og formentlig alle observationer) er i høj grad også udvælgelsesprocedurer, hvor man ud fra et bestemt teoretisk perspektiv beskriver udvalgte træk ved en begivenhed eller et fænomen.

På den anden side er det en kendt sag, som vi allerede har diskuteret i kapitel 3, at observationer er teoriladede, således at det vi ser er påvirket af de forestillinger og forventninger vi har i forvejen i forhold til det pågældende fænomen. At dette også gælder for elever i fysikundervisningen findes der talrige eksempler på (Gunstone & White, 1981). Som Rosalind Driver har formuleret det:

”Looking at’ is not a passive recording of an image like a photograph being produced by a camera, but it is an active process in which the observer is checking his perceptions against his expectations”. (Driver, 1983, p.11)

5.5.2 Målinger er observationer

Observationer drejer sig ikke bare om at iagttage og med ord at beskrive et fænomen. Også målinger må betragtes som observationer. Observationen af en elektrisk pære der lyser, er, når det kommer til stykket, en sammensat observation: hvad er hele situationen i kredsløbet, hvordan er forholdene når pæren lyser kraftigt, hvordan er de når den lyser svagt? Bare at observere at pæren lyser, er jo ingen virkelig observation (og i hvert fald ingen *videnskabelig* observation) med mindre den er forbundet med andre observationer eller anden viden: er kontakten åben eller lukket, er der en spændingskilde i kredsløbet, hvor i kredsløbet befinder pæren sig osv. En iagttagelse må systematiseres på en eller anden måde for at kunne kaldes en observation. Måler man strømstyrken gennem en pære ved forskellige spændinger, består observationen af en konstatering af hvordan sammenhængen nu var mellem strømstyrke og spænding. Har man ikke lagt mærke til hvilke værdier for strømstyrken der hører sammen med hvilke værdier for spændingen, har man ikke observeret omhyggeligt. Men hvorfra ved man at netop denne sammenhæng er væsentlig (snarere end f.eks. hvilken spænding der giver en strømstyrke over 1 Ampere)? Det ved man på baggrund af det spørgsmål der er stillet i forbindelse med observationen, et spørgsmål som enten eleven eller læreren har stillet, men som under alle omstændigheder er stillet på baggrund af teoretiske forestillinger.

Som eksempel på hvad der er involveret i en observation kan vi referere et eksempel givet af Richard Gunstone (Gunstone 1991). En gruppe elever (i dette tilfælde lærerstuderende) bliver under-

vist i elektriske kredsløb. Ved hjælp både af små praktiske øvelser og af diskussioner får de gennemgået begreberne strømstyrke og spænding og modeller for elektriske kredsløb. De bliver præsenteret for Ohms lov, og det bliver gjort klart, både mundtligt og på skrift, at denne lov ikke gælder i enhver situation. Eleverne gennemfører så en praktisk øvelse hvor de skal variere spændingen over en elektrisk pære, måle tilhørende strømstyrker, afbilde resultaterne grafisk og drage en konklusion. Målepunkterne kommer til at danne en kurve der i lærerens øjne krummer. De fleste af elevernes grafer er imidlertid rette linjer. Enten tegner de ”den bedste rette linje” gennem punkter der tydeligt ligger på en krum kurve, eller de ignorerer punkter for spændinger hvor pæren ikke lyser kraftigt. Deres konklusion er at de har ”verificeret Ohms lov så vidt det lader sig gøre ved hjælp af dette udstyr”.

Tre pointer er vigtige her.

- For det første: at observere, i dette tilfælde at observere en sammenhæng, involverer fortolkning.
- For det andet: fortolkningen sker på baggrund af teoretiske forestillinger og forventninger. I dette tilfælde er Ohms lov den teoretiske ramme for fortolkningen (som allerede diskuteret i afsnit 3.5).
- For det tredje: skolesammenhængen er en væsentlig del af den baggrund der har indflydelse på fortolkning og dermed observation. I dette tilfælde gav nogle af eleverne i den efterfølgende diskussion udtryk for at de følte sig snydt – det var rimeligt på dette stadium af undervisningen, hvor de var blevet præsenteret for Ohms lov, at forvente en øvelse hvor de skulle eftervise Ohms lov. Det var de blevet vænnet til gennem hele deres skolegang.

5.5.3 Variable

I fysik involverer de fleste observationer at man identificerer og bestemmer værdier for variable. Variabelbegrebet er en kilde til betydelige læringsproblemer for elever i skolen, både i matematikundervisningen og i de naturvidenskabelige fag.

De rent matematiske vanskeligheder har at gøre med den abstraktion der kræves for at se et symbol som en pladsholder for en gruppe af størrelser (det kan f.eks. være talstørrelser eller funktioner). Man skal f.eks. kunne operere med et symbol som om det var ét tal – *samtidig* med at man skal holde sig for øje at det på en eller måde repræsenterer mange tal.

Endvidere skal man kunne operere med *sammenhænge* mellem variable (funktioner). Én sammenhæng (funktion) repræsenteres af mange (i reglen uendelig mange) par af tal. For at kunne tale om ”en sammenhæng” mellem to variable skal man altså kunne se denne som et generelt *princip*, dvs. én generaliseret proces der knytter variabelpar sammen – ikke mange forskellige processer (Sfard 1991).

I fysikken skal eleverne operere med sammenhænge mellem variable hvis værdier enten er givet ved måling eller ved udregning på grundlag af målte størrelser. Oven på de ”matematiske” vanskeligheder lægges der derfor yderligere nogle lag af abstraktion (vi ser her bort fra den vanskelighed der ligger i at fysiske variable står for et tal *og* en enhed – en pointe de færreste gymnasieelever virkelig når at fatte).

Især to faktorer er bestemmende for hvilke vanskeligheder elever møder i forbindelse med håndteringen af variable i naturvidenskab. For det første *antallet* af variable der skal håndteres samtidig. For det andet *typen* af variable. Her kan vi med Gott og Duggan (Gott & Duggan, 1995) skelne mellem kontinuerte og diskrete eller kategoriske variable. Hvis f.eks. fænomenet der skal arbejdes med er et frugtbatteri (en spændingskilde bestående af en frugt med to elektroder af forskellige metaller mellem hvilke der opstår en spændingsforskel), har vi de diskrete variable ”hvilken frugt” og ”hvilke metaller”, mens spændingen, afstanden mellem elektroderne og hvor dybt de er stukket ned i

frugten er kontinuerte variable. Det er klart at jo flere variable der er involveret i en problemstilling, jo sværere er den. Det har imidlertid også betydning om der er tale om diskrete eller kontinuerte variable. Undersøgelser i England (reference: Gott & Duggan) har vist at det normalt er lettere at overskue kategoriske uafhængige variable end kontinuerte. De kunne imidlertid ikke afgøre hvilket af de to træk i problemets variabelstruktur – få eller mange variable på den ene side, diskret eller kontinuert på den anden – der har størst betydning for sværhedsgraden. Variabelstrukturen i problemer med højst to uafhængige variable kan klassificeres efter fire typer, vist i tabel 5.1.

Tabel 5.1

Type	Uafhængig variabel 1	Uafhængig variabel 2	Afhængig variabel	Eksempel
1	diskret		kontinuert	Hvilken frugt giver højest spænding?
2	kontinuert		kontinuert	Hvordan afhænger spændingen af afstanden mellem elektroderne?
3	diskret	diskret	kontinuert	Afhænger spændingen af metallet, af frugten eller af begge?
4	kontinuert	kontinuert	kontinuert	Hvordan afhænger spændingen af afstanden mellem elektroderne og af hvor dybt de er stukket ned?

Som eksempler har vi brugt problemer med udgangspunkt i frugtbatteriet (Gott & Duggan, 1995, p.48). Beherskelse af type 4 repræsenterer utvivlsomt et højere niveau en type 1, men det er uklart hvordan type 2 og type 3 skal placeres i taksonomien.

At det ofte er vanskeligere at arbejde med kontinuerte end med diskrete variable gælder især for den uafhængige variabel fordi eleverne selv skal vælge værdier for denne variabel. Eleverne i de engelske APU- og NCC-undersøgelser (Ref. Gott & Duggan), som var 13 og 15 år, valgte ofte at opfatte temperaturen som en diskret variabel (varmt eller koldt) når de skulle undersøge hvordan noget afhænger af temperaturen. Den meget udbredte fejl at have en "ulineær" skala på 1.aksen i grafiske afbildninger af måleresultater kan have noget at gøre med tendensen til at opfatte den uafhængige variabel som diskret. De anvendte værdier anbringes med konstante mellemrum selvom der ikke er en konstant forskel mellem dem.

Endelig er det vigtigt ikke at glemme i hvor høj grad identifikation og forståelse af variable hænger sammen med teoretisk forståelse. Mange variable er afledt af to andre variable (f.eks. er hastighed afledt af afstand og tid, ofte på en kompliceret måde, f.eks. hvis hastigheden skal aflæses ud fra en tid-sted-graf). Nogle variable kan ikke kontrolleres og optræder derfor ikke som uafhængige variable. Ofte skyldes det at de altid afhænger af andre variable på kompliceret måde (via teoretiske sammenhænge, altså formler). Et eksempel på dette er energi.

5.5.4 Måling og data

Som vi tidligere har diskuteret, er "måling" ikke noget simpelt begreb. Her skal vi se på sammenhængen mellem målinger og konklusion/vurdering. Forståelse af måleproceduren lader sig ikke skille fra forestillinger om hvad målingen skal fortælle. Dermed lader den sig heller ikke skille fra resultatet af målingen (*data*), eller fra de måder hvorpå data repræsenteres (f.eks. grafer). Enhver måling har et formål og en betydning. Den tjener til at klarlægge et sagsforhold, afgøre en tvivl, bekræfte en forventning, kort sagt, fortælle noget. Det afgørende er hvad der fortælles, og om det

der fortælles er overbevisende. Målinger afsat i en graf skal ikke bare fortolkes (som i eksemplet med eleverne der skulle måle strøm og spænding over en pære, som vi beskrev tidligere), grafen skal også bruges til at overbevise andre (Ohms lov gælder/gælder ikke!). En del af den kompetence der er knyttet til ”måling” og ”databehandling” har at gøre med denne forståelse af formål, både for selve målingen og for repræsentationen af de data der kommer ud af målingen – repræsentationen skal fortælle noget meningsfuldt om målingen.

5.5.5 Hvad målinger fortæller

Det som data har at fortælle, kan have meget forskellige former. Vi kan f.eks. spørge hvilken betydning de har i forhold til det vi ved i forvejen.

En bestemmelse af Plancks konstant eller af elektronens specifikke ladning eller af tyngdeaccelerationen fortæller os måske noget om universet eller om de store universelle teoriers styrke. (Det kan godt være kedelige målinger som ikke siger elever noget, men det er ikke pointen her). Pointen er at disse målinger ikke fortæller noget om den konkrete situation vi befinder os i. Der er (i hvert fald for de to første målingers vedkommende) tale om universelle konstanter. Vi har allerede i afsnit 3.9.2 set hvordan dette kan sammenlignes med Kuhns begreb om paradigmeartikulering, målingerne præciserer og konkretiserer så at sige de generelle love i kvantemekanikken og Newtons gravitationsteori.

Hvis vi derimod måler resistiviteten for et materiale, så er vi nærmere ved at have fået noget at vide om vores specifikke situation, for der findes jo mange materialer. Hvad tyngdeaccelerationen angår, så skal man enten være bevidst om at den er forskellig på forskellige steder, eller måske opfatte målingen som en måling af vor klodes masse, for at målingen kan få en betydning svarende til betydningen af en resistivitetsmåling.

Endelig kan man tænke sig en måling af hvor højt en hjemmebygget raket (måske en plasticflaske med lidt vand og luft under tryk) når op når den bliver fyret af. Det kan man ikke slå op i en tabel. Denne måling fortæller noget om denne helt specifikke situation. Udover at en bevidsthed om forskellen mellem de historier der fortælles af disse forskellige målinger, kan være vigtig for elever, er det også nyttigt for læreren at være opmærksom på dette. Det kan være af stor psykologisk betydning om eleven føler at det han måler er et resultat alle alligevel kendte i forvejen, eller om det er ”hans” alene. Mange målesituationer kan ses i enten det ene eller det andet perspektiv (som i eksemplet med tyngdeaccelerationen), eller de kan med ganske få ændringer gives et andet perspektiv. Man kan f.eks. spørge om man skal lade en elev bestemme smeltevarmen for is ved at lade en klump is smelte i noget vand – eller om man skal lade en elev forudsige sluttemperaturen når man lader en klump is smelte i noget vand. Smeltevarmen kan man slå op, sluttemperaturen er enestående for situationen. Selv om målingerne og beregningerne i de to tilfælde er fuldstændig ens, er den ramme de er sat ind i forskellige, og dette kan få indflydelse på elevens motivation og holdning til opgaven i øvrigt.

5.5.6 Instrumentelle færdigheder

På færdighedssiden har vi også de rene instrumentelle færdigheder, altså f.eks. at kunne bruge simple instrumenter, at kunne opskrive måleresultater i en tabel osv. Formålet kan enten være at sådanne manipulative færdigheder vil være nyttige senere i livet (f.eks. kan man have glæde af at kunne bruge et multimeter), eller at beherskelsen af disse færdigheder er en forudsætning for at kunne gennemføre aktiviteter i skolelaboratoriet og dermed for at forfølge andre mål end de rent instrumentelle. Det er vigtigt at gøre sig klart hvad det er for en type færdighed der her er målet. Det der er målet er en implicit eller, med Polanyis udtryk, tavs viden (Polyanyi, 1958). Der er tale om færdigheder som, når de er erhvervet, kun i meget begrænset grad involverer bevidste kognitive pro-

cesser. Vi taler i psykologien også om procedural viden, og selv om der i udgangspunktet er tale om deklarativ viden (vi forklarer hvordan instrumentet skal bruges) er målet den implicite procedurale viden, altså den situation hvor eleven ikke mere tænker over – og måske dårligt er i stand til at forklare – hvorfor hun gør hvad hun gør (Masters & Nott, 1998).

Det kan her nævnes at disse færdigheder, også når de tilsyneladende er automatiseret, involverer kognitiv aktivitet, det går bare hurtigere end for begynderen. (von Aufschnaiter & Welzel, 1999). Vi vender tilbage hertil i afsnit 6.10.

Bevæger vi os længere ind på midten kommer vi til det som Robin Millar (Millar, 1991) har kaldt *inquiry tactics*, hvilket vi måske kunne oversætte med undersøgelsesmetoder eller strategielementer for undersøgelser. Det drejer sig om at kunne tegne en graf og se at punkterne ligge næsten på en ret linje, at have en fornemmelse for hvornår målinger bør gentages, indentificere variable der skal måles eller ændres osv. Millar taler om en værktøjskasse som kan bruges i planlægning og udførelse af laboratoriarbejde af forskellig slags, herunder eksperimentelle undersøgelser. Vi vender tilbage til dette i mere detalje i afsnit 5.7.

Vi nærmer os altså det mål der i figur 5.2 kaldes beherskelsen af eksperimentelle strategier. Men før vi beskriver disse nærmere, vil vi gå over til vidensenden af figur 5.2 og mere direkte behandle de mål der kan stilles op for det praktiske arbejde, som drejer sig om at opnå en bedre teoretisk forståelse af fysikken.

5.6 Vidensperspektivet

Ved viden i fysik vil vi forstå en indsigt i dele af fysikkens begreber og teorier. Denne viden omfatter forståelse af de konkrete sammenhænge hvori disse teorier kan anvendes og en evne til selv at kunne genkende, opstille og løse problemer af fysikteoretisk art.

5.6.1 Illustrationer

Den mest direkte måde hvorpå man kan tænke sig praktisk arbejde bidrage til at eleverne lærer teorien og dens begreber, er gennem eksperimenter eller demonstrationer der direkte illustrerer bestemte begreber og teoretiske sammenhænge. Her er målet ikke at praktiske aktiviteter skal stimulere elevens egen konstruktion af disse begreber og sammenhænge, og slet ikke at eleven selv skal ”opdage” begreberne (afsnit 5.6.5). Meningen er at eleven skal forstå begreberne ved at få dem ”fremvist”. Det praktiske arbejde bliver så at sige brugt som *kommunikationsstrategi* (Millar, 1998).

Peter Fensham har påpeget hvordan hovedparten af de praktiske laboratorieøvelser især i 60’erne og 70’erne havde til formål at introducere og illustrere teoriens logiske struktur. De fænomener der blev arbejdet med, blev anskuet ud fra denne synsvinkel, således at

”Just enough factual properties of the phenomena were to be included to provide a minimal logical basis for the introduction of the concepts at their various levels of qualitative and quantitative levels of abstraction. The role of laboratory work was to engage the students as often as was practicable in experience of these factual properties, which were to be presented in their logical sequence, so as to be consistent with the concepts and their definitions.” (Fensham, 1990).

Rødderne til ideen om på denne måde at gøre det praktiske arbejde til et pædagogisk hjælpemiddel i undervisningen af de teoretiske principper skal nok findes flere steder. En kilde er den centrale betydning en formidling af fysikkens sammenhængende begrebsstruktur i perioder har haft. Det gælder i særlig grad i 60’erne og 70’erne, hvor bl.a. den af den amerikanske Physical Science Study

Committee (PSSC) fremstillede en lærebog i ”begrebsfysik” (Sikjær (red.) 1964) som i forskellige versioner blev anvendt i mange lande, også i Danmark.

En anden kilde er nogle af den logiske positivismes grundantagelser om videnskabelige teories struktur og forhold til erfaringen – grundantagelser som har haft stor indlydelse, især på opfattelsen af fysik (Staffansson 1972):

1. *Begreber er defineret på grundlag af observationer.* En af disse grundantagelser er at de videnskabelige begreber i sidste ende kan føres tilbage til observationer, dvs. at definitionen af et begreb til syvende og sidst er operationel. F.eks. er masse defineret ved de måleoperationer man skal gennemføre for at fastslå en genstands masse. Tilsvarende er begrebet acceleration defineret ud fra begreberne tid og hastighed, som igen er defineret ud fra tid og sted, der er defineret ud fra funktionen af et ur og brugen af en målestok. Et meget abstrakt begreb som energi kan defineres på basis af andre begreber, f.eks. defineres kinetisk energi ud fra begreberne masse og hastighed, osv.
2. *Fysiske love verificeres ved observation.* En anden grundlæggende ide er at fysiske love testes ved at udlede observationssætninger af lovene og sammenligne disse med faktiske observationer. F.eks. kan vi af den universelle gravitationslov og Newtons 2.lov udlede at alle legemer falder lige hurtigt (når vi ser bort fra luftmodstand). Dette kan testes.

Den pædagogiske konsekvens som man kan drage af disse opfattelser kan fremstilles således:

Den rette måde at definere en fysisk størrelse overfor eleverne vil være så vidt muligt at vise dem den operationelle definition – altså hvordan man ved måling fastlægger værdien af denne størrelse. En række af øvelser kunne så f.eks. bestå i kalorimeterforsøg med vand og andre stoffer (til introduktion af energi og varmekapacitet), forsøg med elektrolyse (til introduktion af strømstyrke), elektrisk opvarmning af vand (til introduktion af spændingsforskel). I reglen lader det sig ikke gøre at demonstrere sammenhængen mellem begrebsdefinitionerne uden logiske huller, men selv om nogle trin må springes over og selv om der til dels må arbejdes med måleinstrumenter der er black-bokse, så er den ideelle målsætning den fuldstændige gennemgang (også i praksis) af definitionssystemet. Dette er f.eks. en del af baggrunden for den tidligere så udbredte undervisning i måleinstrumenters funktionsmåde.

På samme måde som det anses for afgørende at begrebsdefinitioner så vidt muligt indføres i forbindelse med virkelige målinger, må også teoriens centrale konstanter frembringes i laboratoriet – ikke bare postuleres. Så mange af dem som muligt skal måles af eleverne: tyngdeaccelerationen, helst også den universelle gravitationskonstant, elektronens specifikke ladning, Plancks konstant, osv.

Endelige skal de centrale love verificeres ved målinger. Eleverne udfører ikke bare en øvelse eller et eksperiment hvor de skal bruge Newtons 2.lov. Øvelsen hedder ”Newtons 2. lov”. De konsekvenser der deduceres af loven og som bliver afprøvet, skal ligge så tæt op ad loven som muligt – de skal helst være identiske med loven. Derfor konstruerer man luftpudebaner hvor gnidningsmodstanden er forsvindende lille. Dermed kan distraherende mellemlid mellem lovens generelle formulering og beskrivelsen af den eksperimentelle situation elimineres eller reduceres til et minimum, således at aktiviteterne med luftpudebanen kan opfattes som en repræsentation af den lov der skal læres: Newtons 2. lov.

5.6.2 Pædagogiske begivenheder

Det praktiske arbejde kan bruges som illustration af teoretiske ideer på mange måder. Eksperimenter og øvelser i laboratoriet kan bruges som *modeller* for teorier eller teoretiske beskrivelser af virkeligheden. Hvor eksperimenter som afprøver en hypotese eller teori kan beskrives som *epistemiske* begivenheder, er der her snarere tale om *pædagogiske* begivenheder. De fremviser eller modellerer teoretiske forhold for eleven. Robin Millar (Millar, 1998) har diskuteret betydningen af at se prak-

tisk arbejde som pædagogiske begivenheder, og vi vil her gennemgå nogle af de samme pointer, illustreret ved hjælp af eksempler fra gymnasiefysikken.

Der kan være tale om *konkrete modeller*, f.eks. en model der skal bidrage til forståelsen af hvorfor himlen er blå og bliver rød ved solnedgang: Lidt mælk blandes i et kar med vand, og man belyser karret fra siden med en lampe. Ser man igennem karret mod lyset, er farven rød, ser man fra siden er vandet i karret blåligt. Meningen med en sådan demonstration er naturligvis ikke at *bevise* at forklaringen på himlens farver er korrekt. Det er jo langt fra givet at atmosfæren kan beskrives på samme måde som vand med mælk. Og at den forklaring læreren giver på fænomenet i fysiklokalet er rimelig, er i lige så høj grad som forklaringen på den blå himmel noget eleverne må basere på lærerens autoritet. I virkeligheden har man nu blot to fænomener med en postuleret forklaring i stedet for ét. Umiddelbart kan man altså ikke sige at eleverne er blevet klogere. Meningen er imidlertid at give eleverne et eksempel på et analogt fænomen, en model, og dermed mulighed for at danne nogle mentale billeder i forbindelse med forklaringen på et naturfænomen (himlens farve), og at fortælle eleverne at et sådant naturfænomen kan forklares ved generelle optiske principper.

5.6.3 Diskutere et fænomen ud fra en teoretisk model

Der kan også være tale om at en praktisk øvelse skal give mulighed for at tænke på og diskutere et fænomen indenfor rammerne af en teoretisk model. Hvis opgaven er at undersøge isoleringsevnen for rockwool ved at bygge en isoleret kasse og varme den op med en pære placeret inden i kassen, er det pædagogiske formål ikke først og fremmest at finde frem til en værdi for isoleringsevnen. Meningen er at give eleverne lejlighed til at opbygge en teoretisk model for denne situation hvor der tilføres energi samtidig med at der sker en varmestrøm gennem kassens sider, og give dem mulighed for at diskutere situationen inden for rammerne af denne model. En del af baggrunden for at postulere at en sådan aktivitet kan tjene til udvikle elevernes teoretiske forståelse er at der er et samspil mellem mentale billeder af objekter, handlinger i forbindelse med disse objekter og teoretiske modeller der har forbindelse til disse handlinger (Solomon 1998, Polanyi 1958).

5.6.4 Frembringe et fænomen

Formålet med mange praktiske aktiviteter er at de skal *frembringe et fænomen* i den betydning af begrebet der blev beskrevet i afsnit 3.6. Det gælder også de netop beskrevne, men det bliver måske tydeligere med et andet eksempel: Forsøg med den fotoelektriske effekt. Ved hjælp af en indviklet opstilling som det er svært for eleverne at gennemskue (eller ved hjælp af en lille lukket boks hvis indhold forbliver et postulat), skal de med en bestemt procedure måle værdien af den spændingsforskel som netop kan bremse strømmen af elektroner fra en metaloverflade der bestråles med lys. Dette gentages med lys med forskellige bølgelængder, hvilket giver mulighed for at bestemme Plancks konstant og løsrivelsesarbejdet for metallet. Hvad kan nu tænkes at være det pædagogiske formål med dette forsøg? Ét mål kan selvfølgelig være at vise hvordan man kan bestemme en vigtig naturkonstant (Plancks konstant), hvad der, som vi har set, er muligt at betragte som et betydningsfuldt mål i sig selv.

Men her vil vi rette opmærksomheden mod en anden mulighed. Det er klart at der ikke kan være tale om en afprøvning og verificering af teorien for den fotoelektriske effekt. Hvis målingerne ikke resulterer i de rigtige værdier (hvad de ofte ikke gør), får dette ingen til at tvivle på teorien – ikke bare på grund af forsøgets uigennemskuelige karakter, men også fordi vores accept af teorien er baseret på langt mere omfattende diskussioner og undersøgelser i det videnskabelige samfund. Det ville (som diskuteret i afsnit 2.7) være helt urimeligt og pædagogisk ganske forfejlet bare at *antydte* overfor eleverne at der er tale om en efterprøvning af teorien. Men betyder det så også at forsøget slet ikke kan siges at levere nogen støtte til teorien om den fotoelektriske effekt? Nej, så simpelt forholder det sig ikke. Dette forsøg er vanskeligt at stable på benene, og mens et fejlslagent forsøg

ikke kan true vores tro på teorien, vil vi, når det lykkes, føle at teorien har ”præsteret noget”. Vi har ikke blot *observeret* et *eksisterende* fænomen, men *frembragt* ét i overensstemmelse med teorien, og dermed demonstreret teoriens styrke overfor eleverne. Millar peger også på en anden vigtig pointe, nemlig at denne styrke fremtræder stærkere når eleverne selv udfører forsøget: Det er *teorien* og ikke *læreren* der kan noget. (En tryllekunst virker altid mere imponerende hvis tryllekunstneren (tilsyneladende) lader et medlem af publikum foretage alle afgørende handlinger!)

I de tre eksempler vi her har gennemgået (luftpudebanen, isolering, fotoelektrisk effekt) har vi i virkeligheden at gøre med demonstrationer, også når det er eleverne selv der udfører forsøget (Millar kalder det *auto-demonstrationer* (Millar, 1998)). Men sigtet er en smule anderledes end det tidligere beskrevne ønske om at demonstrere essensen i de fysiske love eller begrebernes definition. Disse demonstrationer skal vise eleverne nogle fænomener med et betydeligt teoretisk indhold og give dem mulighed for selv at skabe og diskutere disse fænomener. Hvor aktiviteter med luftpudebanen i det første perspektiv skulle være en fremvisning og verifikation af Newtons 2. lov, så skal de i dette andet perspektiv give eleverne mulighed for at opleve eksempler på brugen af begreberne ”kraft” og ”acceleration” og for at forstå og diskutere fænomenet i lyset af bl.a. Newtons 2. lov.

Vi ser her igen en klar parallel til Kuhns paradigmeartikulering som vi diskuterede i afsnit 3.9.

5.6.5 Opdagelse af teori i laboratoriet

Vi bevæger os nu mod venstre på færdighedsvidensaksen (figur 5.2), over mod færdighedssiden. Vi kommer altså igen, men nu fra den anden side, ind i nærheden af ”den eksperimentelle undersøgelse”. Vi vil diskutere observationer og eksperimenter i laboratoriet med det udgangspunkt at de primært skal tjene til at eleverne lærer teori eller får en bedre forståelse af videnskabelige begreber. Vi begynder med den forestilling at naturvidenskabens teori simpelt hen vokser ud af den eksperimentelle aktivitet.

Den ide at elever i en eller anden forstand skulle opdage fysikken (eller mere generelt naturvidenskaben) i laboratoriet har lige så gamle rødder som tanken om laboratoriarbejdet som en aktivitet til udvikling af systematisk tænkning og almene intellektuelle egenskaber (se også afsnit 5.7.3). Den blev bl.a. understøttet af den berømte biolog T.H. Huxley (Layton, 1990) der definerede videnskab som ”*nothing but trained and organised common sense*” (refereret i Layton, 1990, p.48). Ved at indtage en klassisk empiristisk position i forhold til videnskabsprocessen, som den bl.a. blev formuleret af Hume og Locke (se kapitel 4), kunne Huxley og andre forene ønsket om at se laboratoriarbejdet som mental træning med nødvendigheden af at undervise i videnskabens ideer og teorier. Disse ideer og teorier skulle vokse ud af det eksperimentelle arbejde ved induktiv tænkning. Hermed havde de givet den eksperimentelle videnskab en central og enestående funktion i uddannelsen (og dannelsen!) af unge: Mens matematik (og – mente mange – også de klassiske sprog) gav mulighed for at udvikle og træne *deduktiv* tænkning, var naturvidenskaben ene om at træne *induktiv* tænkning. Og ved denne induktive tænkning kom man frem til videnskabens principper. Denne tankegang var også grundlaget for H. E. Armstrongs heuristiske undervisningsideal i England omkring det forrige århundredeskifte. Han anså lærebøger for at være af det onde, eleverne skulle lære selv at finde ud af tingene:

*”Heuristic methods of teaching are methods which involve our placing the students as far as possible in the attitude of the discoverer – methods which involve their **finding out** instead of merely being told about things. “ (Armstrong 1903, p.236, citeret i Mathews, 1994)*

Selv om praksis i skolerne aldrig blev som Armstrong anbefalede, havde hans ideer stor indflydelse i retning af at fremskynde brugen af praktisk arbejde i skolernes naturvidenskabelige undervisning (Gott & Duggan; 1995, Layton, 1990).

Tanken om at eleverne opdager fysikken gennem det praktiske arbejde har været udsat for megen kritik inden for de sidste 25 år (Nott & Wellington, 1996, Hodson, 1998, Wellington 1981), dels af

praktiske grunde, dels af filosofiske. Det filosofiske grundlag for kritikken er først og fremmest at den naiv-empiristiske grundantagelse om videnskabens udvikling ikke er holdbar. De praktiske indvendinger (som delvis følger af de filosofiske) henviser til at læreren bliver nødt til at "forme" og styre elevens "erfaring" i en sådan grad at man ikke mere kan tale om at eleven opdager noget som helst. Det er da også en tanke der i dag synes forladt af de allerfleste, jf. den i kapitel 1 citerede undersøgelse af lærerholdninger. Man kan derfor spørge om denne tanke kan tages tilstrækkelig alvorligt til at den skal inkluderes i en gennemgang af mulige mål for det praktiske arbejde.

Tanken har imidlertid mange udformninger. At elever i et fysiklaboratorium skulle "opdage" f.eks. den universelle gravitationslov, har heller ikke Armstrong forestillet sig. Men knap så generelle lovmæssigheder kan vel også gøre det. Kan man ikke opdage at alle legemer falder (næsten) lige hurtigt? Kan man ikke selv finde frem til Hookes lov eller til "pendullove"ne? Kan eleverne ikke bringes til at finde ud af sammenhængen mellem tryk og rumfang for en indesluttet gas ved konstant temperatur? Kan gaslovene ikke opdages af elever i et fysiklaboratorium hvis de bliver sat godt i gang?

Der er selvfølgelig ingen tvivl om at noget sådant kan lade sig gøre (og bliver gjort). Blot er det vigtigt at have for øje at det eleverne "opdager" og lærer i sådanne stærkt begrænsede og iscenesatte aktiviteter, ikke mere med nogen rimelighed kan kaldes "fysikkens teori". Skal elever virkelig opdage noget nyt i laboratoriet (empiriske fakta, begreber, lovmæssigheder), er de nødt til at befinde sig så langt fremme i deres læreproces at de er inde i midten af figur 5.2 – der hvor teoretisk og procedural viden flyder sammen. Vi vender tilbage til dette i afsnit 5.7.

Som Robin Millar har gjort opmærksom på, passer ideen om at eleven lærer ved selvstændig udforskning godt til de herskende idealer om magtfordelingen i skolen (Millar, 1998). Hvis en sådan pædagogik er mulig, tillægges lærerens autoritet mindre betydning, og eleven placeres i centrum af læreprocessen. Metoden kan desuden hævdes at bidrage til sådanne mere almene mål for skolen som udvikling af selvstændighed, fantasi og nysgerrighed.

At opdagelse af teori i laboratoriet i virkeligheden forudsætter en fuldt kompetent beherskelse af den hypotetisk-deduktive metode – og derfor faktisk forudsætter det der egentlig skulle læres, afsløres af nogle af de forslag til "opdagelsespædagogik" der er blevet præsenteret. Som eksempel kan vi tage Leopold Klopfers gennemgang af læringsmål for eksperimentelle undersøgelser i laboratoriet (Klopfer, 1990). Han stiller overordnet målene således op:

- A. Færdighed i at indsamle videnskabelig information gennem laboratoriearbejde
- B. Evnen til at stille passende videnskabelige spørgsmål og forstå hvad der er involveret i at besvare dem via laboratorieeksperimenter.
- C. Evnen til at organisere, kommunikere og fortolke data og observationer opnået ved at eksperimentere
- D. Evnen til at drage slutninger fra data, observationer og eksperimenter
- E. Forståelse af den rolle laboratorieeksperimenter og observationer spiller i udviklingen af videnskabelige teorier

Vi kan se at både B og især E er ret vidtgående mål. Klopfer beskriver alle målene mere detaljeret. Vi gengiver her delmålene under E:

- E1. Erkende nødvendigheden af en teori for at bringe forskellige fænomener og empiriske love i forbindelse med hinanden.
- E2. Formulere en teori der tager højde for kendte fænomener og principper
- E3. Specificere de fænomener og principper som bliver tilfredsstillet eller forklaret af en teori
- E4. Udlede nye hypoteser fra en teori som vejledning for observationer og eksperimenter der kan teste disse hypoteser

E5. Fortolke og vurdere resultater af eksperimenter der tester en teori

E6. Formulere en revideret, forfinet eller udvidet teori, på baggrund af nye observationer eller fortolkninger

Vi kan se at der er tale om en fuldt udfoldet beskrivelse af den hypotetisk-deduktive metode, og vi ser altså her et eksempel på den opfattelse at det der sker i det naturvidenskabelige undervisningslokale eller laboratorium, grundlæggende er det samme som det der sker når forskere udvikler ny videnskabelig viden.

Som et muligt eksempel på en elev der følger dette skema giver Klopfer følgende eksempel: Ud fra observationer og eksperimenter formulerer eleven en teori om varme som en væske (E1). Væsken antages bl.a. at have masse og spontant at flyde fra områder hvor den er mere koncentreret til områder hvor den er mindre koncentreret, og den antages at trænge lettere ind nogle stoffer end i andre. De to sidste antagelser fører til forudsigelser som eleven kan bekræfte empirisk (E3). Den første antagelse kan føre til sammenligning af masserne for en genstand ved forskellige temperaturer (E4). Eleven kan så beslutte at forkaste hele teorien og prøve at formulere en revideret teori der forklarer alle de iagttagne fænomener (E6).

Dette scenario er naturligvis mildest talt usandsynligt og svarer ikke engang særlig godt til den måde hvorpå videnskabelige teorier i første omgang bliver til. Men den afgørende pointe er at Klopfer helt synes at overse, er at det teoretiske billede eleverne formodes selv at komme frem til – ”varme” som et ”stof” med ”masse” der forekommer i forskellige ”koncentrationer” – er ganske avanceret og ikke kommer til eleven af sig selv. Klopfers eksempel illustrerer tydeligt at det er teori (her forkert teori) der styrer den eksperimentelle undersøgelse, og at det er en meget krævende proces blot at *modificere* teori.

5.6.6 Konstruktion af begreber i laboratoriet

Også selv om eleverne ikke forventes at opdage eller finde frem til teorier og begreber via det praktiske arbejde, kan man stadig have en forventning om at dette bidrager til ny teoretisk forståelse, nemlig ud fra en konstruktivistisk forståelse af læring. Derek Hodson opsummerer de væsentligste fællestræk i tilgange til undervisning der tager udgangspunkt i en konstruktivistisk læringsforståelse således (Hodson, 1998, p.34):

- Bliv klar over elevernes ideer og synspunkter;
- Skab muligheder for at eleverne kan udforske deres ideer og afprøve deres egnethed til at forklare fænomener, gøre rede for begivenheder og gøre forudsigelser;
- Stimulér eleverne til at udvikle, modificere og , om nødvendigt, ændre deres ideer og synspunkter;
- Understøt deres forsøg på at gentænke og rekonstruere deres ideer og synspunkter.

I forhold til det praktiske arbejde er det især det andet punkt der her er relevant. Det er naturligvis netop i forbindelse med praktiske aktiviteter at der er mulighed for at afprøve ideer, forklare fænomener og gøre forudsigelser. Eleverne skulle så udsættes for – eller udsætte sig selv for – kognitive konflikter som kan føre til begrebsudvikling og ændret begrebsforståelse. Har man et sådant mål for øje, skal laboratoriarbejdet tilrettelægges på en ganske særlig måde, så eleverne kan få udfordret deres ideer. Her kan kvalitative laboratorieøvelser være bedre egnet end kvantitative. Desuden vil, som fremhævet af Gunstone og Champagne, diskussioner med dem under og især efter disse aktiviteter være helt afgørende (Gunstone & Champagne, 1990).

5.6.7 Hypoteser

Der er en tydelig forbindelse mellem det ovenstående skema for ”konstruktivistisk undervisning” og hypotesedannelse og -afprøvning. En simpel udgave heraf er de såkaldte POE (Predict-Observe-Explain)-aktiviteter (Gunstone, 1991). Her skal eleverne forudsige hvad der sker i et bestemt forsøg. De bliver derefter bedt om at skrive deres forudsigelse ned, med begrundelse. Læreren eller en elev gennemfører så forsøget, og eleverne observerer hvad der sker og skriver deres observationer ned. Observationerne bliver så konfronteret med forudsigelserne, og i den efterfølgende diskussion bliver eleverne bedt om at forklare det de har set.

I hvad man kunne betegne som en udvidet version af POE (Howe & Smith, 1998) bliver eleverne (eventuelt i små grupper) bedt om at nå til enighed om hvad de observerer, fremsætte hypoteser til forklaring af det observerede, eksperimentere på grundlag af hypoteserne og fortolke resultaterne. Også her er ideen bag den praktiske aktivitet at den skal fremme begrebsudvikling ved dels at skabe en konfrontation mellem elevernes forhåndsopfattelser af et fænomen og deres observationer, dels at tvinge dem til at reflektere både over denne konfrontation.

Som det vil blive illustreret i de cases der beskrives i del III er det imidlertid ikke let at få elever til at afprøve deres ideer og endnu vanskeligere at få dem til at ændre opfattelse, og vi skal i den forbindelse vende tilbage til spørgsmålet om det praktiske arbejde er den bedste ramme for begrebsudvikling.

5.7 Eksperimentelle undersøgelser

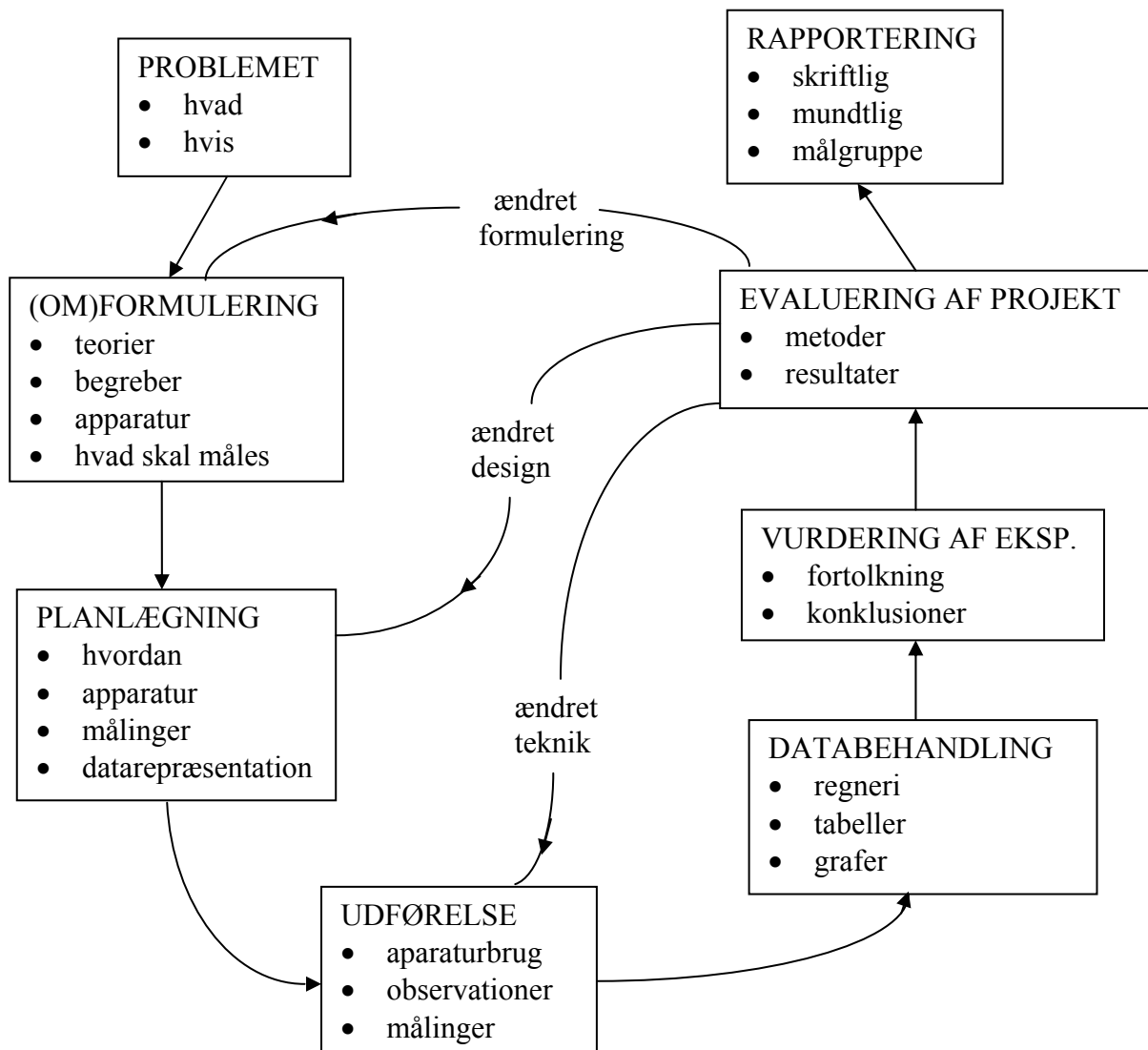
Også selv om fysikkens teori og begreber ikke indtager rollen som primært læringsmål for det praktiske arbejde i fysikundervisningen, viser det sig at viden om disse teorier og begreber kommer til at spille en betydelig rolle i forbindelse med procesmålene for det praktiske arbejde.

Vi er nu på figur 5.2 nået ind til området hvor de tre grupper af målsætninger mødes og overlapper. Det er her vi finder det vi kan kalde eksperimentel problemløsning. Dette er en kompleks målsætning, og vi skal nu prøve mere detaljeret at kortlægge hvad der er involveret.

Ideelt set er der tale om en iterativ proces der kan illustreres ved nedenstående figur 5.3 (modellen er udarbejdet af Gott & Murphy (1987), dansk oversættelse i Poul V. Thomsen (red.) 1993).

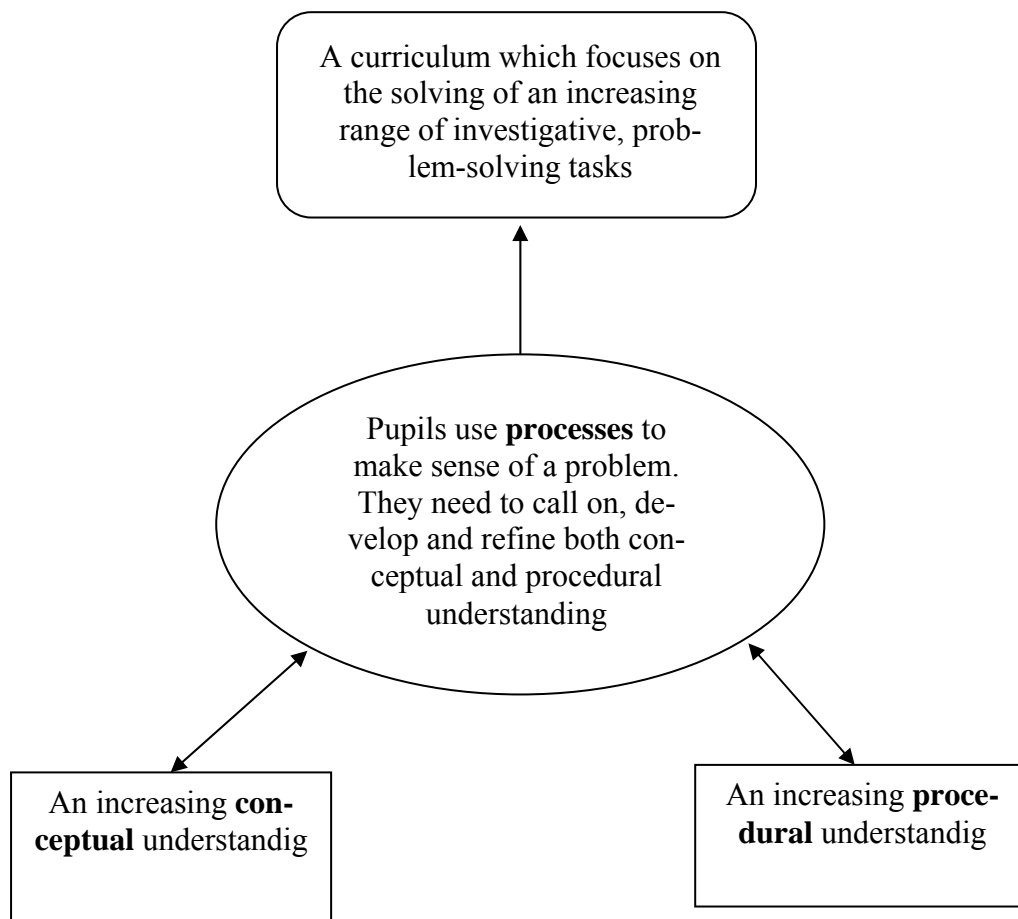
Gott og Duggan (Gott & Duggan, 1995) har foretaget en af de hidtil mest detaljerede beskrivelser af

DYNAMISK MODEL FOR PROBLEMLØSNING MED EKSPERIMENTER



Figur 5.3

det der i den engelsksprogede litteratur kaldes *investigations*. Selvom der er lidt varierede opfattelser af hvad dette begreb helt præcist dækker, kan det passende oversættes med eksperimentelle undersøgelser. Gott og Duggans gennemgang er hovedsageligt foretaget på baggrund af to projekter gennemført i England og Wales i henholdsvis 1980'erne og begyndelsen af 1990'erne, nemlig APU-projektet (Assesment Performance Unit 1985, 1987, 1989) et projekt som opfølgning på det nye *National Curriculum* (indført i 1988) som indeholdt krav om at eleverne skulle lære at gennemføre eksperimentelle undersøgelser og undervises i de dertil nødvendige metoder, f.eks. variabelkontrol (Foulds et al. 1992). Både i APU-projektet og den senere opfølgning (kaldet NCC-projektet) undersøgte man hvordan elever i hhv. 13 og 15 års alderen planlagde og gennemførte eksperimentelle



Figur 5.4

undersøgelser. Selv om aldersklassen ikke svarer til alderen for eleverne i det danske gymnasium, er Gott og Duggans kortlægning og klassifikation af de involverede kompetencer relevant på de fleste niveauer i uddannelsessystemet. Den eksperimentelle undersøgelse er i Gott og Duggans perspektiv en særlig form for problemløsning. Problemløsning kræver af eleven at han skal anvende sin viden og sine færdigheder i nye delvis ukendte situationer, og her er den eksperimentelle undersøgelse ét eksempel. Gott og Duggan bygger deres beskrivelse på en model af læring i forbindelse med eksperimentelle undersøgelser, ifølge hvilken eleverne udvikler en kompetence der involverer udvikling af såvel *begrebsforståelse* og forståelse eller beherskelse af *procedurer*. Modellen er vist på figur 5.4 (Gott & Mashiter, 1991).

Processerne i figuren ”er de forskellige ’tænkemåder’ som er nødvendige for at koordinere elevernes begrebsmæssige og procedurale forståelse”. Tankegangen er at ”eleverne bruger og udvikler begreber” samtidig med at de ”bruger og forfiner de procedurale elementer i opgaven” (Gott & Mashiter, 1991, p.62). Målet er altså at udvikle en eksperimentel problemløsningsevne, men dette indebærer en (videre)udvikling af såvel begrebsforståelse (hvad vi har kaldt vidensmål) og procedural forståelse (hvad vi har kaldt færdighedsmål).

Gott og Duggan koncentrerer sig nu om den procedurale forståelse og dens betydning for de kognitive processer i forbindelse med problemløsning. Der er her tale om en form for begrebsforståelse der er analog til begrebsforståelsen i forbindelse med fysikkens teori. Der er blot tale om andre begreber. Et sådant begreb er f.eks. begrebet ”variabelkontrol”. Pointen er at ligesom simpel faktuel

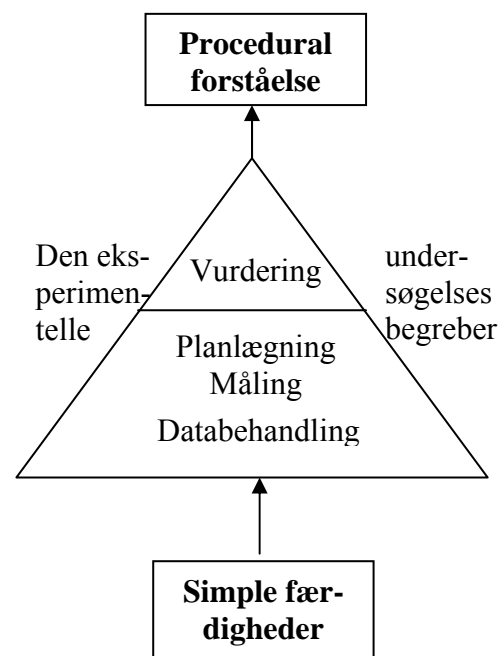
viden kun er en meget lille del af det vi tænker på når vi taler om fysikviden, så er simple færdigheder, der forholdsvis hurtigt automatiseres, også kun en lille del af den procedurale forståelse. Ligesom det at have viden om f.eks. Newtons 2. lov er en kognitivt meget avanceret viden, hvis der ved viden ikke bare forstås at kunne en formel udenad, men faktisk at kunne bruge loven til løsning af ikke-trivielle problemer, så stiller f.eks. det at kunne måle, hvis det skal betyde andet og mere end at kunne aflæse en skala, ret høje kognitive krav. Der er ikke bare tale om handlinger, men om tænkningen bag disse handlinger. Målinger indebærer beslutninger om hvad der skal måles, i hvilke tidsrum der skal måles osv. Disse beslutninger forudsætter igen ofte viden om variabelkontrol. Måleprocessen omfatter, hvis den skal give mening, også fortolkning i større eller mindre grad. Mange målinger er indirekte: Måling af hastighed kan være baseret på målinger af afstand og tid, resistans på måling af strøm og spænding, densitet på måling af rumfang og masse, osv. Disse målinger kan igen foretages på mere eller mindre raffineret måde. Hvis man fortager flere målinger for at aflæse en hældningskoefficient på en lineær graf, omfatter processen forståelse af betydningen af mange målinger, evnen til at afgøre om målingerne bør beskrives med en lineær graf, en matematisk forståelse af en lineær graf og af proportionalitet, altså en lang liste af kognitivt krævende kompetencer.

5.7.1 Den eksperimentelle undersøgelses begreber

Vi vil nu forsøge at behandle denne viden, ikke bare som et middel til at nå et mål (f.eks. erhvervelsen af teoretisk forståelse), men som et mål i sig selv, en form for forståelse i sin egen ret. Der er som nævnt tale om begreber på samme måde som begreber knyttet til fysikkens teori, men her knyttet til den eksperimentelle undersøgelse. Gott og Duggan bruger betegnelsen *concepts of evidence*. Det er ikke let at oversætte², men vi vælger at kalde denne type begreber for *den eksperimentelle undersøgelses begreber*.

Det er altså begreber der hænger sammen med kognitive processer på et højere niveau end simple færdigheder, men som har at gøre med planlægning af eksperimentelle undersøgelser og med måling, behandling og fortolkning af data. Desuden omfatter disse processer en vurdering af hele opgaven: Hvad er konklusionen, er formålet opfyldt, er resultaterne troværdige? Figur 5.5 viser hvordan Gott og Duggan forestiller sig den procedurale forståelse bygget op (Gott & Duggan 1995). Den svarer til stadierne i en eksperimentel undersøgelse sådan som de opfatter den: Planlægning, måling, databehandling og til sidst vurdering og konklusioner. Dermed bliver forståelsen af læringsmålet, den procedurale kompetence, tæt knyttet til en bestemt aktivitet, nemlig den eksperimentelle undersøgelse.

I skemaet herunder er en række af den eksperimentelle undersøgelses begreber beskrevet kort (tabel 5.2). I enhver opgave i skolens fysiklaboratorium vil en grundig forståelse af nogle, og i reglen de fleste, af disse begreber være en forudsætning for at kunne klare opgaven tilfredsstillende. De simple færdigheder svarer til hvad Robin Millar kalder *practical techniques* (f.eks. måle med en vis given nøjagtighed), mens de fleste af *begreberne* falder ind under det han kalder *inquiry tactics* (Millar, 1991). Såvel Millar som Gott og Duggan mener at disse metoder og begreber kan læres, og at der formentlig bør undervises eksplicit i dem.



Figur 5.5

² Gott og Duggan har selv været i tvivl da de prægede udtrykket (se Gott&Duggan, 1995, p.30)

Tabel 5.2

1. Begreber knyttet til planlægning

at identificere variable	forstå hvad en variabel er, hvad der er relevant at måle, hvad der kan kontrolleres
variabelkontrol	forstå betydningen af variabelkontrol for gyldigheden af eksperimentelle konklusioner
skelne mellem forskellige typer af variable	kontinuerte, diskrete, afledte variable
antallet af målinger i en måleserie	forstå betydningen af flere målinger

2. Begreber knyttet til måling

måleinterval	forstå betydningen af at vælge passende måleområde og passende intervaller mellem målinger
valg af instrument	forstå sammenhæng mellem det valgte instrument og det undersøgte måleområde
gentagelser	forstå betydningen af at gentage målinger eller måleserier

3. Begreber knyttet til databehandling

usikkerhed	forstå hvordan usikkerhed påvirker fortolkning af et eksperiment
grafer	forstå sammenhængen mellem variabeltype og graf
	forstå sammenhængen mellem mellem model og graf
tabeller	forstå hvordan tabeller kan bruges til at organisere dataindsamling og dataanalyse

Nogle af disse begreber bliver uden tvivl lært under gennemførelsen af praktisk arbejde, selv om den centrale pædagogiske målsætning i reglen er en anden. Men der er ingen tvivl om at mange elever ikke kommer til at beherske dem. Eksplicit undervisning i disse begreber og metoder er der ikke rigtigt tradition for i det danske gymnasium selv om de fleste nok vil mene at de repræsenterer et vigtigt mål. Gott og Duggans liste over *concepts of evidence* kan ses i tabel 5.3. lige efter næste afsnit.

5.7.2 En taksonomi for den eksperimentelle undersøgelses begreber

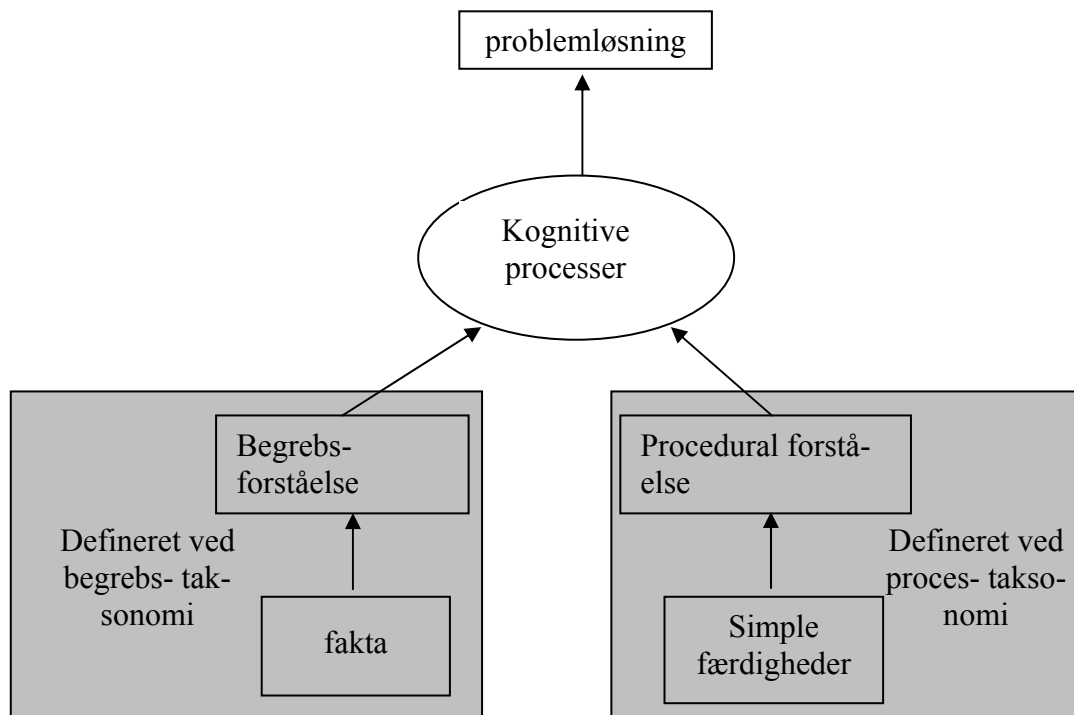
Samtidig med at de opregner den eksperimentelle undersøgelses begreber, indfører Gott og Duggan en procedural taksonomi, parallelt til Blooms kendte taksonomi for begrebsforståelse (Bloom et al., 1956). Man kan trække Blooms seks niveauer sammen til fire (Kempa, 1986), idet analyse, syntese

og vurdering, som hos Bloom placeres på hver sit niveau sammenfattes til ét. Vi får dermed følgende kognitive taksonomi:

- Faktuel viden og genkaldelse
- Forståelse (kunne fremstille et forhold i forskellige repræsentationer)
- Anvendelse (kunne anvende viden i nye – ukendte – situationer)
- Analyse, syntese og vurdering (kunne reorganisere viden f.eks. i forbindelse med problemløsning)

Den tilsvarende procedurale taksonomi bliver

- Viden om og genkaldelse af færdigheder
- Forståelse af den eksperimentelle undersøgelses begreber
- Anvendelse af den eksperimentelle undersøgelses begreber (i nye, ukendte situationer)
- Syntese af færdigheder og den eksperimentelle undersøgelses begreber (i forbindelse med eksperimentel problemløsning)



Figur 5.6

Sat ind i Gott og Mashiters model (figur 5.4) bliver forholdet mellem anvendelsen af de to taksonomier som vist i figur 5.6. Vi kan illustrere taksonomien med et eksempel. Vi kan f.eks. tænke os at vi ønsker at en elev skal kunne bruge voltmeter- amperemeter metoden til at bestemme resistanser for modstande. Eleven skal vide hvordan instrumenterne skal sættes ind kredsløbet og hvordan man bestemmer resistansen. Dette er det laveste niveau, og det svarer nogenlunde til det vi har kaldt simple færdigheder. På det næste niveau skal eleven f.eks. kunne undersøge sammenhænge mellem resistans tykkelse og diameter af en tråd ved at udføre en række målinger med variabelkontrol. Eleven skal forstå hvilke variable der involveret i denne specielle situation og formålet med at kontrollere dem. Eleven skal på dette niveau også have en forståelse af hvorfor voltmeter og amperemeter skal forbindes som de skal. Går vi endnu et niveau op skal eleven kunne anvende variabelkontrol i

andre situationer. Forståelsen af ideen om variabelkontrol skal ikke bare være knyttet til sammenligning af resistansen af tråde. Den skal være *generaliseret* eller *overførbar*.

Eleven skal på dette niveau også kunne anvende sin viden om brugen af voltmeter og amperemeter i nye situationer, f.eks. i mere komplicerede kredsløb. På det højeste niveau skal eleven frit kunne udvælge kompetencer som de ovenfor beskrevne og kombinere dem på nye måder. Hvis eleven f.eks. skal sammenligne egenskaber for forskellige batterier, kan disse kompetencer og mange andre komme i spil i forskellige kombinationer. Eleven skal identificere hvilke variable der kan/skal måles, hvilke der kan/skal varieres, hvordan de skal kontrolleres osv. Hvis data skal opsamles med computer skal eleven måske kombinere eksisterende viden om måling af strøm, spænding og resistans for at kunne måle strømsyrke alene ved hjælp af et voltmeter og en kendt resistans.

I tabel 5.3 viser vi Gott og Duggans fuldstændige liste over den eksperimentelle undersøgelses begreber.

Tabel 5.3 Concepts of evidence and their definition

(Fra Richard Gott and Signe Duggan: Investigative Work in the Science Curriculum, Open University press, 1995, p.31)

<i>Concepts of evidence</i>		<i>Definition</i>
Associated with design	Variable identification	Understanding the idea of a variable and identifying the relevant variable to change (the independent variable) and to measure, or assess if qualitative (the dependent variable)
	Fair test	Understanding the structure of the fair test in terms of controlling the necessary variables and its importance in relation to the validity of any resulting evidence
	Sample size	Understanding the significance of an appropriate sample size to allow, for instance, for probability or biological variation
	Variable types	Understanding the distinction between categoric, discrete, continuous and derived variables and how they link to different graph types
Associated with measurement	Relative scale	Understanding the need to choose sensible values for quantities so that resulting measurements will be meaningful. For instance, a large quantity of chemical in a small quantity of water causing saturation, will lead to difficulty in differentiating the dissolving times of different chemicals
	Range and interval	Understanding the need to select a sensible range of values of the variables interval within the task so that the resulting line graph consists of values which are spread sufficiently widely and reasonably spaced out so that the whole' pattern can be seen. A suitable number of readings is therefore also subsumed in this concept
	Choice of instrument	Understanding the relationship between the choice of instrument and the required scale, range of readings required, and their interval (spread) and accuracy
	Repeatability	Understanding that the inherent variability in any physical measurement requires a consideration of the need for repeats, if necessary, to give reliable data
	Accuracy	Understanding the appropriate degree of accuracy that is required to provide reliable data which will allow a meaningful interpretation
Associated with data handling	Tables	Understanding that tables are more than ways of presenting data after they have been collected. They can be used as ways of organising the design and subsequent data collection and analysis in advance of the whole experiment.
	Graph type	Understanding that there is a close link between graphical representations and the type of variable they are to represent. For example, a categoric independent variable such as type of surface, cannot be displayed sensibly in a line graph. The behaviour of a continuous variable, on the other hand, is best shown in a line graph
	Patterns	Understanding that patterns represent the behaviour of variables and that they can be seen in tables and graphs
	Multivariate data	Understanding the nature of multivariate data and how particular variables data within those data can be held constant to discover the effect of one variable on another
Associated with the evaluation of the complete task	Reliability	Understanding the implications of the measurement strategy for the reliability of the resulting data; can the data be believed?
	Validity	Understanding the implications of the design for the validity of the resulting data; an overall view of the task to check that it can answer the question

5.7.3 Generaliserbarhed af processuelle kompetencer

De processuelle kompetencer og den processuelle taksonomi minder stærkt om Piagets udviklingsmodel for børns tænkning (som Blooms taksonomi også er inspireret af (Bloom 1956)). Baseret på Piagets ideer har CASE-projektet (Cognitive Acceleration through Science Education) i England designet et særligt program for undervisning af 13-14 årige børn i forståelse af sådanne principper som variabelkontrol, proportionalitet, sandsynlighed, korrelation, klassifikation, sammensatte variable, ligevægt (Adey, 1988; 1992; 1997, Adey & Shayer, 1990; 1994). I Danmark er et tilsvarende projekt blevet gennemført af Jens Holbech [...] og Poul V. Thomsen (HOT-fysik-projektet). Hovedantagelsen bag disse projekter er at kompetencerne repræsenterer en generel højere ordens tænkning og altså er overførbare til andre områder. Adey og Shayer (Adey, 1992; Adey & Shayer, 1994) mener at have fundet belæg for en sådan overførselsværdi. Men hvad enten kompetencerne anses for at være generaliserbare uden for en matematisk-naturvidenskabelig sammenhæng eller ej, og hvad enten de søges opnået ved hjælp af praktisk arbejde indenfor fysik eller andre naturvidenskabelige fag eller på andre måder, så er der tale om læringsmål som mange anser for ønskværdige.

Antagelsen om at de færdigheder og kompetencer der læres i laboratoriet, er generaliserbare og kan bruges i mange andre sammenhænge er en meget gammel tanke som falder naturligt ind i den dannelsesstradition der opfatter dannelse som netop *almene* kompetencer og *almen* viden som kernen i dannelse. Sammen med ønsket om at skoleundervisningen først og fremmest skal være almindannende bliver *generaliserbarhed* et afgørende argument de enkelte skolefag, såvel som for dele af disse fag.

David Layton (Layton, 1990) fortæller tankevækkende om hvordan laboratorieundervisningen i kemi blev indført i England. Justus Liebig havde i Giessen i 1830'erne indrettet sit berømte laboratorium til undervisning af studerende, hvor han lod dem arbejde meget selvstændigt så de kunne udvikle deres evne til at "tænke kemisk" (Nielsen m.fl. 1990). En af Liebigs tidligere studerende, A.W. Hoffmann, blev ansat som den første professor i kemi ved det i 1845 oprettede College of Chemistry i London. På denne måde blev Liebigs metoder bragt til England, og løbet af kort tid havde en lang række universiteter indrettet kemiske undervisningslaboratorier, de fleste af dem ledet af folk uddannet i Giessen.

Stærkt medvirkende til udbredelsen af laboratoriearbejdet i kemiundervisningen var imidlertid den opfattelse at et universitetsfag måtte retfærdiggøre sig ved at hævde at det ikke bare formidle simple facts, men bidrog til menneskers almene intellektuelle udvikling. Dette blev anset for at være begrundelsen for de klassiske fag og matematik, og det blev vigtigt for kemi at kunne påstå at også dette fag fremelskede sådanne almene kompetencer. Og det mente man netop skete i forbindelse med laboratoriearbejdet. (citat af John Gardner 1846, citeret hos Layton 1990). En af begrundelserne for laboratoriearbejdet i kemi var altså at det var det der gjorde at kemi kunne kaldes *almendannende*, i den betydning at det fremmede menneskers almene intellekt.

5.8 Mål og midler

5.8.1 Teori og eksperiment

Vi vil nu vende tilbage til forholdet mellem eksperimentelt arbejde og det at lære fysikkens teori. Vi kan nu vælge to betragtningsmåder: Enten betragter vi fysikviden eller teoretisk viden som indsigt i

hvordan verden ”hænger sammen” set ud fra fysikkens perspektiv. Altså den viden om fysikkens love og beskrivelser der skal til for at vi føler at vi forstår og kan forklare en række naturfænomener. Eller også mener vi at det at have fysikviden indebærer en evne til at kunne løse problemer, enten teoretiske eller eksperimentelle. Set med den første betragtningsmåde bliver laboratorieaktiviteterne, hvad enten de er illustrationer eller er tænkt som muligheder for at eleverne selv kan opdage viden, først og fremmest midler til at opnå målet ”fysikviden”. Med den anden betragtningsmåde bliver bestemte laboratorieaktiviteter, nemlig eksperimentel problemløsning, altså det vi har kaldt ”eksperimentelle undersøgelser”, sammen med andre former for problemløsning, selve kriteriet for opnåelse af fysikviden, og bliver dermed målet.

Figur 5.7 illustrerer denne skelnen.

Middel	Mål	Middel	Mål
Opdage viden i laboratoriet	Teoretisk viden	Teoretisk viden	Løse problemer i laboratoriet
Illustrere teori i laboratoriet			Løse problemer udenfor laboratoriet
Undervisning uden for laboratoriet			

Figur 5.7

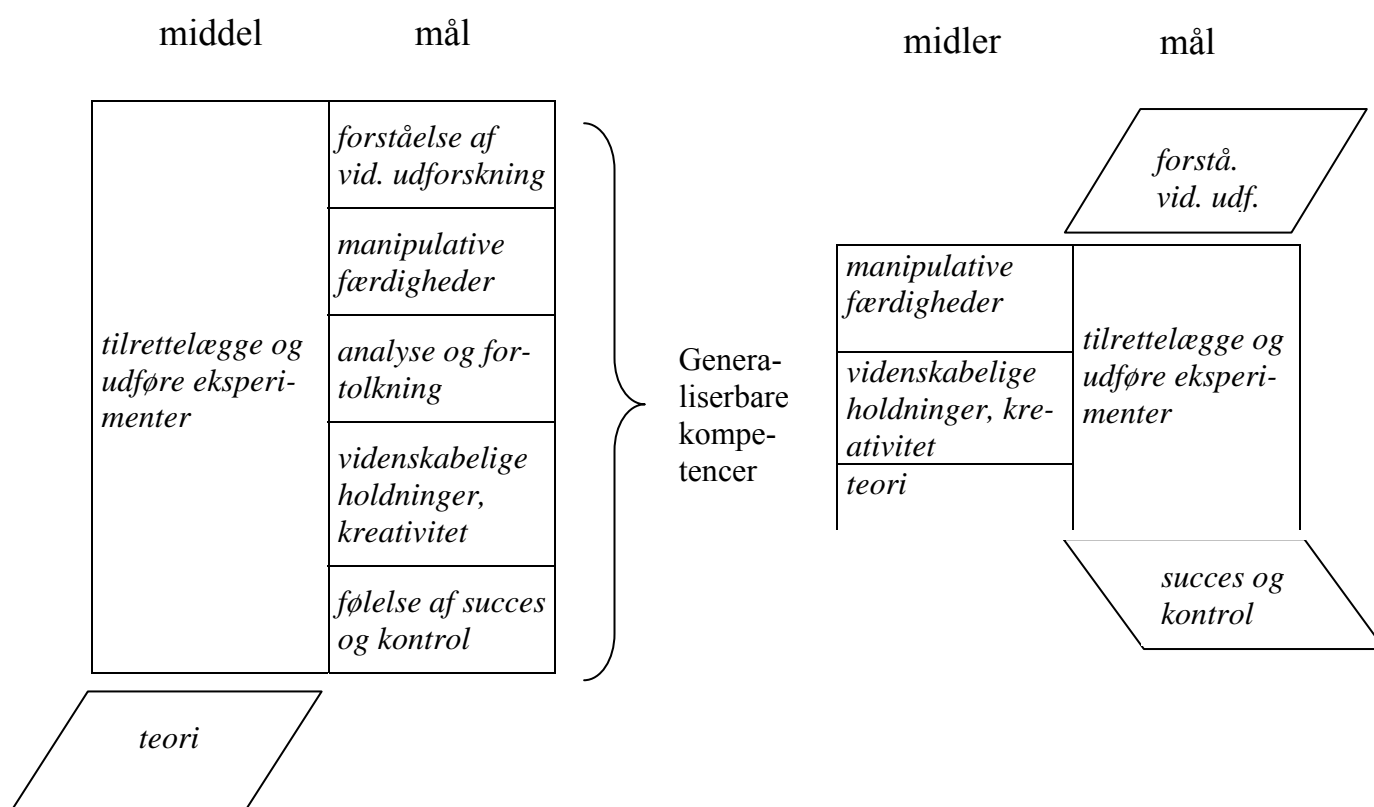
Et afgørende resultat af den begrebsafklaring der er foretaget i de foregående kapitler, er at den traditionelle betragtningsmåde hvor den teoretiske fysikviden er det primære mål for undervisningen, er problematisk, netop fordi den teoretiske viden forbliver en tom, næsten meningsløs, skal, hvis den ikke kan bringes til udfoldelse i eksperimentel problemløsning.

5.8.2 Kompetencer

Vi kan også se det praktiske arbejde i fysik i et kompetenceperspektiv: Enten mener man at målet er at opnå almene, generaliserbare kompetencer som kan overføres til mange situationer uden for naturvidenskaben. Sådanne mål som fortolkningsevne og kreativitet ses altså som almene kompetencer som det praktiske arbejde kan fremme opnåelsen af. Eller man ser disse kompetencer som delmål, som trædesten til opnåelsen af et større endemål. Dette endemål kunne være evnen til at kunne gennemføre den store åbne eksperimentelle undersøgelse i fysik. Her vil også betydelig teoretisk viden være en nødvendig forudsætning. I dette perspektiv bliver målet, ikke bare med det praktiske arbejde, men med fysikundervisningen overhovedet, herunder undervisningen i fysikkens teorier og begreber, at lære at foretage sådanne undersøgelser. Hovedformålet bliver med Hodsons begreber *doing science*, og andre mål bliver midler til at nå dette mål.

Vi betragter altså målene i to forskellige perspektiver. I det ene er tilrettelæggelsen og udførelsen af eksperimenter i fysik ikke et endemål i sig selv, men et middel til at opnå generaliserbare kompetencer der ikke nødvendigvis er knyttet til naturvidenskab, i det andet er det at kunne gennemføre eksperimentelle undersøgelser endemålet, og de forskellige andre kompetencer vi har diskuteret opfattes først og fremmest som midler til opnåelsen af dette endemål.

Den indbyrdes forbindelse mellem de seks mål som vi anførte i afsnit 5.2 kan altså anskues på to måder. Målene var, kort fortalt, at eleverne skulle opnå manipulative *færdigheder*, *forståelse* af videnskabelig udforskning, ny teoretisk *viden*, videnskabelige *holdninger*, *fantasi og kreativitet* og en følelse af *succes og kontrol*. Endelig skulle de opnå *øvelse i at tilrettelægge og udføre eksperimenter og frembringe data til analyse og fortolkning*.



Figur 5.8

De to måder at anskue det relative forhold mellem disse mål, således at nogle mål i realiteten får karakter af midler, er illustreret i figur 5.8. I det perspektiv hvor det at kunne gennemføre en eksperimentel undersøgelse bliver hovedmålet, kan man sige at følelsen af succes og kontrol og forståelsen af karakteren af videnskabelig udforskning også betragtes som mål, deres opnåelse bliver så at sige slags bonus der følger af det at kunne eksperimentere.

Ser vi på teoriens rolle, kommer den i begge perspektiver til at spille en forholdsvis tilbagetrukket rolle. I det perspektiv hvor de generaliserbare kompetencer er målet, bliver teoriforståelse enten et middel, sammen med selve den eksperimentelle aktivitet, eller i bedste fald et sekundært mål. I det

perspektiv hvor den eksperimentelle problemløsning er selve målet, bliver teoriforståelsen simpelt hen et middel blandt andre.

Lad os nu prøve at sammenfatte de forskellige elementer i figur 5.7 og figur 5.8 i tre hovedkategorier: Teori, kompetencer og eksperimenter. Vi betegner disse hovedkategorier med bogstaverne T, K og E:

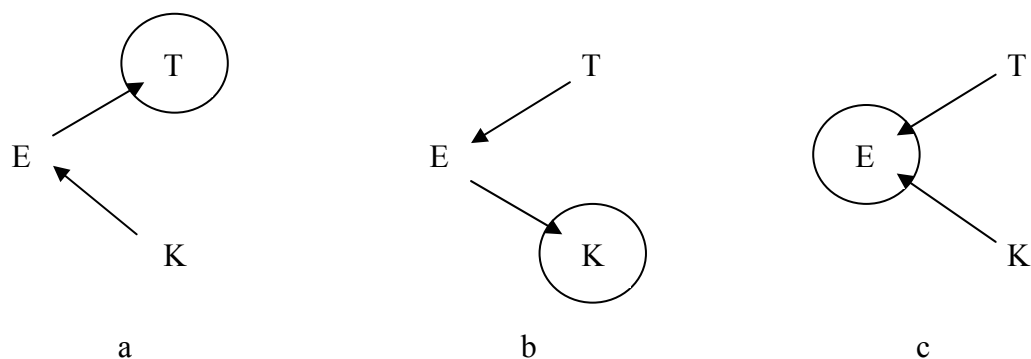
T: Teoretisk viden

K: Generaliserbare kompetencer

E: Eksperimentel problemløsning (eller eksperimentelle undersøgelser)

Vi har nu en række muligheder for med udgangspunkt i forholdet mellem disse tre målkategorier at formulere tyngdepunktet i fysikfagets samlede målsætning. Disse muligheder er illustreret i figur 9.

I figur 5.9a er teoriforståelse det centrale mål, mens eksperimentelt arbejde ses som middel. Kompetencer og færdigheder står også i hovedmålets tjeneste idet de er forudsætningen for frugtbar praktisk arbejde. Denne betragtningsmåde er som nævnt problematisk, da det er vanskeligt at definere teoriforståelse uafhængigt af kompetencer og eksperimentel problemløsning. I 5.9b er de generelle kompetencer det centrale mål. Teorien er forudsætningen for at kunne foretage eksperimentelle



Figur 5.9

undersøgelser der igen har som formål at udvikle kompetencerne. Det problematiske i denne betragtningsmåde kan ligge i den ikke særlig velunderbyggede påstand at der i laboratoriarbejdet erhverves helt generelle kompetencer.

I 5.9c er evnen til at kunne foretage en eksperimentel undersøgelse, altså at kunne løse fysiske problemer eksperimentelt, det centrale mål, og både teoriforståelse og færdigheder og kompetencer betragtes som midler i dette måls tjeneste. Her betragter vi altså forståelsen af (og til dels beherskelsen af) den eksperimentelle undersøgelse som det afgørende mål for fysikundervisningen.

5.9 Opsummering

I dette kapitel har jeg, støttet på et udvalg af den relevante litteratur, prøvet at give en oversigt over det praktiske arbejde i skolen – hvilke formål der kan være med forskellige former for praktisk arbejde og hvilke vanskeligheder det praktiske arbejde indebærer for eleverne.

Gennemgangen har været struktureret således at vi har nærmet os den komplekse ”eksperimentelle undersøgelse” fra to sider: En ”færdighedsside” og en ”vidensside”. Det har gjort det muligt at fremhæve følgende pointer:

- De eksperimentelle færdigheder og kompetencer der er knyttet til laboratoriearbejdet, er særdeles sammensatte og vanskelige at tilegne sig, og der er behov for at der bliver undervist eksplicit i dem.
- Den eksperimentelle undersøgelse kræver en god beherskelse af disse eksperimentelle færdigheder og kompetencer
- Den eksperimentelle undersøgelse kræver tilsvarende en avanceret forståelse af fysikteori
- Laboratorieaktiviteter kan tilrettelægges så de enten i første række tilgodeser færdigheder eller bidrager til en dybere forståelse af elementer af fysikkens teori. Aktiviteter der tilgodeser hvert af disse formål vil have en meget forskellig karakter.
- Aktiviteter der ikke klart fokuserer på et bestemt formål eller deciderede eksperimentelle undersøgelser vil ikke kunne opfylde disse formål. Den eksperimentelle undersøgelse forudsætter tværtimod en høj grad af eksperimentel kompetence og teoretisk viden.

En vigtig pointe i kapitlet er desuden, i forlængelse af diskussionen i Kapitel 3, at det giver god mening at opfatte *teorilæringen* i fysikundervisningen som et middel, på linje med opnåelsen af de eksperimentelle kompetencer, til at blive i stand til at forstå og gennemføre eksperimentelle undersøgelser af naturen – snarere end som den traditionelle opfattelse, at se *det praktiske arbejde* som et pædagogisk middel til at lære fysikkens teori.

DEL II

6 Mentale modeller i fysik

6.1 Indledning

Udgangspunktet for dette kapitel er den antagelse at udviklingen af elevers mentale modeller er afgørende for hvordan de lærer noget – specielt fysik – og for hvordan de opfatter virkeligheden – specielt fysiklaboratoriet.

Fremstillingen er baseret på teorier om mentale modeller og læring, udviklet i den kognitive psykologi af bl.a. Philip Johnson-Laird, Dedre Gentner og Michael Posner. Indsigter fra disse teorier søges kombineret med den erfaring vi har om elevers fysiklæring til plausible beskrivelser af hvordan elever udvikler mentale modeller i forbindelse med fysik.

Da formålet bl.a. er at sammenligne de mentale modeller eleverne udvikler med de ”officielle” modeller og teorier, ser vi først på modelbegrebet i fysikken. Derefter gennemgår vi forskellige beskrivelser af mentale modeller og læreprocesser i fysik. Selv om de forskellige tilgange til problemet adskiller sig noget fra hinanden, kan de alle bruges til at kaste lys over elevernes kognitive processer.

6.2 Teorier og modeller i fysikken

Grænsen mellem ”teorier” og ”modeller” inden for naturvidenskaben kan næppe gøres helt skarp. Hvad enten vi taler om en teori eller en model, har vi at gøre med sammenhængende abstrakte (indenfor fysikken i reglen matematiske) beskrivelser af bestemte dele eller aspekter af virkeligheden. Betegnelsen ”teorier” reserveres normalt til de mest omfattende beskrivelser med stort gyldighedsområde, mens ”modeller” beskriver mere afgrænsede fænomener. Teorier består ofte af meget generelle principper der kræver omfattende fortolkning for at kunne anvendes på konkrete fænomener. Modeller derimod er normalt direkte knyttet til konkrete systemer og har til formål enten at muliggøre kvantitative forudsigelser for systemet eller at danne udgangspunkt for videre teoretisering. Modeller kan være baseret på mere generelle teorier, således at de repræsenterer en konkret anvendelse af teorien, men de er det ikke nødvendigvis. I det omfang modeller er teoribaserede, kan det være rimeligt at opfatte dem som en del af selve den teoretiske struktur, og altså ikke se dem som noget der eksisterer ved siden af teorien. Videnskabsteoretikeren Ernest Nagel givet følgende beskrivelse af elementerne i en naturvidenskabelig teori. Ifølge Nagel består et teorisystem af tre dele:

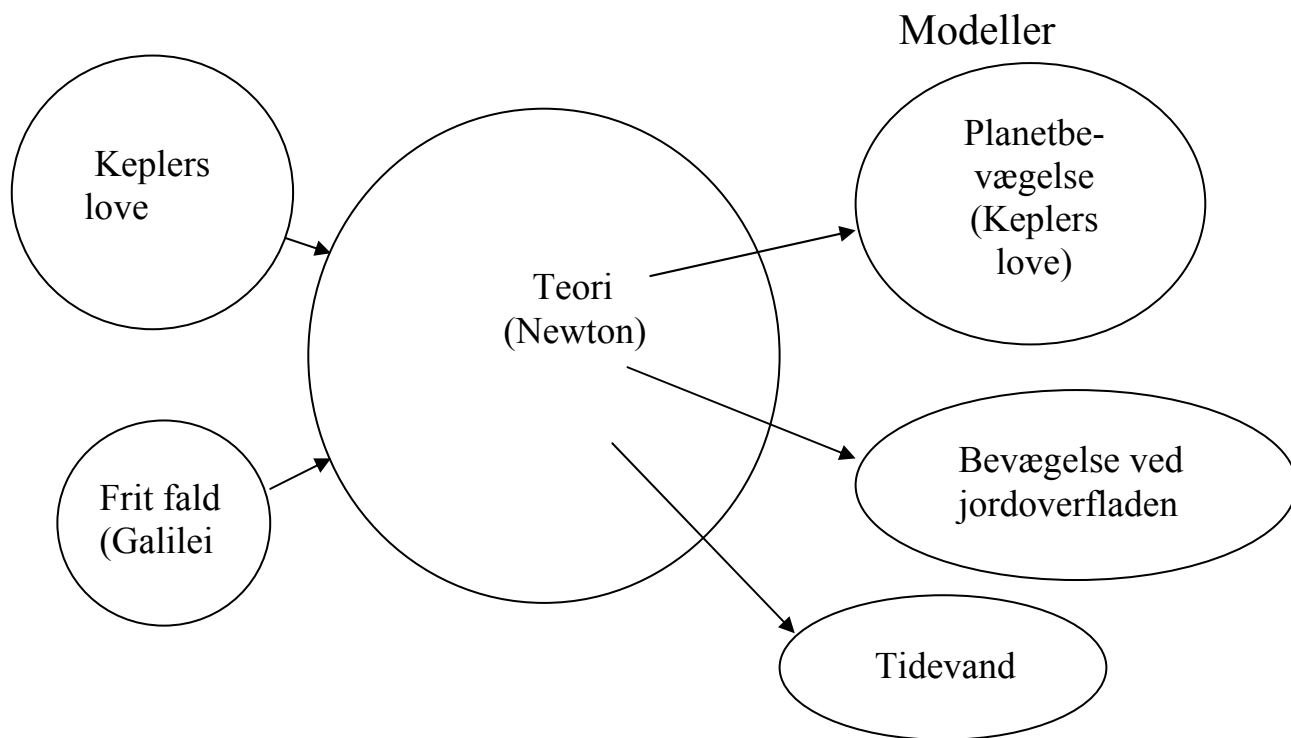
1. Abstrakt formalisme: Logisk skelet i forklaringssystemet.
Grundbegreberne defineres implicit herved.
2. Regler der forbinder formalismen med observationer og eksperimenter
3. ”Modeller” for formalismen
- hjælper til at forudsige, styre undersøgelser, opsummere data, retfærdiggøre resultater

(Nagel i *The Structure of Science* (1987), refereret i Gilbert and Boulter, 1998, p.53)

Det første punkt – den abstrakte formalisme – henviser til den del af strukturen der ofte tænkes på når der tales om ”teori”. Teorien indeholder relationer mellem formalismens begreber, herunder ”naturlove”. Men enhver teori må nødvendigvis også – punkt 2 – indeholde anvisninger for hvordan observationsdata forbindes med de abstrakte begreber. Denne forbindelse er imidlertid sjældent særlig simpel eller direkte. For at teorien overhovedet skal kunne bruges i forbindelse med en konkret situation, konstruerer man ofte en idealiseret beskrivelse af situationen, som teoriens begrebsapparat anvendes på. En sådan fremstilling bliver så et eksempel på en model – punkt 3. Modellen bliver i dette tilfælde en slags mellemlid mellem på den ene side formalismen og på den anden side ”virkeligheden” eller observationsdata: Teoriens grundbegreber anvendes ikke direkte på virkeligheden, men på en repræsentation af virkeligheden. Eksempelvis konstruerer vi ”det matematiske pendul” som et idealiseret pendul (en ”punktmasse” der hænger i en ”masseløs snor”) hvorpå vi anvender Newtons love. Eller vi konstruerer det idealiserede elektriske kredsløb med ”ledninger” uden resistans, ”ohmske modstande” osv., hvorpå vi anvender elektrodynamikkens love.

Tager vi Newtons mekanik som et velkendt eksempel på en teoretisk struktur, er den ophav til en lang række modeller. De fleste er skabt af andre end Newton og efter hans tid. Men en lang række modeller er gennemarbejdet af Newton selv i hans Principia og giver kød og blod til teoriens formelle skelet: Newtons model for solsystemet (hvor planeterne behandles som punktmasser), modellen for en partikels (igen en idealisering) bevægelse i et homogent tyngdefelt (endnu en idealisering), en model for tidevandet, osv., osv.

På figur 6.1 er illustreret hvordan disse modeller (sammen med et formentlig ubegrænset antal andre) kan siges at være indeholdt i Newtons teoribygning. Modellerne er vist til højre for den centra-



figur 6.1

le teori. Men figuren prøver også til venstre at illustrere hvordan nogle af de samme modeller der hos Newton fremstår som konsekvenser af teorien, har eksisteret før Newton, og har været helt afgørende for skabelsen af denne teori. I denne fase er modellerne ikke baseret på en mere omfattende teori, og man vil måske endda være tilbøjelig til her at kalde dem teorier i sig selv: Keplers planet-teori og Galileis teori for frit fald og kast.

Disse modeller (eller teorier, om man vil) kaldes undertiden empiriske for at understrege deres karakter af matematisk sammenfatning af empiriske data uden forankring i en mere omfattende teori-bygning, og deres forskellige status før og efter formuleringen af Newtons teori kan tjene som illustration, dels af den flydende grænse mellem begreberne teori og model, dels af modellens betydning som skridt på vejen i opbygningen af teorier.

6.3 Mentale modeller

Vi vil med Shawn Glynn og Reinders Duit (Duit & Glynn, 1995, Glynn & Duit, 1995, Glynn, Yeany, Britton, 1991, Duit 1991) skelne mellem på den ene side såkaldte *konsensus-modeller* der repræsenterer naturvidenskabelige modeller som de er fremstillet i litteraturen og på den anden side *mentale modeller* der er de modeller der eksisterer i den enkeltes kognitive apparat. Glynn og Duit bygger i deres arbejde på D.A. Normans definition af henholdsvis videnskabelige modeller eller konsensusmodeller ("*conceptual models*") og mentale modeller ("*mental models*"):

Conceptual models are devised as tools for the understanding or teaching of physical systems. Mental models are what people have in their heads and what guides their use of things.

(Norman, 1983, p.12)

De mentale modeller kan sagtens være i overensstemmelse med konsensus-modellerne (hos fagfolk formodes de normalt at være det), men de kan også være helt forskellige fra dem. Især hos personer der er ved at lære faget, er der grund til at tro at de mentale modeller både er forskellige fra person til person og for den samme person til forskellige tidspunkter: En person udvikler sine mentale modeller efterhånden. Hvis der finder succesrig læring sted, når man til sidst frem til mentale modeller i god overensstemmelse med foreliggende konsensusmodeller.

Det kan være nyttigt at have en typologi for modeller. Overordnet kan man skelne mellem billedlige (ikoniske) modeller og abstrakte modeller (begrebsmodeller). (Se f.eks. Bleichroth et al., 1991), Johnson-Laird, 1983). Grænsen mellem de to kan dog være flydende, og spørgsmålet er om de faktisk lader sig skille ad.

Eksempler på ikoniske modeller kan være idealiseringer af virkeligheden, som f.eks. "det matematiske pendul" eller optikkens model for lysstråler. Men der kan også være tale om billeder som rene tankekonstruktioner der ikke har nogen umiddelbar lighed med den observerede virkelighed, som f.eks. lysbølger eller en vandmodel for elektrisk kredsløb.

Eksempler på begrebsmodeller kan være "den harmoniske oscillator". Der er her tale om en abstrakt matematisk model der definerer en bestemt sub-klasse i en generel teoretiske struktur (Newtons mekanik) uden at være direkte knyttet til noget (idealiseret) billede af en bestemt situation.

Som nævnt kan det være vanskeligt at skelne mellem de to typer af modeller. Vanskeligheden kan f.eks. illustreres v.h.j.a. Bohrs atommodel. Der er her i udgangspunktet tale om en ikonisk model,

idet modellen (både historisk og i de fleste menneskers forestilling) repræsenterer en analogi til en model for solsystemet – og denne model er som mental repræsentation en ikonisk model. Men modellens berettigelse er alene de teoretiske beregninger man kan foretage med udgangspunkt i denne analogi. Den ikoniske model, som jo er så langt væk fra det faktiske fænomen at den ikke engang kan kaldes en idealisering, er derfor i virkeligheden blot et *hjælpemiddel* til at håndtere en *begrebsmodel* (bevægelse af en partikel der bevæger sig i et centralt kraftfelt hvor kraften aftager med kvadratet på afstanden, suppleret med Bohrs postulater).

I forbindelse med elevens udvikling af fysikforståelse er det imidlertid ikke afgørende at grænsen mellem ikoniske modeller og begrebsmodeller er flydende. Også når vi arbejder med generelle begreber danner vi konkrete mentale billeder. Når vi siger ”alle trekanter”, ser vi én (eller måske nogle få) trekanter for os, når vi siger ”hund” tænker vi på en bestemt ”typisk” hund (i reglen en schæferhund).

Vi danner derfor i forbindelse med abstrakte problemer billedlige mentale modeller, som vi så kombinerer med mere abstrakte begrebsmodeller. Disse abstrakte modeller er ofte forbundet med påstande (som regel generelle påstande) som skal forbindes med de mentale modeller. For at forstå en påstand, må vi danne et mentalt billede af de forhold som vil gøre påstanden sand.

Johnson-Laird (1983) skelner i overensstemmelse med det ovenstående helt generelt mellem fysiske(ikoniske) og abstrakte mentale modeller.

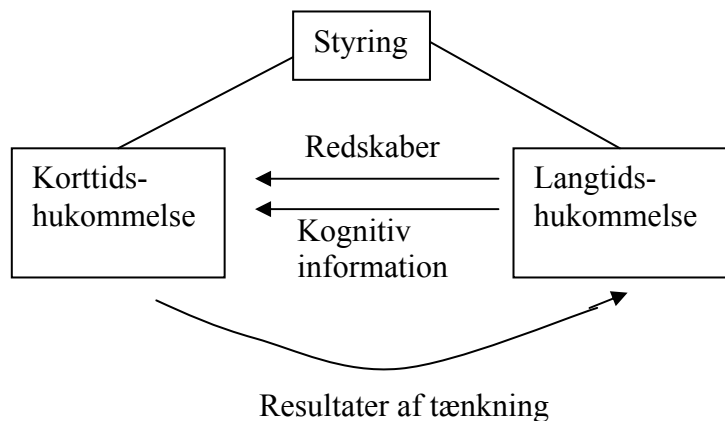
For de fysiske modeller fremkommer herved en delvist hierarkisk typologi. Modellerne kan være

- relationelle (fysiske egenskaber)
- rumlige (elementer ordnet rumligt i forhold til hinanden)
- tidslige (elementer – evt. rumlige billeder – er ordnet i en tidsfølge)
- kinematiske (tidslige modeller der psykologisk kontinuerte)
- dynamiske (kinematiske modeller med kausale relationer)

6.4 Kognitiv virksomhed, mentale modeller og læring

At lære videnskabelige begreber vil sige at lære dem som dele af et netværk af relationer. Det vil altså sige at skabe forbindelse mellem begreber. I den kognitive psykologi opereres der med et billede af det kognitive apparat hvor der skelnes mellem en langtidshukommelse og en korttids- eller arbejdshukommelse.

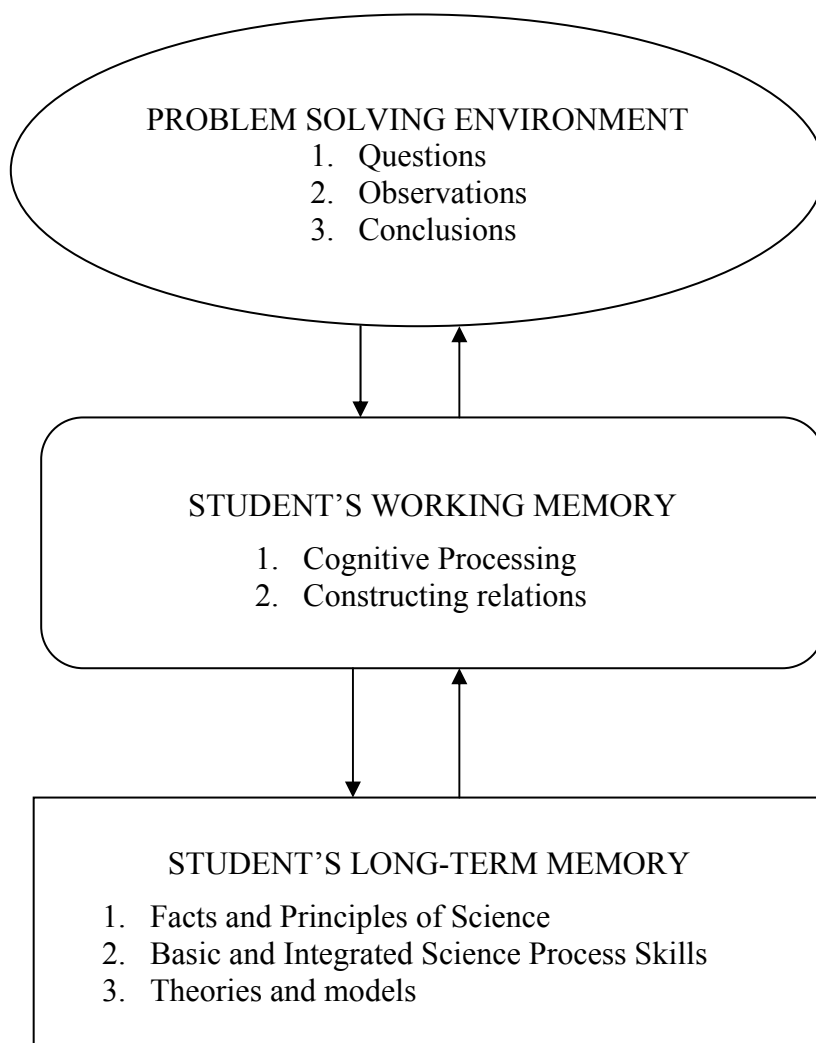
Langtidshukommelsen indeholder faktisk viden, herunder principper og lovmæssigheder, processu-



Figur 6.2

elle færdigheder samt teorier og modeller. "Viden" skal her ikke forstås på den måde at der er tale om opfattelser der nødvendigvis er "sande" i filosofisk forstand, ligesom teorier og modeller naturligvis ikke nødvendigvis er i overensstemmelse med accepteret videnskab.

I arbejdshukommelsen foregår de kognitive processer, herunder konstruktionen af begrebslige forbindelser. Langtidshukommelsen leverer redskaber og kognitiv information til arbejdet i korttidshukommelsen.



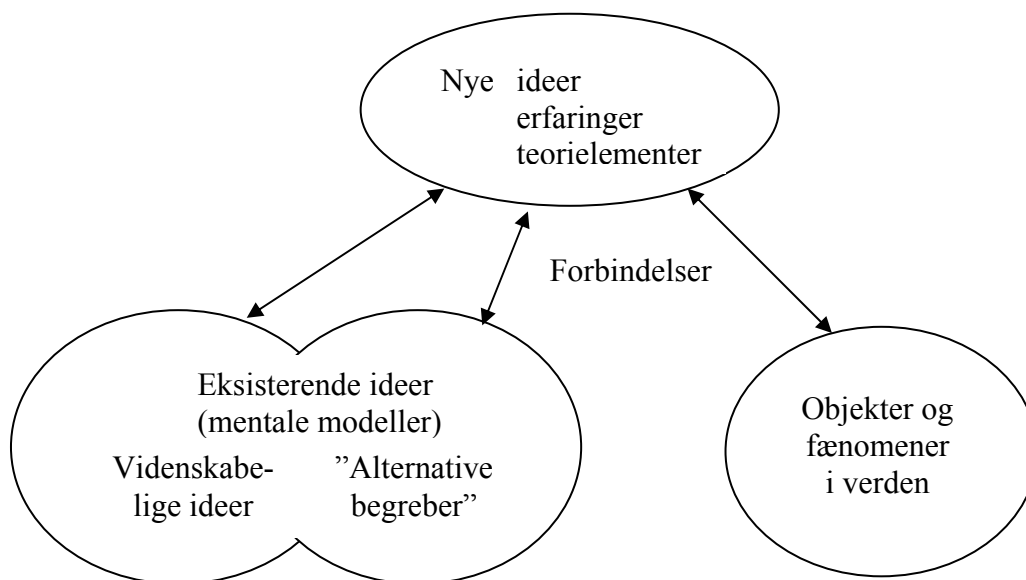
A cognitive model of scientific reasoning
Fra Glynn, Yeany og Britton, 1991

Figur 6.3

Disse forhold er søgt illustreret i figurerne 6.2 og 6.3.

En grundlæggende tankegang i denne kognitive model er nu at det endelige produkt af elevens kognitive virksomhed (tænkning) er mentale modeller (Glynn, Yeany og Britton, 1991).

Nye ideer skal forbindes med eksisterende ideer (eksisterende "viden") hos eleven såvel som med den virkelige verdens fænomener (objekter og processer) (Carey, 1986, ref. i Smith, 1991, Wagenschein, 1990). Se figur 6.4. De eksisterende ideer er bl.a. organiseret som mentale modeller, og der refereres undertiden til dem som "conceptual frameworks". En afgørende forudsætning for "forståelse" af fysik er at der er skabt sådanne *forbindelser* mellem 1) eksisterende "conceptual frameworks", 2) virkeligheden (erfaringer) og 3) nye ideer og begreber. Det er her vigtigt at have for øje at ved skabelsen af sådanne forbindelser vil de eksisterende ideer nødvendigvis også undergå ændringer. Der gælder altså det lidt paradoksale forhold at vore eksisterende "*conceptual frameworks*" som er en afgørende del af det kognitive apparat der skal skabe mening i nye erfaringer og begreber, selv bliver forandret under denne meningsskabende proces (Toulmin, 1972, ref. Smith, 1991).



Figur 6.4

En anden forudsætning for forståelse (Smith, 1991) er *brugbarhed i sociale sammenhænge*. Dvs. der er en operationel komponent i begrebet forståelse: Når man *forstår* noget – her fysik – skal man *kunne* noget: Man skal kunne udføre opgaver og løse problemer med anvendelse af de begreber der er relevante i den pågældende forståelsessammenhæng. Og det kan vel at mærke ikke være en hvilken som helst opgave eller et hvilket som helst problem. Der skal være tale om opgaver der er almindeligt anerkendte som betydningsfulde i sammenhængen. Her altså opgaver der anerkendes som hørende til "fysik", og som betragtes som "ikke-trivielle". Og opgaven skal endelig udføres på en måde der opfattes som meningsfuld for andre.

Vi kan nu stille to spørgsmål i forbindelse med med den begrebsudvikling vi har beskrevet, nemlig for det første

- spørgsmålet om hvad der kræves for at den kan ske, altså hvilke forudsætninger der skal være til stede,

og for det andet

- spørgsmålet om hvad vi kan sige om de mentale processer der fører til ændringerne.

Hvad angår betingelser for begrebsudvikling er den kognitive forskning blevet stærkt påvirket af Thomas Kuhns videnskabsteoretiske ideer om paradigmeskift (Kuhn, 1970).

Det er vigtigt at se denne påvirkning som en *inspiration*. Der er sammenhænge, men også en række afgørende forskelle mellem videnskabsteori og kognitiv udvikling (læringsteori). (Se kapitel 3)

Posner m.fl. (Posner et al., 1982) har opstillet følgende kriterier som ifølge dem skal være opfyldt for at begrebsudvikling kan finde sted:

1. Eleverne må være utilfredse med deres eksisterende begreber. (Med Piagets terminologi: akkommodation finder ikke sted så længe assimilation stadig er mulig) (Glaserfeld, 1995).
2. Eleverne må have en vis forståelse af det nye begreb. (Dvs. de skal fremstå som forståelige for eleverne. Dette er, som Posner og hans kolleger selv påpeger, en af de afgørende forhindringer for tilegnelsen af nye begreber. Eleverne forstår slet ikke deres betydning og hvilken indflydelse deres indførelse ville have)
3. Det nye begreb må umiddelbart forekomme plausibelt. (F.eks. ved at levere overbevisende forklaringsmekanismer)
4. Det nye begreb må have forklaringskraft og kunne bruges til forudsigelse. (Dvs. det skal fremstå som frugtbart)

Ligesom paradigmeskift i videnskabshistorien ifølge Kuhn forudsætter en krise indenfor det eksisterende paradigme som følge af en række anomalier, dvs. fænomener der tilsyneladende ikke lader sig forklare indenfor det eksisterende paradigme, skal eleverne altså ifølge denne "conceptual change"-model føle at deres eksisterende begrebsramme er utilstrækkelig i forhold til de problemer de står overfor.

Hos Kuhn (og andre videnskabsteoretikere f.eks. Lakatos (1970)), er det imidlertid en vigtig pointe at en videnskabelig krise ikke er tilstrækkelig for at bane vejen for et nyt paradigme. En forudsætning for at anomalier bliver opfattet som en krise og dermed for et paradigmeskift, er at der foreligger "forslag" der virker plausible og som er i stand til at løse nogle af de problemer som man er kommet til kort overfor indenfor det eksisterende paradigme. Tilsvarende kriterier bruges her som betingelser der menes at skulle være opfyldt for at elever kan tage nye begreber til sig. (I den case der beskrives i kapitel 9 i denne afhandling ser vi i afsnit 9.1.3 et godt eksempel på at en uløselig kognitiv konflikt *ikke* får eleverne at revidere deres grundlæggende antagelser).

To af forfatterne til ovenstående videnskabsteoretisk inspirerede kriterier for kognitiv udvikling har selv senere påpeget en række begrænsninger i denne model (Strike & Posner 1992).

For det første forudsætter den at såvel eksisterende som nye begreber og modeller er eksplicit formulerede i repræsentationer som gør dem direkte sammenlignelige. Men det er langt fra altid tilfældet. Dels kan de på forhånd eksisterende opfattelser foreligge i repræsentationer (f.eks. i form af billeder) der gør dem vanskelige at sammenligne med de mere eller mindre formaliserede modeller eleverne præsenteres for. Dels findes de måske slet ikke i nogen meningsfyldt forstand før eleven

bliver konfronteret med nye begreber og ideer og derfor bliver udfordret til at danne sig en mening om et givent fænomen. Det er altså slet ikke sikkert at en elev der f.eks. giver udtryk for ”forkerte” opfattelser af begreberne ”varme” og ”temperatur” kan siges på forhånd at have haft disse opfattelser. De kan sagtens være opstået efterhånden som disse begreber er blevet introduceret i fysikundervisningen hvor eleven så er blevet udfordret til at give dem mening. Eleven har selvfølgelig opfattelser og erfaringer som påvirker denne meningstilskrivelse, men de behøver slet ikke at være i samme kategori som de fejlopfattelser læreren konstaterer og som kan sammenlignes med den korrekte brug af begreberne.

For det andet vil nye informationer (ideer, erfaringer osv.) altid blive fortolket på baggrund af eksisterende mentale modeller. Derfor kan man ikke tale om en direkte konfrontation mellem forhåndsopfattelser og nye ideer, hvor man så kan prøve at afgøre hvad der er ”bedst”. Den konflikt mellem konkurrerende opfattelser som læreren ser, bliver derfor muligvis slet ikke erkendt af eleven.

Endelig spiller mange andre faktorer end mere eller mindre ”rationelle” overvejelser ind når det afgøres hvad elever kommer til at mene om et fænomen eller et problem. Bl.a. spiller affektive faktorer, som f.eks. hvad kammerater som man respekterer mener, i mange tilfælde måske en langt stærkere rolle end nye begrebers ”forklaringskraft”. Det er også sandsynligt at elevens oplevelse af ”frugtbarhed” ikke bare er en naturlig følge af at de indser at et bestemt problem lader sig løse ved hjælp af et nyt princip. Det kan afhænge af hvor vigtigt det pågældende problem er for eleven, og i reglen skal der nok mange eksempler til for at følelsen af frugtbarhed bliver afgørende (Smith, 1991).

Konklusionen af disse overvejelser er at mens elevens kognitive udvikling nok sker ”i hovedet” på eleven, så er den ovenfor beskrevne model snarere anvendelig på diskussioner og overvejelser i undervisningen af eksplicit formulerede udgaver af såvel elevens egne mentale modeller som af de nye ideer eleven forventes at forholde sig til. Modellerne skal så at sige ”ud på bordet” (Nersessian, 1992) så de kan blive genstand for bevidste overvejelser og diskussioner. Det er denne – væsentlige – del af læringsprocessen der kan tænkes beskrevet ved denne ”conceptual change”-model.

6.5 Conceptual change

Indenfor forskningen i begrebsudvikling (Conceptual Change) har man gjort meget ud af at studere ”alternative forestillinger” eller ”fejlopfattelser” hos elever. Betegnelserne i den engelsksprogede litteratur er ”alternative conceptions” eller ”alternative conceptual frameworks”.

Betegnelsen ”misconceptions” som især tidligere har været brugt, er i nogen grad kommet i miskredit, idet det har vist sig ufrugtbart at betragte de forestillinger hos elever, der forekommer at være i strid med videnskabelige ideer, som slet og ret forkerte (Driver & Easley, 1978). Dels har nogle ment at elevens ”alternative forestillinger” skulle betragtes som teorier om verden i egen ret (om end forskellige fra de ”videnskabelige” teorier) og at det derfor er meningsløst og pædagogisk skadeligt at betegne dem som ”forkerte”. Dels har man påpeget nødvendigheden af at tage elevernes eksisterende viden og forestillinger i betragtning når de skal lære noget nyt (Ausubel (1968) har fremsat dette synspunkt med stor styrke). Det kan man imidlertid bedst gøre ved i et vist omfang at tage disse forestillinger alvorligt.

Et særligt tilfælde af ”ikke-videnskabelige” meninger bliver dog stadig af mange, der ellers afviser betegnelsen, kaldt ”*misconceptions*” (Duit, 1991), nemlig de situationer hvor formel skoleundervisning har resulteret i sådanne opfattelser.

Ideer om ”*alternative conceptions*” og ”*misconceptions*” spiller imidlertid en betydelig rolle litteraturen om mentale modeller. I forbindelse med begreberne mentale modeller og konsensusmodeller, taler Shawn Glynn og Reinders Duit også om personlig viden og videnskabeligt accepteret viden og lægger vægt på at disse to ofte er i kraftig indbyrdes konflikt. Endvidere er elevernes personlige teorier i reglen ikke kvantitative, men kvalitative, og ofte fragmenterede og inkonsistente (Glynn, Yeany og Britton, 1991):

Many learning difficulties in science instruction are caused by the fact that students' mental models and the conceptual models to be learned are grounded in significantly different general frameworks and are often contradictory. Learning science then means to develop students' preinstructional mental models towards post-instructional models that share at least certain key facets with the conceptual model taught.

(Duit & Glynn, 1995, p.170)

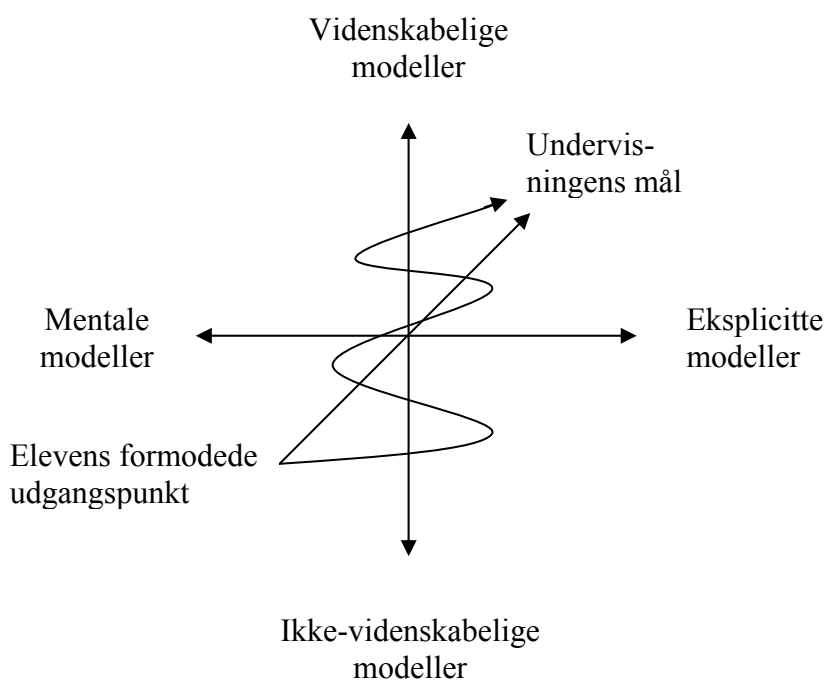
Der skelnes altså her mellem på den ene side videnskabelige modeller (*conceptual models*) som har været underskattet det videnskabelige samfunds bedømmelse og dermed er blevet ”videnskabeligt accepteret viden”, og på den anden side mentale modeller som er personlige og (ofte) ikke-videnskabelige.

Det kan nu være nyttigt, som det f.eks. gøres af Gilbert og Boulter (Gilbert og Boulter, 1998) også at skelne mellem eksplicitte og ikke-eksplicitte modeller.

Gilbert og Boulter skelner mellem

- mentale modeller
- udtrykte/formulerede modeller (expressed models)
- konsensusmodeller

Her skelnes altså mellem modeller der på en eller anden måde er formuleret så flere kan diskutere



Figur 6.5

og tage stilling til dem, og modeller der er private (personlige), altså i egentlig forstand mentale modeller. Nu vil konsensusmodeller jo nødvendigvis også være eksplicitte. Vi får derfor dels en skelnen mellem mentale og eksplicitte modeller, dels mellem videnskabelige modeller eller konsensusmodeller og ikke-videnskabelige modeller. Vi kan illustrere modsætningerne i nedenstående figur 6.5

Figuren sætter fokus på det forhold at mentale modeller i sagens natur ikke er eksplicitte og derfor ikke lader sig "diskutere" i normal forstand – heller ikke af den person der "har" den mentale model. For at den kan udsættes for kritik og rationel overvejelse, må den på en eller anden måde gøres eksplicit. Når vi taler om elevers "fejlagtige" eller ikke-videnskabelige modeller, er der i praksis tale om modeller i nederste højre kvadrant af figuren: Forsøg på at gøre en mental model eksplicit har resulteret i en model der er i strid med de videnskabelige principper undervisningen søger at formidle.

Det er klart at et mål med fysikundervisningen må være at udvikle elevernes mentale modeller i retning af bedre overensstemmelse med accepterede videnskabelige modeller. Eller i en måske bedre formulering: I retning af modeller der er i overensstemmelse med accepterede videnskabelige principper. Men de mentale modeller skal også gøres eksplicitte. At forstå et videnskabeligt begrebsunivers betyder bl.a. at kunne diskutere og formulere sig inden for dette univers. Desuden er læreprocessen afhængig af at de mentale modeller bliver gjort eksplicitte, så de kan indgå i samtaler med læreren og med andre elever. De mentale modeller udvikler sig uden tvivl også uden at blive gjort eksplicitte (og sikkert ofte uden at personen er bevidst om det), men i opbygningen af et videnskabeligt begrebsunivers er, som vi skal diskutere i det følgende, en konfrontation mellem egne forestillinger og nye ideer afgørende, og en sådan konfrontation sker bl.a. i dialog. Hvor den lige pil på figuren angiver den ønskelige bevægelse i elevens kognitive udvikling, er den bølgeformede pil et forsøg på at illustrere elevens vej frem til det ønskede mål.

Det er naturligvis vigtigt at understrege at når vi taler om at gøre mentale modeller eksplicitte, så er den ekspliciterede model ikke identisk med eller et præcist "billede" af den mentale model der søges beskrevet. En sådan overensstemmelse er selvfølgelig umulig.

I denne afhandling vil jeg bruge betegnelsen "mental model" både om egentlige ikke-eksplicitte mentale modeller og om ekspliciterede mentale modeller, altså forsøg på at beskrive personers mentale modeller. Beskrivelsen er en eksplicit beskrevet struktur som kan fungere som en plausibel repræsentation af en persons kompleks af ideer om et fænomen. Denne struktur opfylder ikke nødvendigvis de krav vi ville stille til en videnskabelig model, idet den kan være logisk selvmodsigende, i strid med accepterede fysiske love, i strid med observationsdata eller af andre grunde ubrugelig som fysisk model.

6.6 Udviklingen af mentale modeller

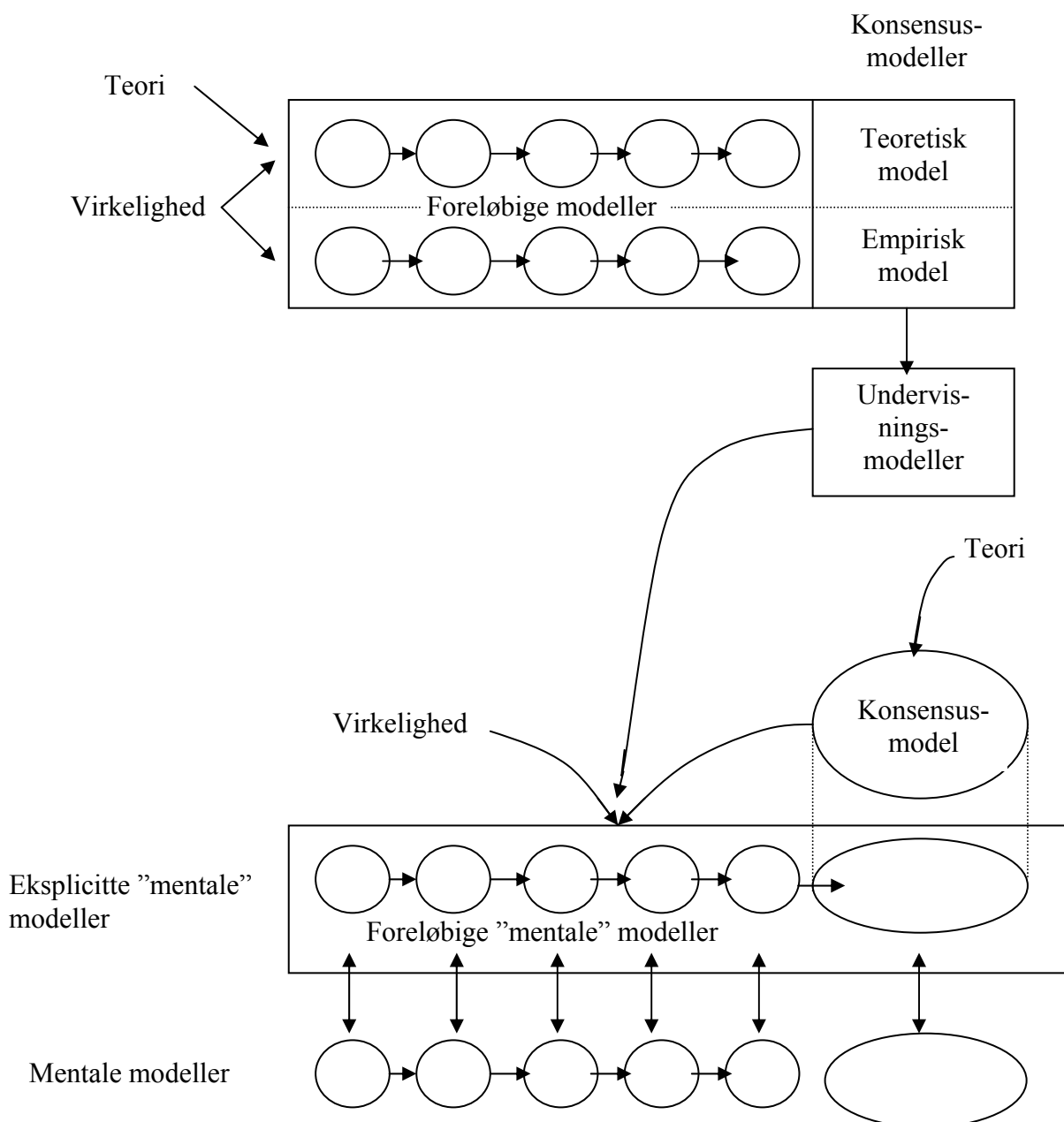
Følgende spørgsmål melder sig nu angående opbygningen og udviklingen af mentale modeller: Er udviklingen af mentale modeller analog til eller ligefrem identisk med opbygningen af konsensusmodeller, sådan som den finder sted f.eks. når man opbygger videnskabelige modeller for et fænomen?

Ligheder: Hvis mentale modeller skal have en funktion i den forstand at de hjælper os til at orientere os i verden og gør det muligt for os at handle i forhold til modellen, så har de dermed et træk tilfælles med konsensusmodeller, nemlig at de skal "virke". I Piagetske termer kan man sige at man

har udviklet skemaer ved hjælp af hvilke man kan få mening i ens erfaringsverden (Glaserfeld, 1995). Der er altså et vist slægtskab mellem mentale modeller og konsensusmodeller.

Forskelle: For det første har vi ikke nogen direkte tilgang til mentale modeller (eller Piagets skemaer). Hvis mentale modeller tænkes at være det der er "inde i hovedet" på folk, så er vi ikke i stand til at beskrive eller diskutere det på samme måde som eksplicitte konsensusmodeller. Det samme gælder opbygningen eller udviklingen af modellerne. Mens konsensusmodeller opbygges i "offentlighed" i stadig dialog med en selv eller andre, foregår udviklingen af de mentale modeller uden at man nødvendigvis selv er bevidst om hvad der sker. Mens konsensusmodeller udvikles med henblik på hvad en model "skal kunne", kan mentale modeller sagtens (og vil i reglen) udvikle sig uden at man på forhånd har nogen klar forestilling om hvad en adækvat mental model egentlig kunne være.

Endelig har konsensusmodellerne en logisk sammenhængende struktur – ellers ville vi ikke kalde dem modeller. Mentale modeller derimod er ikke nødvendigvis logisk opbygget, men kan være en række usammenhængende eller løst forbundne ideer, ofte endda i indbyrdes logisk modstrid.



Figur 6.6

Figuren på forrige side (figur 6.6) søger at sammenfatte disse overvejelser: Den øverste del illustrerer den gradvise udvikling af videnskabelige modeller eller konsensusmodeller. Der kan her være tale om såvel teoretiske modeller som empiriske modeller (afsnit 6.2).

Den nederste del illustrerer udviklingen af mentale modeller. Dem ved vi strengt taget intet om, så parallelt med dem er tegnet eksplicitte modeller der er forsøg på at beskrive de faktiske mentale modeller.

Uviklingen af mentale modeller påvirkes af en række faktorer: "Virkeligheden" (af Gilbert og Boulter kaldt "target systems" (Gilbert og Boulter, 1998)) og de konsensusmodeller man præsenteres for. Det sidste kan ske i form af det Gilbert og Boulter betegner "undervisningsmodeller", dvs. udgaver af konsensusmodeller specielt konstrueret med henblik på undervisning.

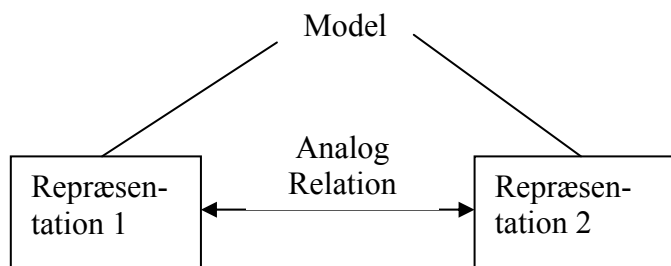
Endemålet for serien af mentale modeller er en model der (i den eksplicitte form) stemmer overens med (eller kan fungere som) en konsensusmodel. I afsnit 13.2.1 er udviklingen af en konkret elevs mentale modeller beskrevet på denne måde (figur 13.9)

6.7 Modeller som analogier

En model repræsenterer på en eller anden måde noget. Vi kan med Duit og Glynn (Duit & Glynn, 1995) tænke på modeller i forbindelse med en afbildning af et domæne på et andet. Det ene domæne (*target*) er det der skal beskrives, det andet (*source*) er det der skal bruges til at beskrive *target*. (Duit har også brugt betegnelsen *base* i stedet for *target* (Wilbers & Duit, 2001)). Når vi f.eks. (i pædagogisk øjemed) beskriver et elektrisk kredsløb ved hjælp af et system af vandrør, er det elektriske kredsløb *target* og vandkredsløbet er *source*. Eller når meteorologerne bruger en matematisk repræsentation til at forudsige vejret, så er atmosfæren (forstået som luftmasser med bestemte egenskaber – strengt taget indgår også egenskaber for Jordens overflade) *target*, og systemet af matematiske ligninger der bruges i computerberegningerne, er *source*. Det afgørende er nu at der findes analoge relationer mellem *source* og *target*: Relationer der forbinder fælles træk ved de to domæner. For at disse fælles træk skal kunne identificeres skal de to domæner bestå af sammenlignelige repræsentationer. F.eks. skal "elektrisk kredsløb" beskrives med begreber der kan knyttes sammen med begreber i beskrivelsen af "vandkredsløb": "Ledninger" svarer til "vandrør", "batteri" svarer til "pumpe", "spændingsforskel" svarer til "trykforskel", osv. I eksemplet med den meteorologiske model er det tilsvarende nødvendigt at repræsentere "atmosfæren" på en måde så analoge relationer til den abstrakte repræsentation der danner grundlaget for de computerprogrammer der anvendes, kan identificeres.

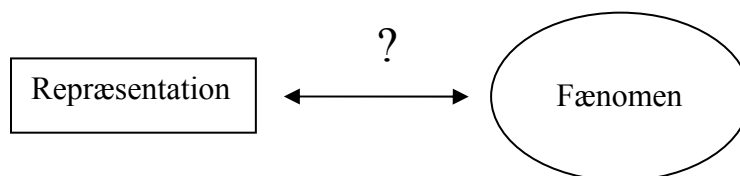
Det er almindeligt at bruge betegnelsen "model" for *source*, således at denne opfattes som en beskrivelse af vores *target*. I denne sprogbrug siger vi f.eks. "vandkredsløbet er en model for det elektriske kredsløb". Men det er vigtigt at forstå at relationerne grundlæggende er symmetriske, og at den asymmetriske sprogbrug (*source*, *target*) udelukkende afspejler vores *formål* med at etablere en analogi mellem de to domæner. I dette tilfælde formodes vi at kende og forstå vandkredsløb bedre end elektriske kredsløb, og vandrepræsentationen skal derfor kaste lys over det elektriske kredsløb, men det er ikke et forhold der ligger i de to repræsentationer i sig selv. Det får Duit og Glynn til at bruge betegnelsen "model" for selve den symmetriske afbildning mellem de to analoge domæner. Modelbegrebet befinder sig altså i en vis forstand på et højere niveau end de to repræsentationer der sammenlignes. Man kan sige at man først rigtigt har forstået analogien vandkredsløb-elektrisk kredsløb når man ser begge repræsentationer som eksempler på en overordnet ide (model), nemlig ideen "kredsløb". Glynn kalder denne overordnede ide for *the superordinate concept* (Glynn, 1991).

Hvis vi har to repræsentationer af et udsnit af verden (et objekt eller en gruppe af objekter, et fænomen, en proces), består etableringen af en model altså ifølge denne beskrivelse i at identificere analogi-relationer mellem de to repræsentationer.



Figur 6.7

Beskrivelsen rejser et problem som ikke diskuteres af Glynn og Duit. Hvis modeller skal være beskrivelser af "virkeligheden" eller af bestemte "fænomener", hvori kan så den analoge relation bestå? "Virkeligheden" er jo ikke i sig selv en repræsentation, og hvad den end er, er den ikke på samme "niveau" som de (sproglige eller billedlige) repræsentationer vi ønsker at bruge i vores beskrivelse.



Figur 6.8

Dette spørgsmål skal ikke åbne en filosofisk diskussion om hvad der skal forstås ved "virkeligheden" eller om fænomeners ontologiske status. Det skal blot henlede opmærksomheden på at hvis vi vil anvende modelbegrebet sådan som det her er blevet beskrevet, på elevers forestillinger, så er vi nødt til at gå ud fra at ethvert fænomen, uanset hvor og hvornår vi vælger vores udgangspunkt, foreligger som en eller anden repræsentation hos eleven.

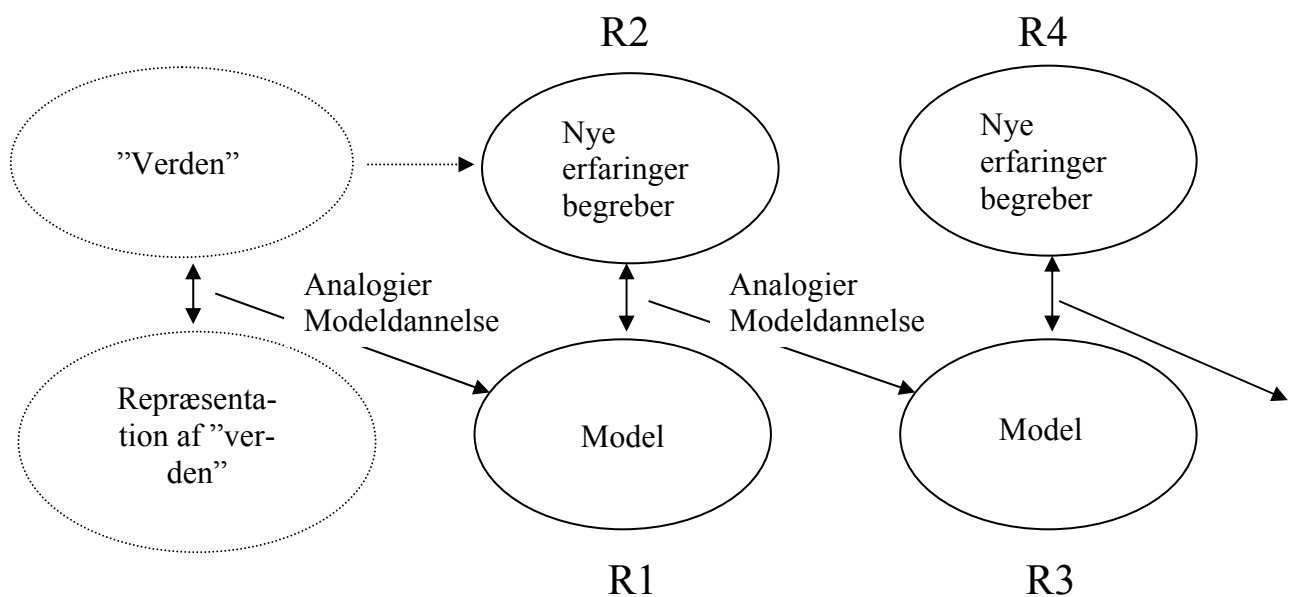
En mental model kan således forstås som en analog relation mellem et mere "umiddelbart" foreliggende billede af et fænomen og en i forhold til løsning af et fysikproblem mere brugbar model. F.eks. kan smeltende is i vand på den ene side ses som de processer vi faktisk observerer (isen forsvinder efterhånden og smeltevandet blandes med det øvrige vand), på den anden side som en proces hvor smeltevandet opfattes som adskilt fra det øvrige vand som det, efter at al isen er smeltet, kommer i termisk ligevægt med. (En beskrivelse af denne modeldannelsesproces ser vi i den sidste af de cases der gennemgås i del III).

Elevers kognitive udvikling i forhold til det givne fænomen kan beskrives som udviklingen af en række af stadig mere komplicerede mentale modeller – der, hvis eleven udsættes for systematisk undervisning som det sker i skolen, normalt vil udvise stadig større overensstemmelse med accepterede videnskabelige teorier. Dette er indholdet af den nederste del af figur 6.6.

6.8 Mentale modeller og cognitive change

Lad os nu prøve at forbinde denne forestilling om udvikling af mentale modeller med den beskrivelse af kognitiv udvikling som vi omtalte tidligere (*cognitive change*-modellen). I denne beskrivelse blev begrebsudviklingen set som et resultat af skabelsen af forbindelser mellem eksisterende ideer og nye input af forskellig slags. Det nye kan f.eks. være nye erfaringer eller nye begreber og teorier som eleven bliver præsenteret for.

Er der først etableret en model kan den konfronteres med nye ideer og teoretiske elementer. Eleven kan så søge efter fællestræk mellem den eksisterende model og de nye elementer. Denne søgen efter fællestræk eller analoge træk kan så føre til at der dannes nye mentale modeller. Her må man huske at, som tidligere nævnt, vore eksisterende "*conceptual frameworks*" selv bliver forandret under denne process. Det betyder at i den proces hvor det nye og det eksisterende forbindes til nye mentale modeller, ændres og udvides de eksisterende begreber. Med Piagets begreber: Den assimilationsproces der består i at etablere relationer mellem de eksisterende modeller og nye ideer suppleres med en akkommodation, altså en ændring af det eksisterende begrebsapparat.



Figur 6.9

Figur 6.9 er et forsøg på at fastholde disse ideer: Ud fra en mental model af dele af virkeligheden (repræsentationen R1) og nye repræsentationer (eller repræsentationsmuligheder) som eleven præsenteres for (R2) skabes modellen R3. Repræsentationen R2 kan være en "videnskabelig" model, eller det kan være mere isolerede videnskabelige begreber som er nye for eleven, eller det kan være nye erfaringer som eleven har gjort. Den nye model, R3, konfronteres så igen med en ny repræsentation, R4, og en ny model skabes, osv. Hvordan hele denne proces startes, vil vi ikke interessere os for (derfor de stiplede omrids til venstre i figuren). At bevægelsen i figuren sker væk fra "verden"

skal der ikke lægges noget i. Dog er der den pointe at bevægelsen heller ikke nødvendigvis postuleres at være rettet hen imod verden. Det forudsættes derimod som ønskværdigt at de mentale modeller udvikler sig i retning af stadig større overensstemmelse med accepterede videnskabelige teorier – og dermed også i retning af bedre bedre beskrivelser af verden.

6.9 Flere mentale modeller?

Hele denne beskrivelse af hvordan mentale modeller udvikler sig synes at være baseret på den forestilling at der i forhold til et bestemt fænomen eller et bestemt konkret forhold, f.eks. i et fysiklaboratorium, enten kun findes én model hos eleven eller, hvis der er tale om flere, så er det en uholdbar situation som elevens mentale processer nødvendigvis søger at komme ud over. ”Forståelse” har været knyttet sammen med evnen til at skabe de forbindelser mellem nye og eksisterende ideer (nye og gamle modeller). Der har ikke været nogen diskussion af hvor længe to (eller flere) mentale modeller i relation til samme fænomen eller problem kan tænkes at eksistere ved siden af hinanden, og der har derfor heller ikke været nogen overvejelser over om begrebet ”forståelse” også kunne tænkes at have mening selv om de nødvendige forbindelser mellem forskellige repræsentationer endnu ikke er skabt. Altså om der kan være tale om en større eller mindre forståelse af en bestemt repræsentation eller model uden at den overordnede fælles forståelse er til stede. Det er velkendt (se f.eks. Hennesy (1993)) at

- mange elever sagtens kan fastholde deres ”ikke-videnskabelige” forestillinger i forhold til dagligdags situationer, mens de i bestemte ”fysiksituationer” (laboratoriearbejde, opgave-regning) med betydelig grad af kompetence opererer med de videnskabeligt accepterede fysikmodeller, og at
- mange elever er dygtige til at løse opgaver indenfor et bestemt teoretisk begrebsunivers, mens de kommer til kort i en situation hvor de med brug af det samme begrebsunivers skal håndtere virkelige fænomener.

Det er klart at fastholdelse af fejlagtige opfattelser af videnskabelige begreber i dagligdags sammenhænge kan være problematisk. Men problemet skyldes måske først og fremmest en manglende bevidsthed om at der faktisk er tale om to forskellige modeller og en deraf følgende ”afsmitning” af daglig-opfattelserne i fysiksammenhænge. Hvis en sådan afsmitning faktisk kan undgås, og ”fysiksituationerne” håndteres korrekt, er det næppe rimeligt at hævde at der slet ikke foreligger forståelse af fysikmodellerne.

Det er også klart at manglende evne til at bruge et teoretisk apparat i forhold til problemer hvor dette teoriapparat er relevant, kan være tegn på manglende forståelse. Men det er lige så klart at forståelse kan findes på mange niveauer. Også eksperter kan let komme ud for problemer som de ikke er i stand til at løse, selv om problemet faktisk *kan* løses med det begrebsapparat der er til rådighed. Elever der ikke kan forbinde fysikbegreberne med virkelige fænomener eller beskrivelser af virkelige fænomener på et niveau der svarer til undervisningens målsætning, har selvfølgelig en utilstrækkelig overordnet forståelse. Men det vil nok være vanskeligt at trække en skarp grænse der udelukker at man også kan tale om forståelse hos elever der kun i stand til at manipulere med teoriens begreber og love på teoriens ”egne betingelser” uden at kunne forbinde dem med virkeligheden.

Betydningen af denne diskussion i forbindelse med mentale modeller, er at man meget vel kan forestille sig at elever samtidig har flere forskellige modeller med relation til et bestemt fænomen eller problem. Man kan ydermere forestille sig at flere modeller udvikler sig parallelt, hver især efter et skema der minder om det ovenfor beskrevne. F.eks. kan eleven udvikle en beskrivelse af virkelige

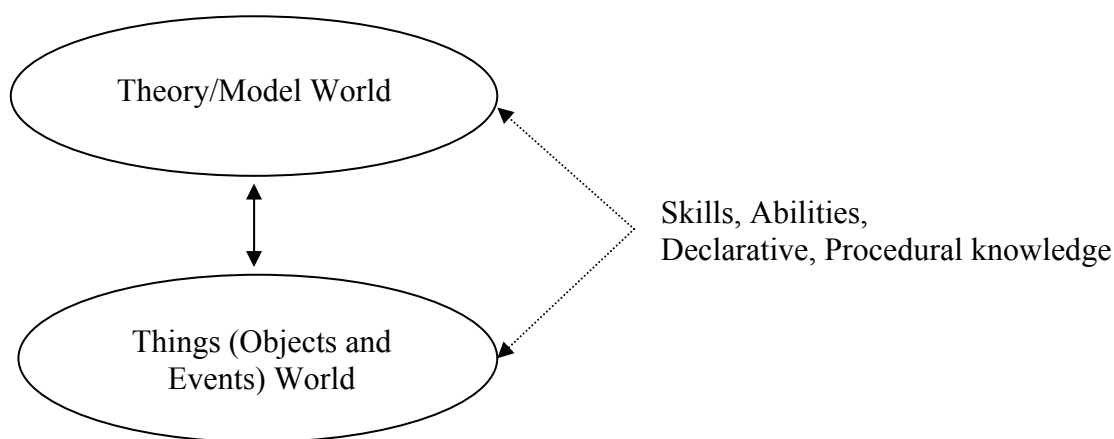
fænomener som i stadig højere grad involverer ”fysikord” og fysikbegreber, eller eleven udvikler sin opfattelse (model) af et fænomen som følge af observationer, forsøg, manipulationer. Derved udvikler eleven mentale modeller i direkte relation til fænomenet. Men samtidig lærer eleven måske teoretiske begreber og sammenhænge (med relevans for det pågældende fænomen), og udvikler derved stadig mere komplicerede modeller inden for et teoretisk univers. Pointen er nu at disse to modeludviklinger (den fænommære og den teoretiske) ikke nødvendigvis forbindes – eller kun forbindes utilstrækkeligt. Opgaven for eleven bliver derfor at få skabt forbindelser mellem disse to modeller eller ”verdener”, en teori-verden og en objekt-verden eller fænomen-verden..

Det er naturligvis sådanne forbindelser vi har talt om i den tidligere diskussion om kognitiv udvikling. Altså forbindelser som den lærende skal etablere for opnå forståelse af nye begreber. Forskellen er blot den at de to områder der skal forbindes, ikke er de ”eksisterende” ideer eller modeller og ”nye” ideer, men to områder eller mentale modeller som hver for sig er etablerede, eller på mere eller mindre lige fod under udvikling. Elevens opgave er altså ikke her at assimilere det ”nye” på baggrund af det ”kendte”, men at forbinde to ”verdener”, teori-verden og fænomen-verden.

6.10 To-verdens modellen

Denne synsvinkel, som kan siges at bygge på *Conceptual Change*-modellen, men også er en modifikation af den, bliver brugt af Andr ee Tiberghien og Jean-Francois Le Marechal i deres beskrivelse af kognitiv aktivitet i forbindelse med laboratoriarbejde i henholdsvis fysik og kemi (Tiberghien, 1999, Le Marechal, 1999).

Modellen for hvordan elevernes viden eller opfattelser er organiseret ser altså således ud (Tiberghien, 1999):



Categorisation of knowledge based on a modelling activity
(Figur fra Tiberghien, 1999)

Figur 6.10

Tiberghien understreger at der er tale om en anden opdeling af elevernes viden end opdelingen i deklarativ og procedural viden (*declarative and procedural knowledge*), altså Hodsons skelnen mellem *knowing that* og *knowing how* (Hodson, 1993) som vi omtalte i afsnit 5.4. Hvad enten man ope-

rerer indenfor ”teori-verden” eller indenfor ”verden af ting” (eller i begge på samme tid), skal man bruge *både* deklarativ og procedural viden. Dette er i overensstemmelse med den ovenfor udviklede ide at der er tale om udvikling af mentale modeller indenfor begge domæner. Den viden der kan tilskrives ”teori-verden” er altså ikke blot en obhobning af facts, men indeholder relationer og sammenhænge som giver anledning til mentale modeller ”i sig selv”, og altså ikke kun modeller der forbinder ”teori-verden” og ”verden af ting”. Tiberghien taler ganske vist om teori/model-verden, og reserverer dermed tilsyneladende betegnelsen ”model” for dette domæne. Men her bliver betydningen brugt i betydningen videnskabelig, teoretisk baseret, model, mens vi også vil bruge betegnelsen ”mental model” om elevernes begreb om ”ting-verden”, også når deres ideer ikke har forbindelse med teori-verden. Også Tiberghien bruger betegnelsen ”*modelling*” om elevernes mentale aktivitet når de kun taler om ”*Objects and Events*”.

Tiberghien og Le Marechal beskriver nu elevernes mentale verden som opdelt i disse to delverdener. ”Ting-verden” eller den ”virkelige verden” findes i en repræsentation der indeholder betegnelser for ting, tings egenskaber, relationer mellem ting og begivenheder. Hertil hører f.eks. også fysiske måleinstrumenter. Den anden delverden, ”teori-verden”, opfattes som en rekonstruktion af den første. Grundlæggende tænkes den at have samme struktur som ”ting-verden”. Betegnelserne i den ene har altså et modstykke i den anden. F.eks. arbejder nogle elever, som Tiberghien har observeret, med at modellere og eksperimentere med energiomsætninger. I ”ting-verden” forekommer f.eks. et batteri og en pære. I den ”teori/model-verden” som præsenteres for eleverne, findes bl.a. begreber som svarer til ”batteri” og ”pære”, nemlig ”reservoir” og ”transformer”, så et batteri er et eksempel på et reservoir og en pære er et eksempel på en transformer. Det største problem elever står overfor i laboratoriesituationer er at forbinde de to verdener. Tiberghien og Le Marechal har observeret elever under løsningen af eksperimentelle fysik- og kemiproblemer og har konstateret at dialog og aktivitet hos eleverne der holder sig inden for én af de to verdener, forekommer langt hyppigere end dialog og aktivitet der forbinder dem. Og netop de mest krævende opgaver hvad angår begrebsforståelse forudsætter en sammenkobling af de to verdener.

6.11 Komplexitet og situeret kognition

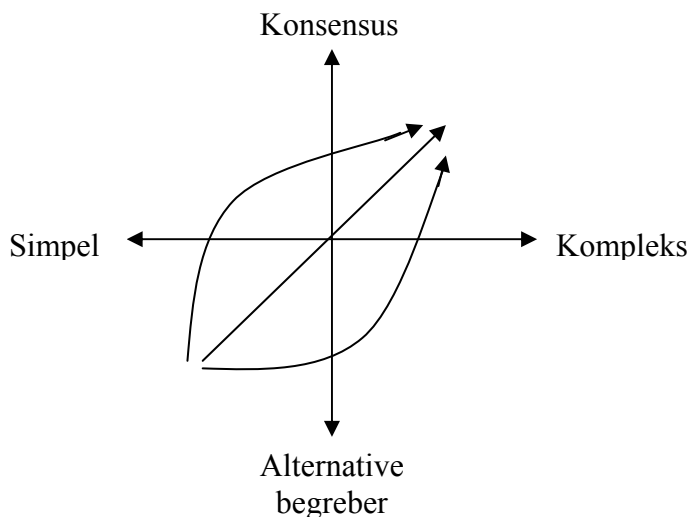
Nogle aspekter ved den kognitive udvikling som ikke er blevet berørt i diskussionen indtil nu, kommer fra den forskning Stefan von Aufschnaiters gruppe i Bremen har arbejdet med i en længere årrække (se f.eks. von Aufschnaiter, 2001, von Aufschnaiter & Welzel, 1999, Schoster & von Aufschnaiter, 1999). Disse aspekter har at gøre med hvordan elevernes forståelse (i vores sprogbrug: deres mentale modeller) udvikler sig i en given situation, dvs. når eleven står overfor et bestemt fænomen eller et bestemt problem. To hovedpointer er kommet ud af dette arbejde:

- 1) Eleverne konstruerer mening (mentale modeller) med stadig større kompleksitet.
- 2) I enhver situation begynder man med det laveste kompleksitetsniveau. Eksperten adskiller sig fra begynderen derved at han har tilegnet sig kognitive værktøjer som sætter ham i stand til at bevæge sig hurtigere op gennem kompleksitetsniveauerne, og at han ender på et højere niveau.

På det laveste kompleksitetsniveau omhandler *objekter*. På de næste håndteres invariante *egenskaber* for flere objekter og deres indbyrdes sammenhæng. På de næste opereres der med stadig mere generelle *principper* og forbindelser mellem principper.

I den optik der her er anvendt, fokuseres der altså ikke så meget på at elevernes begrebsudvikling går fra ”forkerte” ideer eller modeller mod ”videnskabelige”, men på at de går fra mindre komplekse til mere komplekse. Det har den didaktiske betydning for diskussionen af elevers mentale model-

ler at det er lige så vigtigt at karakterisere en mental model i forhold til dens kompleksitet som i forhold til dens grad af overensstemmelse med accepteret videnskab.



Figur 6.11

6.12 Sammenfatning

Sammenfattende kan vi sige at vi, når vi forsøger at beskrive elevers forståelse og handlinger ved at referere til deres mentale modeller, er nødt til at tage hensyn til flere dimensioner.

- Forholdet mellem eksplicite modeller og mentale modeller i egentlig forstand. Vi må overveje hvordan de modeller som vi konstruerer på baggrund af elevernes udsagn og handlinger afspejler elevernes egne tanker.
- Spørgsmålet om hvornår mentale modeller skabes. Findes de hos eleven før de ekspliciteres, eller skabes de i situationen på baggrund af et diffust apparat af kognitive redskaber m.m. som eleven har udviklet? Det spørgsmål har betydning for vores fortolkning af de mentale modeller elever giver udtryk for i samtaler.
- Forholdet mellem mentale modeller og begrebsudvikling. Elevernes udvikling af mentale modeller er intimt forbundet med deres begrebsudvikling. Det betyder at det giver mening at fortolke de mentale modeller elever danner i forhold til et givet fænomen som et udtryk for det stade hvorpå deres begrebsudvikling befinder sig.
- Muligheden for sameksistens af flere mentale modeller. Vi må være opmærksomme på at de mentale modeller vi tillægger eleverne ikke nødvendigvis er de eneste de har, og at et ændret perspektiv eller en variation i den givne kontekst kan fremkalde andre modeller.

6.13 Mentale modeller og eksperimentelle undersøgelser

Det er velkendt både fra videnskabsteorien og den pædagogiske forskning at de begreber og teoretiske forestillinger man har, er afgørende for hvordan man fortolker de iagttagelser man gør. Med andre ord: Alle observationer er teoriladede; man ser hvad man forventer at se. (Se kapitel 3.6). Som et eksempel på betydningen af dette i undervisnings- og læringssammenhæng kan vi se på et eksperiment udført af Gunstone og White (1981). En spand med sand og et lod hænger i hver sin ende af en snor der går hen over en trisse. Spanden og loddet er i ligevægt. En lille skefuld sand bliver nu hældt oven i spanden. Selv om spanden ikke bevæger sig ”ser” nogle elever at den synker. Derefter hældes mere sand i spanden, så den accelererer nedad. De elever der forventer konstant hastighed observerer konstant hastighed, mens de elever der forventer accelereret bevægelse observerer hvad de forventer. Det er også veldokumenteret (se f.eks. Gunstone & White, 1981, Olsen, T., P., Hewson, P., W., Lyons, L., 1996) at selv om observationer fortolkes så de ses at stride mod forudfattede meninger, så er de ofte alligevel ikke tilstrækkelige til at overbevise iagttageren om at disse meninger er forkerte. Ligesom det videnskabelige samfund i sådanne situationer ofte søger at ”redde” de eksisterende teorier med ad hoc hypoteser og tilføjelser, vil elever være tilbøjelig til at prøve at bortforklare den ”tilsyneladende” observation. Dette er en af grundene til at eksperimentelle demonstrationer så sjældent er særlig effektive når de bruges som pædagogiske midler til at overbevise elever om teoretiske fysiske sammenhænge.

Hvad der imidlertid ikke har været så meget fokus på, er den betydning elevers mentale modeller har på deres forståelse af det eksperimentelle design og på deres muligheder for selv at stille eksperimentelle spørgsmål.

Den måde man hvorpå man opfatter en situation, afhænger på afgørende vis af de mentale modeller man har i forbindelse med denne situation. Dette gælder også for elever der står overfor en eksperimentel situation. Hvis vi derfor vil forstå elevers handlemuligheder og læringsmuligheder i forbindelse med en eksperimentel fysik-aktivitet, må vi prøve at danne os et billede af de mentale modeller på baggrund af hvilke de ser situationen.

7 Opbygning af analysemodel

7.1 Rekonstruktion af mentale modeller

For at kunne opbygge en forestilling om de mentale billeder elever danner sig i forbindelse med et fysisk fænomen eller en fysisk model, må vi råde over nogle redskaber der kan hjælpe os til at få mening i de observationer vi gør. Observationerne kan bestå af elevernes samtaler, elevernes handlinger, elevernes skriftlige arbejde eller interviews med eleverne. Men disse observationer kan ikke i sig selv udgøre et tilstrækkeligt grundlag for at beskrive elevernes ideer. Al menneskelig kommunikation forudsætter en lang række implicite og ofte ubevidste antagelser om samtalepartnerens eller læserens forudsætninger og ideer. Når vi prøver at forstå hvad andre siger, bringer vi vore egne forestillinger og meninger i spil. Vi sammenligner det vi hører eller læser, med de opfattelser vi selv har inden for det område der behandles, og benytter dette grundlag til at rekonstruere modpartens tanker på en for os meningsfyldt måde³.

Hvis en lærer ved meget lidt om de ideer og forestillinger der udgør den udtalte baggrund for en elevs kommunikation, kommer vores (ofte ubevidste) rekonstruktion af elevens tanker til at ligge fjernt fra elevens ”faktiske” ideer. Betegnelsen ”faktiske ideer” bruges her ikke for at antyde at det er muligt entydigt at beskrive en persons ideer ”korrekt”, dvs. så beskrivelsen er objektiv og dækkende for disse ideer. Enhver beskrivelse vil være en fortolkning eller rekonstruktion på baggrund af såvel elevens udsagn som af fortolkerens forestillinger. Det kan alligevel være nyttigt at gå ud fra den ide at eleven faktisk ”har” nogle tanker eller mentale modeller, selv om disse aldrig vil være direkte tilgængelige for andre. At andres rekonstruktion af disse mentale modeller ligger langt fra de ”faktiske”, skal ikke betyde andet end at de vil være vanskelige at genkende for eleven selv.

En række strategier kan tænkes, som kan forbedre kvaliteten af de mentale modeller vi rekonstruerer. For det første er det naturligvis af stor betydning at kende til de enkelte elevers ”historie”, dvs. deres hverdagserfaringer, hvilken undervisning de har været udsat for, hvilke relevante aktiviteter de har deltaget i.

Men det er ikke tilstrækkeligt at kende til elevernes baggrund, for at rekonstruere didaktisk brugbare mentale modeller af deres tænkning. Det er også nødvendigt at råde over nogle mere generelle redskaber. Disse redskaber skal afspejle vores viden om forholdet mellem fag, undervisning og læring i fysik, altså det fysikdidaktiske felt. Der tale om vores viden om læring, vores viden om begrebsdannelse, især på det matematisk-naturvidenskabelige område, vores viden om fællestræk i de hverdagsbegreber om vores omverden som alle har opbygget og vores viden om fællestræk i den måde elevers tænkning påvirkes af at de bliver konfronteret med fysikkens begrebsverden.

Den viden der er til rådighed på disse områder er på ingen måde dækkende, ja, i mange henseender er den særdeles usikker. Men en videreudvikling af denne viden forudsætter en vekselvirkning mellem vore eksisterende indsigter, forsøg på at kortlægge elevernes forståelse på baggrund af disse indsigter og en konfrontation mellem denne kortlægning og elevernes videre læringsforløb.

Forskningen har været i stand til at identificere en række kognitive strukturer der karakteriserer såvel begrebsdannelsen i fysik, som de mentale modeller der opbygges i forbindelse med forsøg på at forstå fysiske fænomener. Der er tale om nogle fælles grundlæggende karakteristika som har forskellig udtryksform for forskellige elever i forskellige situationer. Der altså normalt ikke tale om at det samme begreb eller den samme model viser sig uændret i et stort antal tilfælde. Men der er dels tale om visse træk der går igen i et stort antal tilfælde, dels om at det har vist sig frugtbart at søge at

³ Disse overvejelser afspejler nogle af grundtrækkene i Gadamers hermeneutik (Gadamer, 2004)

identificere en række grundelementer i elevens tænkning. Vi får altså en vekselvirkning mellem en bestræbelse på at finde eksempler på forestillinger og tankemønstre hos den enkelte elev, som vi i forvejen ved er udbredt forekommende, og en bestræbelse på at beskrive de særlige træk ved den pågældende elevs tænkning. Disse særlige træk beskrives så i et sprog og en form som svarer til beskrivelsen af de kendte fællestræk, således at en så vidt mulig sammenhængende og velinformeret mental model for den enkelte elev kan konstrueres.

7.2 Kognitive atomer: p-prims

Grundideen bag den her beskrevne metode er den model af den menneskelige bevidsthed som er beskrevet i afsnit 6.4, ifølge hvilken bevidstheden indeholder dels stabile kognitive elementer og spontane konstruktioner med kort levetid. De stabile bevidsthedselementer omfatter faktisk viden, begreber, tankemønstre og interesser. De udgør de kognitive redskaber der bruges i de spontane konstruktioner, som omfatter observationer, spørgsmål, umiddelbare forventninger, forklaringer og mentale repræsentationer. Vi prøver derfor i analysen af elevernes forståelse at nå frem til de stabile kognitive elementer for at kunne konstruere et troværdigt billede af deres faktiske konstruktioner og mentale repræsentationer.

Den fremgangsmåde der her beskrives kan siges at have paralleller til den opfattelse af observationer og eksperimenter som afhængige af en teoretisk forforståelse, der er et af omdrejningspunkterne i denne afhandling. For bedre at kunne kortlægge elevens teoretiske forudsætninger for at fortolke observationer og tilrettelægge eksperimenter, må vi i vores studium af elevernes arbejde bringe egne teoretiske forudsætninger i spil. Kun gennem en bestemt teoretisk optik kan vi gøre os håb om at skabe et forståeligt og sammenhængende billede af elevernes ideer. Det er klart at andre synsvinkler vil kunne give andre billeder. Men uden en teoretisk forståelsesramme bliver billedet diffust og uklart – bl.a. fordi vores fortolkninger alligevel vil bygge på visse forudsætninger, forudsætninger som vi blot ikke er bevidste om.

Forskningen har frembragt en lang række beskrivelser af de kognitive redskaber som ligger bag opbygningen af mentale billeder i forhold til fysiske fænomener.

Et kendt forsøg på at identificere ”kognitive atomer” er diSessas (1983) arbejde med såkaldte ”phenomenological primitives”, forkortet til *p-prims*. diSessa beskriver *p-prims* således:

”P-prims are rather short knowledge structures (typically involving configurations of only a few parts) that act largely by being recognized...in the systems behavior or hypothesized behavior. ...p-prims become the intuitive equivalent of physics laws; they may explain other phenomena, but are not themselves explained with the knowledge system”

diSessa (1993)

P-prims er altså grundforestillinger om hvordan tingene ”fungerer” eller ”hænger sammen”. Vores forventninger om hvordan et fysisk system vil opføre sig, udspringer af sådanne grundforestillinger – på samme måde som fysiske love sammenfatter fysikkens beskrivelse af et systems opførsel og tjener som forklaring af denne opførsel.

diSessas tese er at mennesker der begynder at beskæftige sig med fysik, tager udgangspunkt i et omfattende arsenal af kendte fænomener og intuitive forklaringer af disse fænomener. Dette er *p-prims*, og de er ikke ordnet hierarkisk, dvs. ingen opfattes som vigtigere eller mere fundamentale end andre. Efterhånden som man bliver undervist i fysik og beskæftiger sig med fysikkens behandling af forskellige fænomener, opnår nogle højere status end andre og får udvidet deres anvendel-

sesområde. Andre *p*-prim nedprioriteres eller opløses helt, idet de tilhørende fænomener forklares af andre begreber med højere prioritet. På denne måde udvikles en stadig mere frugtbar fysisk begrebsforståelse.

Et eksempel på to intuitive ideer, beskrevet af diSessa, der er indbyrdes forbundne, er ideen om "elasticitet" og ideen om "stivhed". Vi skal ikke her tænke på et forfinet elasticitetsbegreb med forestillinger om hysteresis osv., men om en elementær forestilling om at ting kan deformeres og rette sig ud igen. En gummibold er elastisk. Derfor kan den hoppe. En glaskugle derimod vil de fleste ikke opfatte som elastisk. Den er stiv – og hvis den (lidt uventet) også kan hoppe, viser det sig at de fleste nybegyndere i fysik vil forsøge at forklare dette på en anden måde end ved elasticitet (diSessa, 1983). For begynderen er begreberne "elasticitet" og "stivhed" sideordnede, mens den erfarne fysiker tillægger "elasticitet" en højere prioritet og ser det som et mere fundamentalt begreb end "stivhed". For fysikeren er den "stive" glaskugle også elastisk, men karakteriseret ved nogle andre konstanter. I løbet af læreprocessen i fysik bliver elevens ideer modificerede, og tidligere sideordnede begreber kommer til at indgå i et hierarki.

Et andet eksempel på et *p*-prim er det som diSessa kalder "Ohms *p*-prim". Det grundlæggende tankemønster er her at forestille sig en *igangsættende påvirkning* eller en *igangsættende "kraft"* som resulterer i en eller anden *effekt*. (bemærk at ordene "kraft" og "effekt" her ikke er brugt i den fysik-teoretiske betydning). Den resulterende effekt afhænger imidlertid ikke bare af påvirkningen, men også af en *modstand* eller *forhindring* der skal overvindes. Vi får altså følgende mønster:

påvirkning → modstand → effekt

Det er dette tankemønster der kaldes Ohms *p*-prim. Ligheden med Ohms lov for et elektrisk lederstykke er åbenbar, hvis Ohms lov opfattes på følgende måde: Spændingsforskellen er en påvirkning som resulterer i en strøm. Strømmens størrelse er for en given spændingsforskel afhængig af resistansen (modstanden) i lederen. Denne sammenhæng udtrykkes i ligningen

$$I = \frac{U}{R}$$

(hvor *I* er strømstyrken, *U* spændingsforskellen og *R* resistansen). Det er værd at bemærke, som diSessa gør det (diSessa 1983), at selv om denne fortolkning af Ohms lov hvor spændingen ses som "årsag" og strømmen den resulterende "virkning", er så almindelig at den ofte opfattes som identisk med loven, så er der kun tale om en fortolkning. Man kan sige at det grundlæggende tankemønster, Ohms *p*-prim, i mange situationer får lov til at dominere den fysiske forståelse af Ohms lov.

Ohms *p*-prim kan siges at være sammensat af endnu mere elementære tankemønstre: Ideen om at en påvirkning er nødvendig for bevægelse eller ændringer og ideen om at "verden yder modstand" mod forsøg på ændringer. Det første tankemønster finder vi f.eks. i ideen om at en kraft er nødvendig for at få ting til at bevæge sig (sådan som det er grundlaget for Aristoteles beskrivelse af bevægelse, Aristoteles 1999). Det andet (der findes modstand) kan repræsenteres ved et slags inertibegreb: Tunge ting yder modstand mod bevægelse. Modstandsintuitionen kan også finde udtryk i forestillingen om gnidningsmodstand, f.eks. luftmodstand. Man kan sige at der bag ved inertibegrebet som bag luftmodstandsbegrebet findes en kognitivt mere fundamental forestilling (utvivlsomt inspireret af erfaringer med såvel inertie som med luftmodstand): Bevægelse er resultatet af en påvirkning, og denne påvirkning møder altid modstand. Og dette tankemønster er så et eksempel på det endnu mere generelle tankemønster, Ohms *p*-prim.

Når elever har vanskeligheder med den idealiserede model for bevægelse hvor der ikke forekommer gnidningskræfter, kan det dels være fordi vores erfaringer med bevægelse næsten altid involverer

sådanne kræfter og dels fordi inerti og gnidningsmodstand mentalt sammenfattes i en mere generel (og naturligvis også mere vag) forestilling om ”modstand” som en del af tankemønsteret Ohms p-prim. Som vi skal se i de cases der præsenteres i del III, kan virkelige bevægelser, med gnidningsmodstand, dermed også være vanskelige at analysere. Det kognitivt-didaktiske formål med den idealiserede model (f.eks. ”det frie fald”) bliver at løfte bevægelsen med modstand fra at være et elementært intuitivt fænomen til at være et fænomen hvor modstanden er en komplikation af den ideale model, hvilket gør det muligt at beskrive fænomenet ved hjælp af fysikkens kraftbegreb.

Herunder (figur 7.1) er anført en række af de primitive forestillinger eller tankemønstre (p-prims) som diSessa har identificeret i forbindelse med mekaniske problemer, men som i deres grundstruktur kan genfindes inden for mange fysikområder. (diSessa, 1993)

Primitiv ide	Beskrivelse
Kraft som bevægende årsag	En påvirkning i en bestemt retning får et objekt til at flytte sig i den retning eller til at bevæge sig med en vis hastighed i den retning
Små/lette ting bevæger sig hurtigere	Store objekter er sværere at bevæge end mindre.
Indre modstand	Store og tunge objekter gør modstand mod bevægelse
Ohms p-prim	En påvirkning frembringer via en modstand eller forhindring en virkning.
At dø ud	Al bevægelse dør efterhånden ud
Styring	Hvis en bevægelse styres, vil styringen præge objektets videre bevægelse.
Ophævelse	En påvirkning kan ophæves af en modsat rettet påvirkning
Overvinde	En påvirkning (kraft, tendens) kan overvinde en anden.

Figur 7.1
p-prims

Mange andre end diSessa har arbejdet med at identificere ”kognitive atomer” eller grundlæggende og alment forekommende tankemønstre i elevers tænkning i fysik. (Steinberg and Clement 2001, Tiberghien 1997). For at kunne hjælpe elever i deres udvikling af fysikkens begreber er en forståelse af sådanne grundideer nyttig. Nogle har været inde på at en del af de begreber og mentale forestillinger som elever danner og som ikke er helt korrekte, men heller ikke helt forkerte, kan udnyttes i undervisningen. I stedet for at søge at udrydde de forkerte (eller kun i begrænset omfang rigtige) begreber, kan man i undervisningen aktivt bruge dem som brobygning eller mellemtrin (”*bridging analogies*” (Clement 1993)) på vejen til en bedre begrebsdannelse. Clement beskriver f.eks. hvordan der hos de fleste findes ideer som kan opfattes som forstadier til et mere udviklet inertibegreb: En ”*hold back tendency*” og en ”*keep going tendency*”. Clement, Brown og Zietsman (1989) taler om at finde ”anchoring conceptions” som skal forankre undervisningen i elevernes grundlæggende intuitioner.

I eksperimentelle situationer, eller situationer hvor elever forventes at reflektere over og give forklaringer på iagttagne fænomener, får deres grundforestillinger en særlig betydning. Vi har tidligere diskuteret hvordan de spørgsmål det er muligt at stille i en eksperimentel situation afhænger af elevernes mentale modeller.

7.3 Analysemodellen

Den metode der vil blive brugt i det følgende til at beskrive udviklingen af elevernes mentale modeller er følgende: Først foretages en strukturel *fysisk* analyse af det problem eller fænomen eleverne er konfronteret med (en konsensusmodel beskrives). Derefter kombineres vores viden om elevernes hverdagsforståelse og udbredte tankemønstre med konsensusmodellen til en didaktisk analyse af de kognitive vanskeligheder i situationen. Denne analyse bruges så til at opnå en dybere forståelse af elevernes dialog og foretage en rekonstruktion af udviklingen af deres mentale modeller.

Analysemodellen er illustreret i figur 7.2 i slutningen af dette afsnit. For at forstå princippet, kan vi bruge en af de beskrevne cases i del III som eksempel: Der er her tale om at elever skal undersøge hvordan små papirkageforme falder, enten hver for sig eller flere kageforme sat sammen.

7.3.1 Teoretisk analyse af fænomenet – opstilling af konsensusmodel

Situationen kan fysikteoretisk beskrives som en bevægelse påvirket af to kræfter: Tyngdekraften og en modstandskraft (luftmodstand). En model for fænomenet kan altså være et frit fald (uden modstand), modificeret med en luftmodstand der kan afhænge af forskellige parametre (kageformenes form, kageformenes hastighed). Da tyngdekraften afhænger af antallet af kageforme der er sat oven i hinanden, vil bevægelsen også afhænge af antallet af kageforme.

Hvis vi antager at luftmodstanden vokser med hastigheden, og at kageformene i begyndelsen accelererer (som i det frie fald), vil kageformene i denne model opnå en konstant hastighed (terminalhastighed), nemlig når luftmodstanden bliver lige så stor som tyngdekraften. Da tyngdekraften afhænger af antallet af kageforme, må denne terminalhastighed være større, jo flere kageforme der er sat oven i hinanden. De forskellige terminalhastigheder sætter os nu i stand til at besvare spørgsmålet: Hvordan afhænger luftmodstanden af kageformenes faldhastighed.

7.3.2 Kognitiv og didaktisk analyse

Faldende genstande er et kendt fænomen – men de usynlige abstrakte størrelser, tyngdekraft og luftmodstand, er ikke umiddelbart intuitivt tilgængelige. Hvis f.eks. Ohms p -prim skal aktiveres, skal tyngdekraften opfattes som en virkning og luftmodstanden som en modstand/hindring. Og hvis dette mentale billede er dannet, skal modstanden desuden ses som noget der kan tænkes at variere. Hvis den ikke ses sådan, vil der ikke være mulighed for en forestilling om terminalhastighed.

Vi må huske på at bevægelse i tyngdefeltet er særlig vanskelig at forstå, fordi bevægelsen er uafhængig af massen. Derfor vil den intuition (p -prim) der siger at ”små/lette ting bevæger sig hurtigere” fordi ”store objekter er sværere at bevæge end mindre” nærmest være en hindring for forståelsen af fænomenet. Først når et komplet billede er dannet af de indgående kræfter og deres indbyrdes samspil (f.eks. et billede af kageformene med kraftpile), kan denne p -prim udnyttes konstruktivt.

En mental model der f.eks. skal gøre det muligt at stille spørgsmålet ”hvordan afhænger luftmodstanden af hastigheden”, skal altså omfatte et billede af et system der er påvirket af to modsatte kræfter, hvor den ene (tyngdekraften) er konstant og den anden (modstanden) vokser med hastigheden, og hvor systemets bevægelse er bestemt af den resulterende kraft i overensstemmelse med Newtons 2. lov.

7.3.3 Rekonstruktion af elevernes mentale modeller

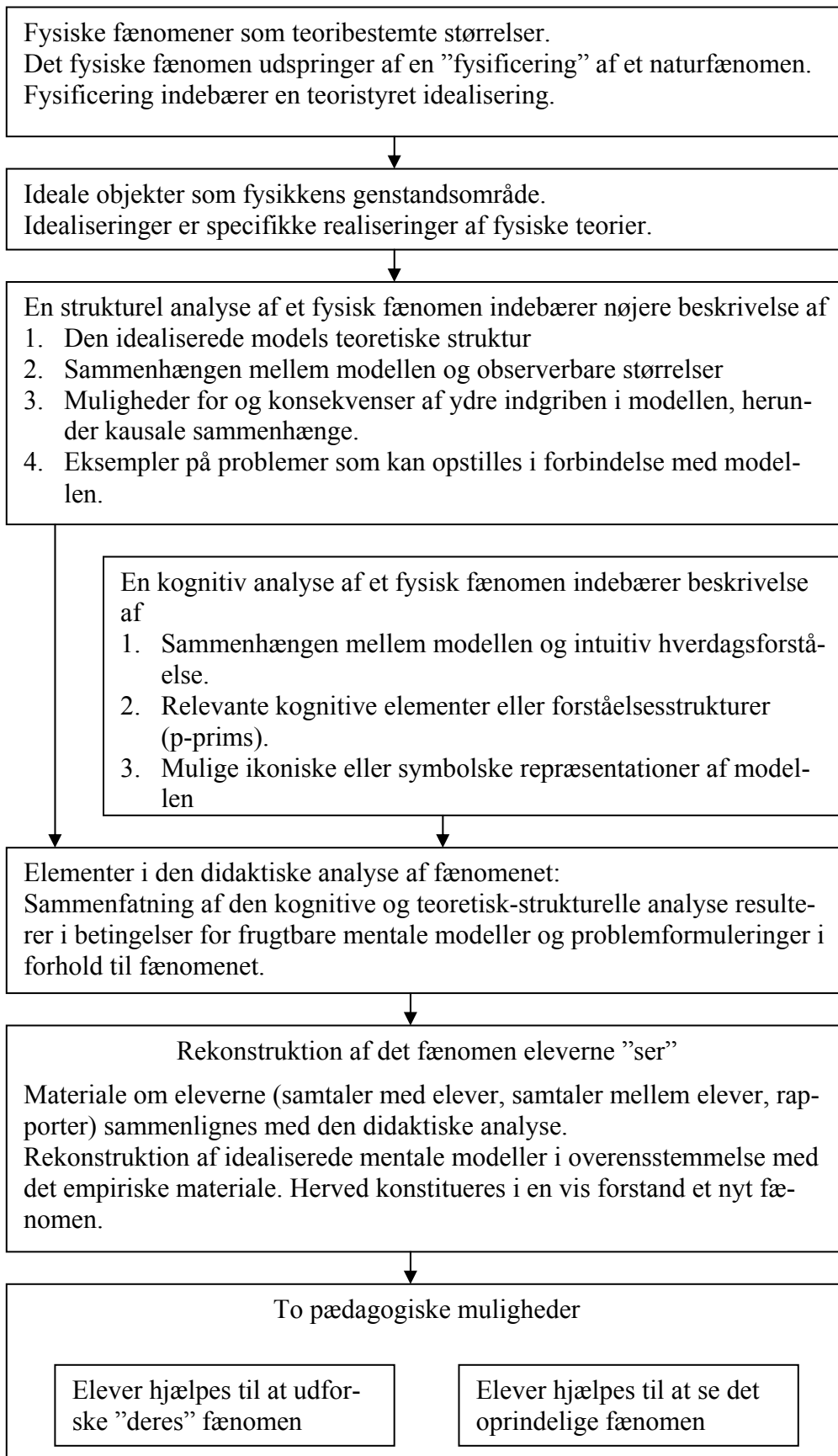
På baggrund af denne analyse kan vi nu prøve at rekonstruere elevernes mentale modeller: Vi kan f.eks. se om deres første modeller ligner modellen for et frit fald, eller om kræfterne allerede indgår på et tidligt tidspunkt i modellerne. Vi kan se om luftmodstanden opfattes som en variabel størrelse, eller som en statisk forhindring der skal overvindes. Altså om modstanden kun opfattes som ”påvirkning” og bevægelsen som ”virkning”, eller om modstanden også opfattes som ”virkning” af noget.

Præcis hvordan elevernes mentale modeller udvikler sig kan vi selvfølgelig ikke vide på forhånd, ligesom indholdet af disse modeller kan være helt uforudsigeligt. Men ved hjælp af den forudgående analyse kan vi prøve at rekonstruere disse modeller og vurdere hvor frugtbare de er i forhold til at kunne forstå forskellige eksperimentelle problemstillinger i forhold til fænomenet.

Som eksempel er her som sagt brugt en af de cases der beskrives nøjere i del III. Det betyder også at indsigter fra de mentale modeller hos eleverne der har vist sig i denne case, har påvirket den beskrevne teoretiske analyse. Ved hjælp af den kan vi nu studere andre elever, osv. Ved et vekselspil mellem studiet af faktiske elever og den didaktiske analyse kan et stadig mere forfinet værktøj udvikles til at følge elevens forståelse af såvel eksperimentelle situationer som af andre fysikproblemer.

Dette vekselspil har resulteret i et yderligere træk ved mentale modeller der rekonstrueres ved hjælp af analysemodellen. Det viser sig at det er umuligt at indfange elevernes (ufuldstændige og sammensatte) mentale modeller ved blot at sammenligne dem med en simpel konsensusmodel der på traditionel vis beskriver fænomenet fysikteoretisk. Elevernes mentale modeller har mange aspekter, de ser teori og fænomener i mange forskellige perspektiver.

Det kan derfor nødvendigt, afhængigt af det givne problem og af det materiale man anvender til rekonstruktion af de mentale modeller (dialog, skriftlige rapporter el.lign.), at opstille en række perspektiver og disses indbyrdes forbindelser som kan danne basis for rekonstruktionen. I den første case har jeg opstillet fem forskellige perspektiver (et formel- et graf- et system- et ligevægts- og et kausalperspektiv). De vil blive forklaret nøjere i afsnit 8.4 og er naturligvis ikke de eneste mulige perspektiver der kan anlægges. I den anden case (de faldende kageforme som jeg netop har omtalt) er materialet et andet (skriftlige redegørelser fra elever), og her er rekonstruktionen fokuseret på det kausale perspektiv og på udviklingen af mentale modeller i dette perspektiv. I den sidste case har jeg igen opstillet fem perspektiver – dog ikke helt de samme som i den første, idet situationen er en lidt anden. Bl.a. optræder her et bevarelsesperspektiv. Et sådant perspektiv er ikke irrelevant for *problemstillingen* i den første case. Men eleverne anvender det ikke, så det spiller ingen rolle i rekonstruktionen af deres mentale modeller.



Figur 7.2 Analysemodel

DEL III

Indledning til del III

I denne del analyseres tre cases hvor elever i gymnasiet arbejder med eksperimentelle problemstillinger. De tre cases er udvalgt i et stort materiale hvor elever fra to forskellige klasser er blevet fulgt nøje i forskellige undervisningssituationer. Eleverne er blevet videofilmnet, er blevet interviewet og har besvaret ark med spørgsmål. I de udvalgte cases er dialogen på videooptagelserne blevet skrevet ud.

De tre cases drejer sig alle om eksperimentelle problemstillinger. Men da fokus her er betydningen af elevernes teoretiske indsigt for deres mulighed for at forstå og arbejde med sådanne problemstillinger, er hovedvægten ikke lagt på den fase hvor eleverne faktisk *udfører* eksperimenter, men på deres diskussioner og tænkning under planlægning og databehandling.

I den første case skal fire elever ud fra et empirisk materiale finde ud af hvordan modstanden på en skibsmodel trukket gennem vand afhænger af hastigheden.

I den anden case følger vi to elever der eksperimentelt skal finde ud af hvad faldhastigheden for en faldende papirkageform afhænger af.

I den tredje case følger vi først og fremmest én elev der i samarbejde med to andre skal planlægge og udføre forsøg hvor de skal bestemme varmfylde og smeltevarme.

Udvælgelsen af to af de tre cases (skibsmodel og varmelære) er sket ud fra følgende kriterier:

- Elevernes dialog (optaget med video) har fagligt været særlig fyldig, dvs. de har talt og diskuteret meget i forbindelse med den stillede opgave
- Eleverne har mødt mange vanskeligheder som de skulle overvinde

I den tredje case (faldende kageforme) består det analyserede materiale af en serie spørgeark hvor eleverne på forskellige tidspunkter i forløbet gør rede for deres forestillinger om det eksperimentelle problem og dets mulige løsning.

To cases (skibsmodel og kageforme) er baseret på opgaver der grundlæggende bevæger sig i det samme fysikteoretiske univers.

Metoden der er anvendt til analyse af disse cases er grundlæggende den der er beskrevet i afsnit 7.3 (den detaljerede fremgangsmåde vil blive beskrevet i forbindelse med de enkelte cases):

En omhyggelig gennemgang af elevernes dialog eller spørgeark er blevet brugt i forbindelse med teoretiske overvejelser til en foreløbig fastlæggelse af særlige læringsproblemer og andre didaktisk relevante træk ved situationen. Denne gennemgang har også tjent som inspiration til beskrivelsen af de forskellige typer billeder eller perspektiver i problemet der kan bruges i forsøg på at rekonstruere elevernes mentale modeller.

Derefter er der foretaget en mere detaljeret analyse af den teoretiske struktur i det problem eleverne arbejder med, og denne analyse er så benyttet til en detaljeret analyse af elevernes læringsvanskeligheder og udvikling af mentale modeller.

I kapitel 8 udformes de fem perspektiver som danner baggrund for beskrivelsen af elevernes mentale modeller i forbindelse med skibsmodel- og kageformcasene.

Kapitlerne 9, 10, 11 er baseret på elevernes dialog i skibsmodelproblemet. Eleverne møder tre afgørende vanskeligheder: Forståelse af begrebet ”acceleration” som både matematisk og fysisk begreb, adskillelse af begreberne ”acceleration” og ”kraft” og forståelse af begrebet ”afhængighed” i forbindelse med spørgsmålet om hvad der er bestemmende for modstanden på skibsmodellen. Deres arbejde med disse tre vanskeligheder beskrevet og analyseret i hvert af de tre kapitler 9,10 og 11.

I kapitel 12 beskrives udviklingen af de enkelte elevers mentale billeder.

Kapitel 13 fortæller historien om hvordan to elever opbygger mentale modeller i forhold til faldende kageforme, og hvordan den ene elev efterhånden udvikler mentale modeller der sætter hende i stand til at stille nye eksperimentelle spørgsmål til fænomenet.

I kapitel 14 udformes de fem perspektiver som danner baggrund for beskrivelsen af elevernes mentale modeller i forbindelse med de case omhandlende forsøg i varmelære i som gennemgås i næste kapitel.

Kapitel 15 er en analyse af udviklingen af de mentale modeller i forbindelse med to forsøg i varmelære som udvikles af en elev – den samme elev som den ene af de to vi fulgte i kageformsforsøget.

8 Mekanik: Skibsmodel og kageforme

8.1 De to cases

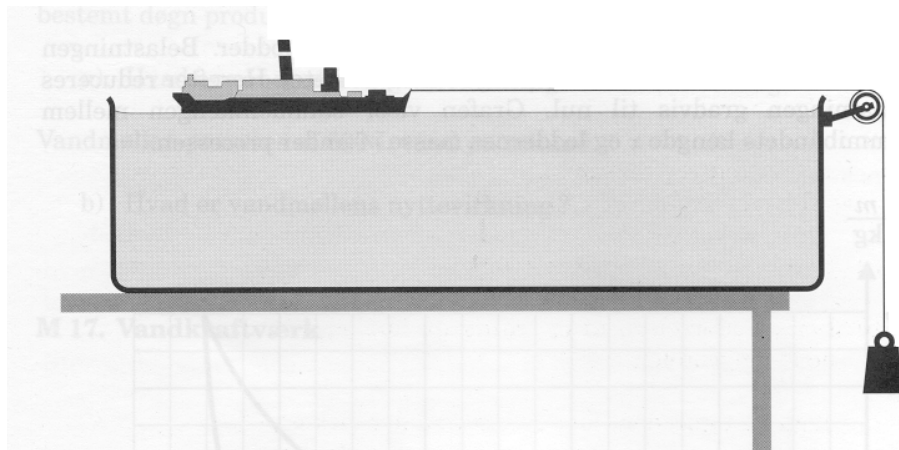
De to første cases vi ser på har deres teoretiske grundlag i mekanikken – undersøgelse af en skibsmodel der trækkes gennem vand og papirkageforme der falder med luftmodstand.

De to problemstillinger er grundlæggende stærkt beslægtede. Skibsmodelproblemet er lidt mere sammensat, da der her er tale om to masser: Skibets masse og trækloddets masse. Desuden undersøges bevægelsen i detalje før skibet når sin endelige konstante hastighed.

I kageformproblemet figurerer der kun én masse, nemlig kageformens masse, og eleverne forventes at fokusere på den del af bevægelsen hvor kageformene har opnået terminalhastighed. At problemet er mindre sammensat gør det ikke nødvendigvis lettere at håndtere.

Det nære slægtskab mellem de to eksperimentelle situationer ligger ikke kun i at de begge drejer sig om bevægelse med modstand, men at der i begge tilfælde er tale om at et objekt når en terminalhastighed, altså en konstant hastighed. Der er også tale om dynamiske situationer hvor den størrelse der skal undersøges (modstanden) ændrer sig kontinuert og uden for elevens kontrol. Disse faktorer er af væsentlig betydning for elevernes vanskeligheder.

Den følgende teoretiske analyse har gyldighed for begge cases, men når der f.eks. refereres til to masser, er det naturligvis skibsmodellen der tænkes på. Den opgave eleverne har fået stillet i forbindelse med skibsmodellen, kan ses i appendiks I.



Figur 8.1

8.2 Skibsmodel

Den første case (skibsmodellen) er baseret på studiet af et gruppearbejde i en gruppe på fire elever i en matematisk 2.g. Observationerne blev udført i forbindelse med ALF-projektet, et studie i gymnasieelevers læreprocesser i fysik støttet af det danske undervisningsministerium (Jens Dolin og Verner Schilling, 2001). Gruppearbejdet varede to undervisningsmoduler á 95 minutter. Det bestod i at eleverne ud fra et empirisk materiale skulle finde ud af hvordan modstanden på en skibsmodel trukket gennem vand (figur 8.1) afhænger af hastigheden. Opgaven, som blev udarbejdet i samarbejde med klassens lærer, var en specielt tilpasset og udvidet version af en opgave i ”Fysikopgaver, Obligatorisk niveau” (Fysikforlaget 1994).

Der er ikke tale om en fuldstændig autentisk undervisningssituation, da læreren overhovedet ikke diskuterede opgaven med eleverne i løbet af disse to moduler. Til gengæld blandede observatørerne (VS i første modul og KB i andet) sig undertiden (men sjældent), når vi skønnede at det kunne føre til en bedre indsigt i elevernes tanke- og læreprocesser.

Det analyserede gruppearbejde er kun et enkelt ud af et meget stort antal undervisningssituationer som vi fulgte og videofilmede i den pågældende klasse i en to-årig periode (for flere detaljer, se ALF-rapporten). Vi kendte altså eleverne særdeles godt, hvilket også har betydning for min analyse af deres dialog i denne case.

8.2.1 Elevernes baggrund

Elevernes faglige baggrund var følgende: Gruppearbejdet fandt sted i begyndelsen af marts i 2.g. Klassen havde i knap to måneder, dvs. 9 undervisningsmoduler á 95 minutter, arbejdet med mekanik. De første fire moduler drejede sig om kinematikens begreber og sammenhængen med den differentialregning de havde lært i matematiktimerne. Derefter fulgte to moduler hvori der blev arbejdet med kræfter og Newtons 2. lov. Et eksempel, der blev arbejdet grundigt med, var fald med luftmodstand – et problem der er stærkt beslægtet med opgaven i gruppearbejdet. Det næste modul foregik i laboratoriet hvor eleverne målte accelerationer i forskellige situationer, og på forskellig måde (timer, fotoceller, fotoceller forbundet til computer). Af speciel relevans for opgaven i gruppearbejdet var den ene laboratorieøvelse, nemlig den hvor der blev målt på en vogn på luftpudebane, trukket af et lod i en snor. Endelig fulgte to moduler hvor der blev arbejdet med EDB: Dels behandling af resultater fra laboratorieøvelsen, dels arbejde med computermodeller for mekaniske problemer.

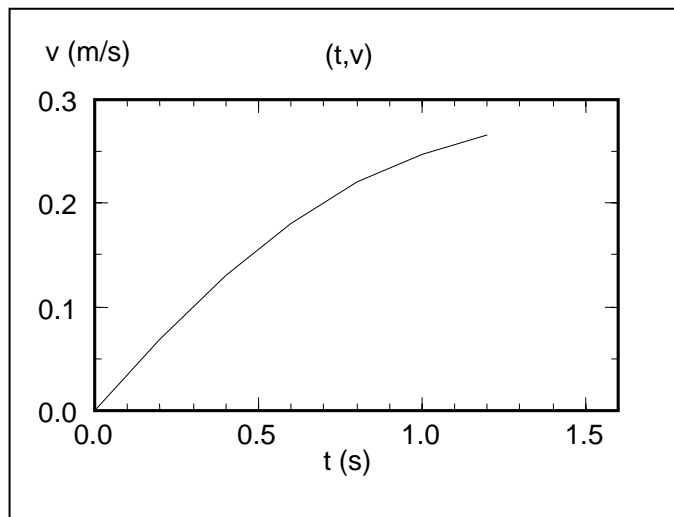
8.2.2 Problemet

Her følger en kort beskrivelse af den opgave eleverne blev præsenteret for (se hele opgaven i app.1). Derefter følger en gengivelse af opgaven som eleverne fik den udleveret. Opgaven drejer sig om en skibsmodel med masse M der trækkes gennem vand ved hjælp af en snor som over en trisse er forbundet med et lille lod med masse m . Først skal eleverne opstille bevægelsesligningen (Newtons 2. lov) uden at tage hensyn til modstand (spm.1), og accelerationen skal regnes ud (spm.2). Derefter skal de for den realistiske situation hvor der er modstand, ud fra opgivne tal for hastigheden til forskellige tidspunkter, tegne en hastighedsgraf (spm.3), og sammenligne med situationen uden modstand (spm.4).

Så følger et spørgsmål der skal vise om eleverne kan se hvor stor modstandskraften er når hastigheden er blevet konstant (nemlig lig med tyngdekraften på loddet) (spm.5). Derefter skal de for situationen med modstand tegne kraftpile, opskrive Newtons 2. lov (spm.6), isolere modstandskraften og

herudfra udregne værdier for denne (spm.7). I de to sidste spørgsmål skal de overveje hvad modstandskraften kan tænkes at afhænge af (spm.8), og ved hjælp af de beregnede værdier afgøre om den er proportional med hastigheden eller med kvadratet på hastigheden (spm.9).

Til orientering anføres her på fig. 8.2 den graf eleverne skal tegne (den var *ikke* med i den opgave de fik):



Figur8.2

Skibets hastighed som funktion af tiden

8.2.3 Bearbejdning af datamaterialet

Elevernes dialog er optaget med videokamera og derefter skrevet ud. På baggrund af udskriften er foretaget en første analyse af elevernes vanskeligheder, og dialogen kommenteres skriftligt. En ny udskrift er derefter fremstillet, som følger hver enkelt elev – samtidig med at kronologien er opretholdt: Dialogen er organiseret i fire søjler, én for hver elev, samtidig med at den lodrette akse er en tidsakse, dvs. udsagn der står ved siden af hinanden er sagt samtidig eller umiddelbart efter hinanden. De to udskrifter kan bruges til dels at fokusere på hele dialogen og hvordan problemerne bearbejdes i fællesskab, dels at følge den enkelte elevs udvikling.

8.3 Kageforme

Eleverne i en matematisk 2.g (der er tale om en anden klasse og skole end klassen med skibsmodellen) skulle undersøge hvordan kageforme faldt. Opgaven var åben, de kunne selv bestemme hvad de ville undersøge, men de fik løbende hjælp og ideer af læreren. Fra starten blev de opfordret til at finde ud af hvad faldbevægelsen kan tænkes at afhænge af. Mange kom frem til at luftmodstanden var afgørende, og en del elever fandt ud af at luftmodstanden afhænger af hastigheden og prøvede at undersøge denne afhængighed.

8.3.1 Baggrund

Eleverne havde gennemgået relevant teori (Newtons 2.lov) og havde udført forsøg med ultralyd-sonde CBR – calculator based ranger) for at beskrive forskellige bevægelser. Både før projektet og mens det stod på, løste de teoretiske opgaver, f.eks. opgaver om faldskærmsudspring.

8.3.2 Bearbejdning af datamaterialet

Eleverne fik før projektet udleveret et spørgeark hvorpå de skulle angive hvordan de opfattede den eksperimentelle situation: Hvordan de mente kageformen ville bevæge sig i faldet, hvad bevægelsen afhang af, hvordan evt. afhængigheder kunne undersøges nærmere, osv. (Appendiks 2). Arkene blev afleveret og for nogle elevers vedkommende suppleret med korte samtaler. I løbet af projektet fik eleverne fire gange det samme ark som de hver gang skulle udfylde på ny. På baggrund af disse besvarelser blev udviklingen af de mentale modeller for to af eleverne søgt rekonstrueret. De to elever er udvalgt de særlig tydeligt illustrerer vanskelighederne ved og betydningen af udviklingen af relevante mentale modeller. Ligesom for eleverne i den forrige case havde jeg fulgt deres fysikundervisning siden begyndelsen af 1.g og kendte dem derfor godt.

8.4 Fem forskellige perspektiver for mentale modeller

Elevernes dialog viser at de mentale modeller de udvikler, er meget sammensatte, og det er derfor heller ikke muligt i analysen at opbygge simple modeller af de eksperimentelle situationer. På basis af studiet af elevernes dialog har jeg valgt fem forskellige modelaspekter for mekaniksituationerne, som jeg gennemgår én for én. De fem aspekter eller perspektiver er:

- Formelperspektivet
- grafperspektivet
- systemperspektivet
- ligevægtperspektivet og
- kausalperspektivet

Betydningen af disse navne er måske lidt uklar, og betegnelserne kan selvfølgelig diskuteres, men det skulle gerne blive klart i det følgende hvad de menes med dem.

8.4.1 Formelperspektivet

To formler eller formelkomplekser er nødt til at spille en rolle i elevernes mentale forestillinger om den eksperimentelle situation i skibsmodellen: Formler til definition af acceleration og Newtons 2. Lov.

Acceleration:

Begrebet acceleration kan forstås som resultat af en matematisk udregning. En formel angiver i forhold til en given situation en algoritme til udregning af accelerationen. Her kan der knyttes an til to formelbilleder:

1. Et billede knyttet til formlen $v = a \cdot t$ eller $a = v/t$. Denne formel kan opfattes som en matematisk beskrivelse af en bevægelse med konstant hastighed og begyndeshastighed nul. Opfattet på denne måde kan den naturligt forbindes med en retlinet graf af hastigheden som funktion af tiden (grafperspektivet). Men formlen kan også mere vagt opfattes som et udtryk for at acceleration er noget med hastighed divideret med tid. I så fald har formelbilledet ikke den samme styrke, fordi det ikke omfatter en klar forståelse af hvad de enkelte symboler i formlen står for, altså hvilke talværdier der kan indsættes i en given situation.
2. Det andet billede er baseret på formlen $a = \Delta v / \Delta t$, altså at acceleration kan udregnes som et (lille) hastighedsinterval divideret med det tilsvarende tidsinterval. Dette billede kan delvist forbindes med formelbilledet $(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$ fra matematikken, som angiver hvordan man udregner hældningskoefficienten for en graf. Denne formel danner en "bro" mellem begrebet acceleration og det grafiske billede (en (v,t)-graf) hvormed eleverne har repræsenteret måledata. Også her kan man tænke sig at det mentale billede befinder sig et sted mellem en fuldt operationel forståelse af formlen $a = \Delta v / \Delta t$ og den ovenfor nævnte løse opfattelse af acceleration som hastighed divideret med tid.

Newtons 2. lov:

Det andet centrale formelkompleks der er på spil i dette problem, er Newtons 2. lov anvendt på enten hele systemet eller dele deraf. Hvis vi ser på skibsmodellen bliver ligningen for hele systemet

$$mg - F_{\text{mod}} = (M+m) a \Leftrightarrow F_{\text{mod}} = mg - (m + M) a$$

Denne ligning kan (og skal i dette problem) bruges til at bestemme kraften til et givet tidspunkt ud fra kendskabet til bevægelsens acceleration. Men selv om det således er muligt i denne eksperimentelle situation entydigt at bestemme F_{mod} ud fra kendskab til a , er der ikke tale om en *generel* sammenhæng mellem skibets acceleration og F_{mod} . (En sådan generel sammenhæng er der derimod mellem *hastigheden* og F_{mod}).

Dette formelbillede skal derfor være forbundet med forestillinger om bestemte kausale sammenhænge for at kunne bruges korrekt. Hvis de kausale sammenhænge mellem fysiske størrelser forveksles med muligheder for at beregne den ene størrelse ud fra den anden, blokeres muligheden for at tilrettelægge og variere forsøgsbetingelser sådan at de kausale sammenhænge kan undersøges.

Formelkomplekset i forbindelse med Newtons 2.lov kan også spille en rolle i forbindelse med overvejelser om hvilke dele af systemet modstandskraften virker på. Dels skal F_{mod} placeres i ligningerne, dels giver systemet af ligninger for de forskellige delsystemer et særligt perspektiv på dette spørgsmål. Ligningen for hele systemet (skib + lod) kan fås på to måder:

1. Ved at se på de ydre kræfter på det samlede system
2. Ved at addere ligningerne for de enkelte delsystemer:

$$F_s - F_{\text{mod}} = Ma \wedge mg - F_s = ma \Rightarrow mg - F_{\text{mod}} = (m + M) a$$

Bruges den sidstnævnte mulighed, optræder F_{mod} pludselig sammen med tyngdekraften mg på lod-det, uden at der har været lejlighed til at danne sig et billede af hele systemet med de kræfter der virker på det. Som vi skal se, tyder elevernes dialog på at dette giver anledning til to kvalitativt forskellige mentale billeder af situationen.

8.4.2 Grafperspektivet

Den graf af hastigheden som funktion af tiden som eleverne tegner, kan tjene flere formål. Dels kan grafen (som del af det mentale billede) i forbindelse med formler/metoder til udregning af hældningskoefficient (formelperspektivet) forbedre muligheden for at kunne udregne accelerationen til forskellige tidspunkter. Dels er grafen en af de måder man kan danne sig et samlet overblik over den dynamiske udvikling i den eksperimentelle situation.

Med hensyn til det første (beregning af accelerationen) kan billedet af grafen give mulighed for at forstå en formel som $a = \Delta v / \Delta t$ som andet og mere end en formel der skal sættes tal ind i, og dermed hjælpe til at man sætter de *rigtige* tal ind. At der her er mangler i elevernes mentale billeder vil vi se meget tydeligt af de problemer de har med at udregne korrekte værdier for accelerationen.

Bevidstheden om hvordan grafen ville se ud *uden* modstand er også nødvendig for at forstå alle spørgsmål i forbindelse med den *faktiske* grafs udseende. Først når dette billede står klart for en, giver grafens særlige form overhovedet mening. Og først da kan man forstå og stille præcise spørgsmål om modstandens virkning på bevægelsen.

8.4.3 Systemperspektivet

Den afgørende betydning af at have mentale billeder af hvordan de forskellige dele af det fysiske system er forbundne, og hvilke kræfter der virker mellem dem, ligger i at først med sådanne billeder er det muligt at forstå spørgsmål om sammenhængen mellem kræfter og acceleration (kausalperspektivet), herunder mere specifikt modstandskraftens betydning. Det betyder formentlig at man skal have et billede der kombinerer en simpel repræsentation af den fysiske opstilling i situationen (de objekter man kan se, samt en forestilling om deres mulige bevægelser eller udvikling) med visse usynlige størrelser som masser, tyngdekraft, modstandskraft.

Formlerne der beskriver systemet og dets delsystemer kan sikkert kun forstås på en måde så de bliver anvendelige hvis de indgående størrelser bliver gjort "reelle" (dvs. får en billedlig repræsentation – også når der tale om abstrakte størrelser som kræfter).

8.4.4 Ligevægtperspektivet

Dette perspektiv optræder i den foreliggende eksperimentelle situation først og fremmes i forbindelse med den stationære tilstand der opnås når modstandskraften har samme størrelse som trækraften fra loddet, således at hastigheden er konstant. At dette perspektiv mentalt set er noget andet end en del af formelperspektivet og systemperspektivet, kan vi se af at ingen af eleverne er i stand til at forbinde disse perspektiver så de kan forstå den stationære tilstand. Skiftet fra en dynamisk synsvinkel hvor systemet ses som noget under udvikling, til en synsvinkel der fokuserer på uforanderlige størrelser i en dynamisk situation (modstandskraften, hastigheden), er et meget betydeligt mentalt skift. Det ser vi både i arbejdet med skibsmodellen og med kageformene.

Man kan tænke sig forskellige muligheder for mentale billeder af ligevægt. Man kan også se mulighederne som forskellige niveauer i udviklingen af sådanne billeder. Man kan have en generel forestilling om en stationær tilstand, dvs. en forståelse af at der efter et stykke tid vil indtræffe en situation hvor modelskibet bevæger sig med konstant hastighed. En sådan forestilling behøver, som vi skal se, ikke være knyttet til en konkret ide om årsager til denne stationære tilstand.

Man kan tænke sig en forestilling om ligevægt mellem bestemte fysiske størrelser. I dette tilfælde et billede af en ligevægt mellem to kræfter: trækraften, som er tyngdekraften på loddet, og modstan-

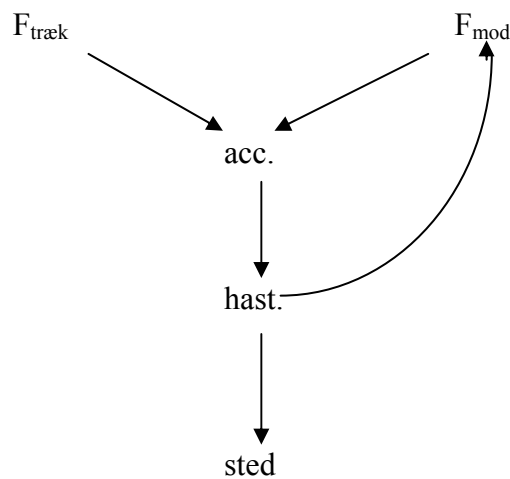
den som virker på skibet i den modsatte retning. Vi vil se at det er endog meget vanskeligt for eleverne at danne et sådant mentalt billede.

8.4.5 Kausalitetsperspektivet

Eleverne bliver bedt om at forklare hvilke størrelser modstandskraften kan tænkes at afhænge af. Den fysiske situation er imidlertid beskrevet på en sådan måde at der ikke er nogen variabel der ser ud til at kunne kontrolleres. Hele eksperimentet forløber af sig selv, lige som et frit fald. De forskellige variable er bundet til hinanden, men kan let opfattes som stående på lige fod.

Selve spørgsmålet ”hvad kan modstandskraften F_{mod} afhænge af” forudsætter en række implicite regler for sprogbrug og en underforstået fysikforståelse som eleverne slet ikke behersker.

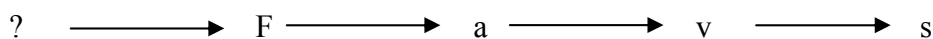
En måde at anskue sammenhænge i den fysiske situation er illustreret i figur 8.1. Kræfterne styrer



Figur 8.1

hastigheden, idet de giver anledning til en hastighedsændring (acceleration). Hastigheden styrer stedet, idet den repræsenterer en stedændring. Men hastigheden virker også tilbage på modstandskraften. Det er denne sidste sammenhæng eleverne forventes at komme frem til.

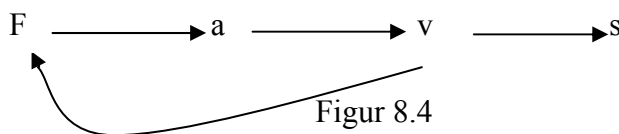
Eleverne skal altså forestille sig en kausalitetskæde af typen



Figur 8.2

og derefter spørge sig selv om kraften (evt. via nogle af de andre dynamiske variable) varierer, dvs. afhænger af tiden. Og her skal de så tænke på hastigheden:

Men i både skibsmodelopgaven og kageformsproblemet er eleverne er fra begyndelsen blevet præsenteret for hele problemstillingen på en ganske anden måde. For skibsmodellen giver målinger af den varierende hastighed i løbet af skibets bevægelse oplysning om en sammenhæng mellem tid og hastighed (afbildet i graf). Denne giver igen mulighed for at finde en sammenhæng mellem tid og acceleration, og heraf fås endelig en sammenhæng mellem tid og kraft. Disse sammenhænge er ikke kausale, men angiver blot en funktionssammenhæng i matematisk forstand: Til et bestemt tidspunkt svarer der en bestemt hastighedsværdi. Hvis vi skriver $v(t)$ for at markere en sådan sammenhæng, er eleverne blevet ført gennem følgende kæde af sammenhænge (bemærk at retningen er den modsatte



Figur 8.3

af den ovenfor tegnede kausalkæde):

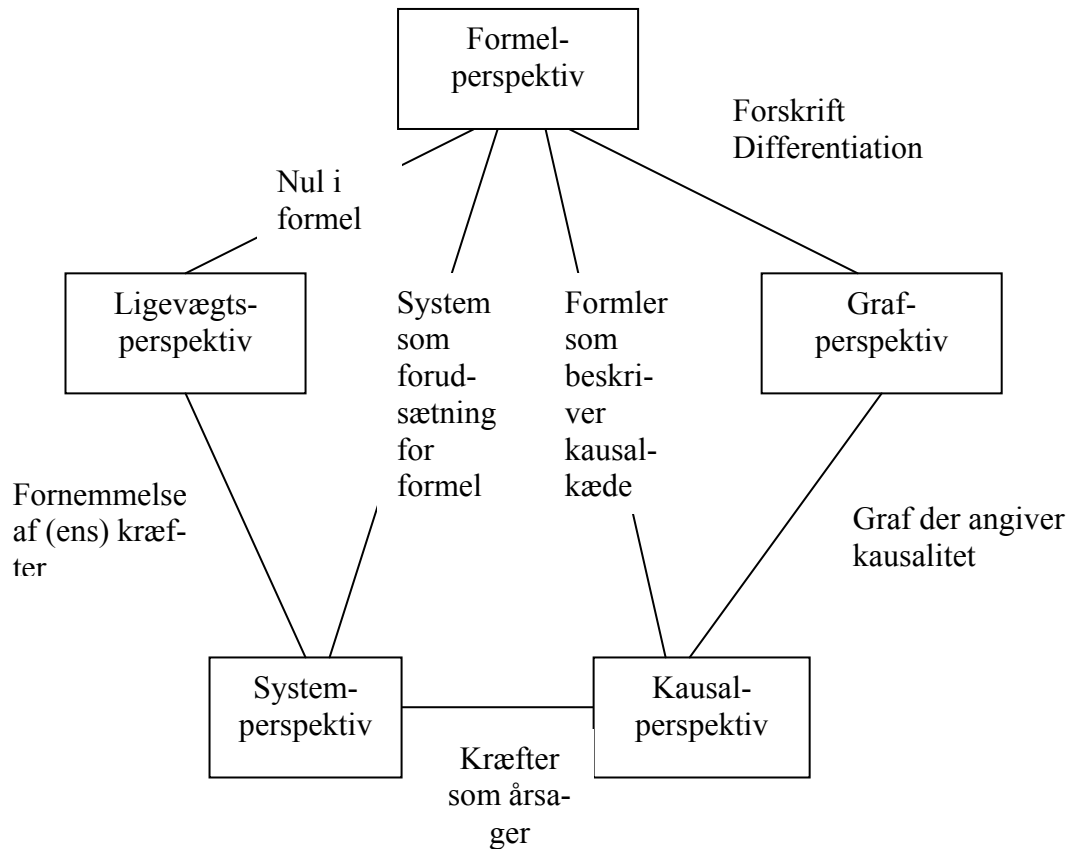
hvor F_{res} står for den resulterende kraft, altså summen af trækraft og modstandskraft. Vi ser at F_{mod} (i dette specielle bevægelsesforløb for skibet) afhænger af accelerationen, som igen afhænger af hastigheden. Disse sammenhænge i denne konkrete situation følger af helt generelle fysiske lov-mæssigheder og definitioner (Newtons 2. lov, accelerationen er differentialkvotienten af hastighe-den). Vi bemærker også at den formel for F_{mod} som de på denne måde kommer frem til ikke indeholder hastigheden.

Men hvad er det eleverne bliver bedt om i skibsmodelopgaven? På den ene side skal de i opgavens sidste spørgsmål (spm.9) bruge præcis den sammenhæng mellem værdierne for F_{mod} og hastigheden v , som de har fundet på den netop beskrevne måde, til at finde frem til en simpel matematisk funk-tion der beskriver denne sammenhæng ($F_{\text{mod}} = k^2 \cdot v$). På den anden side skal de i spm.8 argumen-tere for at F_{mod} netop afhænger af hastigheden i en mere "fysisk" (kausal) forstand end den nævnte rent "matematiske". Et sådant argument skal jo begrunde undersøgelsen af den matematiske sam-menhæng mellem netop de to størrelser.

Sagen vanskeliggøres af at den ønskede sammenhæng er skjult i en bevægelse hvor ingen parametre kan styres udefra. For at forstå hvad der menes med spørgsmålet "hvad kan modstandskraften F_{mod} afhænge af" og med svaret " F_{mod} afhænger af skibets hastighed" må eleverne kunne abstrahere fra den givne bevægelse og tænke sig til situationer hvor hastigheden kan styres (dvs. varieres) uaf-hængigt af andre parametre. De skal altså f.eks. i tankerne kunne oversætte situationen til en lang række forsøg, hvor man i hvert forsøg har konstant hastighed. Dvs. at de, i stedet for at se på ind-byrdes afhængige parametre for et enkelt dynamisk forløb (skibets bevægelse som beskrevet i op-gaven), ser på en fast parameter (hastigheden) der er med til at definere et bestemt forsøg og gentar-ger forsøget med varierende værdier for denne parameter.

Det hele er sat sammen til en dynamisk situation som eleverne skal splitte op og repræsentere ved en række abstrakte indbyrdes afhængige mentale modeller.

8.5 Forbindelser mellem de forskellige mentale perspektiver



Figur 8.5

Måske endnu vigtigere end de enkelte perspektiver for de mentale modeller er samspillet mellem dem. Det er søgt illustreret i figur 8.5 herover.

Som gennemgangen af de enkelte elevers mentale forestillinger vil vise, er det afgørende for at de kan gøre brug af deres forståelse til problemløsning, at de kan danne relevante forbindelser mellem de forskellige perspektiver.

Jeg vil her gennemgå nogle af forbindelserne:

Formel ↔ Ligevægt

Formelperspektivet indeholder en mulig nøgle til at forstå situationen i et ligevægtperspektiv. Brugt rigtigt (som én af eleverne faktisk gør) kan den formel for F_{mod} , nemlig

$$F_{\text{mod}} = mg - (m + M) a ,$$

fortælle hvordan to kræfter ophæver hinanden når hastigheden er konstant, altså når den stationære tilstand er indtrådt: $a = 0$ giver $F_{\text{mod}} = mg$.

På den anden side ser man først dette på en måde der virkelig kan forbindes med den eksperimentelle situation når man kan betragte situationen i et ligevægtperspektiv

Formel ↔ System

Nødvendigheden af at forbinde formelperspektivet med systemperspektivet bliver tydelig når det skal afgøres hvor modstandskraften egentlig angriber. Kun med et adækvat billede af hele systemet og de kræfter der virker, kan man placere F_{mod} korrekt i ligningerne (Newtons 2. Lov) for de enkelte dele af systemet.

Formel ↔ Kausal

Forståelsen af Newtons 2. Lov i et kausalt perspektiv er vigtig af flere grunde. For det første er det ofte afgørende at kunne se bevægelsen (beskrevet ved acceleration og hastighed) som resultat af en resulterende kraft.

For det andet er det lige så vigtigt at kunne udskille de formelle matematiske sammenhænge som formlerne er udtryk for, fra reelle kausale sammenhænge. Et klart eksempel er her spørgsmålet om hvilke fysiske størrelser modstanden afhænger af. Formlen

$$F_{\text{mod}} = mg - (m + M) a$$

giver ikke nogen antydning af at modstanden afhænger af hastigheden. Den eneste størrelse der i den beskrevne eksperimentelle situation varierer, og som optræder i formelen til udregning af F_{mod} , er accelerationen. Dette kommer da også til at føre eleverne på vildspor.

Formel ↔ Graf

Formler til udregning af accelerationsværdierne ud fra hastighedsdata er kun virkelig brugbare hvis de knyttes til et grafperspektiv. De vanskeligheder eleverne har med udregningen af accelerationen, og deres manglende evne til at finde ud af hvad de har gjort galt, viser dette med stor tydelighed. Eleverne viser igen og igen at de kan fortolke grafen korrekt, men de er alligevel ikke i stand til at se den modstrid der er mellem deres tal og grafen

System ↔ Kausal

Systemperspektivet er essentielt for en forståelse af de kausale sammenhænge. Hvis ikke spørgsmålet om kausalitet knyttes til en forståelse af systemet og dets bevægelse og de kræfter der virker på det, er der stor sandsynlighed at begrebet sammenhæng bliver forstået alt for snævert.

Ligevægt ↔ System

Forståelsen af situationen i et systemperspektiv har en sammenhæng med ligevægtsperspektivet af samme grund som systemperspektivet er afgørende for forståelsen af kausalperspektivet. De kræfter der virker på systemet optræder på en sådan måde i forhold til hinanden, at billedet af dem får en anden karakter når de betragtes i ligevægtperspektivet. Det ”feedback”-system der resulterer i en endelig konstant hastighed, kan kun forstås som en kombination af disse to perspektiver.

8.6 Analyse af elevmateriale

De følgende fem kapitler (Kap. 9, 10, 11, 12 og 13) består af en række analyser med forskelligt fokus af de to cases: ”Skibsmodellen” og ”kageforme”.

8.6.1 Skibsmodellen

De tre første kapitler (Kap. 9, 10, 11) er baseret på elevernes dialog i skibsmodelproblemet. Deres opgave er at finde vandmodstandens afhængighed af hastigheden ud fra målte værdier af hastigheden til forskellige tidspunkter. For at gøre det, skal de bestemme accelerationen som funktion af tiden for derudfra at finde kraften, og heraf specielt modstandskraften som funktion af tiden. Og dermed skal de kunne finde modstanden som funktion af hastigheden.

Eleverne møder tre store vanskeligheder på deres vej:

1. De kan ikke beregne accelerationen korrekt, selv om de behersker den matematiske teknik, fordi de ikke kan forbinde det grafiske billede af hastighedsfunktionen med formler til beregning af acceleration (forbindelse af formel- og grafperspektivet), og fordi de forvirres af intuitive fornemmelse af accelerationsbegrebet. (Kapitel 9)
2. Især én elev (som er i stand til at overtale de andre) blander begreberne kraft og acceleration sammen, og eleverne er derfor ikke i stand til at bruge accelerationsfunktionen (når de endelig har fundet den) til at finde kraften – selv om de godt kender Newtons 2.lov. (Kapitel 10)
3. Eleverne kan ikke danne sig en klar model af situationen i et kausalitetsperspektiv: De har svært ved at finde ud af hvad de skal forstå ved ”afhængighed” og har især svært ved at danne sig forestillinger om indbyrdes afhængighed af så abstrakte størrelser som ”modstand”, ”acceleration” og ”hastighed”. (Kapitel 11)

Selv om de får hjælp, lykkes det dem ikke at løse problemet: Hvordan afhænger modstanden af hastigheden.

I det næste kapitel (12) gennemgås hver enkelt af de fire elever, og vi ser på hvilke vanskeligheder de hver især har med at danne sig mentale modeller i forhold til de fem perspektiver.

Samlet viser historien om elevernes arbejde med skibsmodellen at det kræver et meget omfattende kompleks af nogenlunde sammenhængende mentale modeller overhovedet at få mening i de ekspe-

rimentelle spørgsmål i forbindelse med skibsmodellen. Et kompleks af mentale modeller ingen af dem kommer rigtig tæt på at danne.

8.6.2 Kageforme

Kapitel 13 er beretningen om to elever der undersøger faldende kageforme. Pointen i den historie er at den ene elev ved på forskellig måde at arbejde med kageformene efterhånden får opbygget stadig mere omfattende og righoldige mentale modeller i forhold til situationen. Først når de mentale modeller er tilstrækkelig udbyggede er hun i stand til at forstå og stille relevante eksperimentelle spørgsmål angående kageformenes fald. Den anden elev får aldrig dannet sig mentale billeder der sætter ham i stand til at stille spørgsmål der ville kunne undersøges eksperimentelt.

Skibsmodellen

9 Grafperspektivet og formelperspektivet: Begrebers forskellige repræsentationer

9.1 Acceleration

Som eksempel på begrebsrepræsentationer og samspillet mellem grafperspektivet og formelperspektivet, vil vi i det følgende se på begrebet acceleration.

Et fysisk begreb omfatter mange aspekter. I og med at de fleste fysiske begreber er kvantitative, er der til begreberne knyttet matematiske procedurer for hvordan de beregnes eller benyttes i beregninger. For begrebet acceleration vil det bl.a. sige en matematisk definition af formen “en hastighedstilvækst divideret med et tilsvarende tidsrum”: $a = (v_2 - v_1)/(t_2 - t_1)$. En forståelse af begrebet forudsætter at man i en konkret situation ved hvad denne definition indebærer, dvs. hvordan man beregner a ud fra kendskab til passende værdier af hastighed og tid.

Der er imidlertid også andre matematiske måder at beskrive begrebet på: F.eks. som “hældningskoefficienten for tangenten til grafen for hastigheden som funktion af tiden”, eller som “differentialkvotienten for hastigheden som funktion af tiden”. Med passende præciseringer er alle disse måder til fastlæggelse af begrebet acceleration matematisk ækvivalente, og at gøre brug af dem efter behov, når først accelerationsbegrebet er forstået via én definition, skulle derfor ikke kræve andet end en generel beherskelse af rent matematiske begreber som “differentialkvotient” og “hældningskoefficient”.

Men sagen er langt mere kompliceret. Accelerationsbegrebet kan (og skal!) beskrives, ikke blot ved henvisning til matematiske procedurer, men også i tilknytning til forestillinger om bevægelse af genstande. Hvad der fra en matematisk betragtning forekommer at være to kun tilsyneladende forskellige sproglige formuleringer af det samme: “en hastighedstilvækst divideret med et tilsvarende tidsrum” og “differentialkvotienten for hastigheden som funktion af tiden”, kan, som vi skal se, give helt forskellige associationer i forbindelse med et konkret tilfælde med genstande i bevægelse. Dette forhold kan måske bedst forstås i relation til Tiberghien og Le Marechals to-verdens model: Opdelingen i ”teori-verden” og ”verden af ting” og betydningen af at kunne forbinde de to. (Se afsnit 6.10).

Endelig forudsætter den kompetente brug af accelerationsbegrebet at man behersker de lovmæssigheder og beregningsprocedurer hvori begrebet kan indgå, f.eks. $s = \frac{1}{2}at^2$ for jævnt voksende bevægelse. Det er jo først i sådanne sammenhæng at begrebet får værdi. Det vanskeliggør imidlertid yderligere overblikket.


Det synes rimeligt at sige at accelerationsbegrebet som fuldt udfoldet fysisk begreb ikke er forstået med mindre man tvangfrit kan skifte mellem disse forskellige repræsentationer eller beskrivelser af begrebet. Men man kan vel også med god ret hævde at de rent matematiske begreber og procedurer “differentialkvotient” og “hældningskoefficient” først er tilfredsstillende tilegnet når de tvangfrit kan anvendes f.eks. i forbindelse med problemer der omhandler acceleration. Meningen med at lære sådanne procedurer er jo at de skal kunne anvendes i forskellige situationer, og først når man kan det, forstår man proceduren som en generel, delvist kontekstafhængig, procedure.

Elever der har lært sådanne procedurer i forbindelse med et bestemt eksempel, eller i en tilsyneladende "neutral" matematisk kontekst, vil altid have behov for at gennemgå en lang generaliseringsproces før de forstår og behersker proceduren som et alment værktøj. Det er altså næppe muligt at lære de rene matematiske begreber først, for derefter at anvende dem i bestemte sammenhæng i fysik. Selve fysikundervisningen fungerer uundgåeligt som en central del af undervisningen i fundamentale matematiske begreber.

En konsekvens af denne tankegang bliver også at man næppe kan tale om et tidspunkt hvor et begreb er "lært". Enhver ny kontekst nødvendiggør en vis udbygning og fornyelse af begrebsforståelsen. Hvad vi kan håbe på i undervisningen, er at eleverne når frem til at denne fornyelse af begrebet, for en passende stor klasse af fænomener, i hvert enkelt tilfælde kan ske rimeligt hurtigt og selvstændigt.

Lad os prøve at opregne nogle af de forskellige "definitioner" af acceleration elever opererer med (figur 9.1). Ordet definitioner sættes i anførselstegn fordi der ikke er tale om stringente definitioner, men snarere om associationer i forbindelse med begrebet.

**faldende
generalitet**



"Ren" matematisk formulering	Fysisk-matematisk formulering	Næsten dagligsprog"-formulering
1m. $f'(x)$ "Differentialvotient for funktion f "	1f. $v'(t)$ "Differentialkvotienten af hastigheden som funktion af tiden"	
2m. Hældningskoefficienten for en tangent til grafen for f	2f. Hældningskoefficienten for en tangent til (t,v) -graf	
3m. Hældningskoefficient for en ret linje $(y_2-y_1)/(x_2-x_1)$	3f. Hældningskoefficienten for en lineær (t,v) -graf $(v_2-v_1)/(t_2-t_1)$ eller $\Delta v/\Delta t$	1d. Hastigheds-tilvækst pr. tidsenhed (pr. sekund)
4m. $a = y/x$ for $y = ax$ (ret linje gennem $(0,0)$)	4f. $a = v/t$ (Gyldig for jævnt voksende bevægelse med begyndelses hastighed nul)	

Figur 9.1

Yderst til højre er anført en formulering (hastigheds-tilvækst pr. tidsenhed, eller pr. sekund) som kommer nærmest til en formulering i dagligsprog, selv om den i sagens natur også er matematisk. Det er dén kvantitative formulering der ligger tættest på de fleste menneskers forståelse af begrebet

acceleration: “Jeg accelererer når jeg bevæger mig hurtigere og hurtigere”. I midten forskellige matematiske formuleringer af hvad acceleration betyder. Og til venstre de tilsvarende formuleringer af generelle matematiske størrelser eller procedurer. Øverst står det mest almengyldige, nedad beskriver formuleringerne stadig mere specielle situationer. Tal-bogstav-kombinationerne **1m**, **2f**, osv. for i de følgende kommentarer til elevernes dialog at kunne referere til de relevante repræsentationer af accelerationsbegrebet.

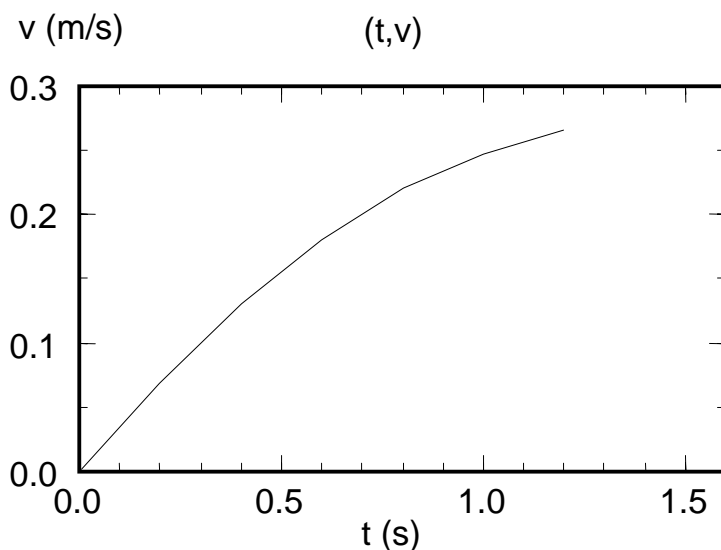
Når de generelle matematiske udtryk er taget med, selv om de ikke direkte kan siges at angive acceleration, er det fordi de er med i det kompleks af associationer som elever har i forbindelse med begrebet, og fordi de forventes at kunne trække på deres almene matematiske viden når de analyserer fysiske situationer.

Vi må naturligvis ikke glemme at der også er andet der indgår i dette kompleks af associationer: Forskellige formler hvori acceleration indgår, og begreber som via disse formler er stærkt knyttet til accelerationsbegrebet, f.eks. kraft og hastighed. Det sidste giver ofte anledning til sammenblandinger, så acceleration evt. “forveksles” med kraft eller acceleration, dvs. begreberne bruges i flæng.

De perspektiver i elevernes mentale modeller der er særlig relevante her er altså for det første grafperspektivet og formelperspektivet og forbindelser mellem dem som de ses i figur 9.1. For det andet formel og systemperspektivet, hvis indbyrdes forbindelser og forbindelse med accelerationen i graf- og formelperspektiv viser sig dels at berige elevernes forståelse af accelerationsbegrebet, dels vanskeliggøre anvendelsen af begrebet i den konkrete situation.

9.1.1 Elevernes dialog: Acceleration

Herunder følger nogle udsnit af elevernes dialog. De har tegnet en graf af skibets hastighed som funktion af tiden (fig.9.2) og skal nu finde værdier for accelerationen for forskellige tidspunkter (spørgsmål 3) i opgaven). Det burde være en simpel matematisk procedure, men det volder dem enorme vanskeligheder. Diskussionen varer ca. 15 minutter, og de ender alligevel med at gøre det forkert.



Figur 9.2

Skibets hastighed som funktion af tiden

Lad os se på hvilke ideer eleverne prøver at mobilisere for at finde acceleration i dette tilfælde. De steder hvor eleverne korrekt formulerer hvad de skal gøre er fremhævet med **fed skrift**.

Her begynder diskussionen om hvordan man finder acceleration.

SIGNE: *Nå. Skulle vi udregne accelerationen? Hvordan er det nu man gør det?
Altså, accelerationen, den er nok 0 ved 0, ikke.*

KARSTEN: *Fra graf: Vi skal bare aflæse nogle værdier her.*

SIGNE: *Accelerationen?*

KARSTEN: *Ja*

SIGNE: *Er det ikke lettere at **beregne den ud fra tangenten**..?*

(...)

KARSTEN: *Men vi har jo forskellige enheder på akserne, så skal vi lige tænke os om, i hvert fald, bagefter*

CECILIE: *Vi skal bare **lave en tangent**.*

Gentagne gange i det følgende fremgår det at eleverne er enige om at accelerationen bør være nul ved start. Altså siger Signe: hastighed nul medfører at accelerationen er nul.

Kasper vil aflæse accelerationen på (t,v)-graf, som opgaveformuleringen også lægger op til. Altså **2f**, evt. **3f**

Både Signe og Cecilie ved at de skal bruge tangenterne for at finde accelerationen. Altså **2f**, evt. i kombination med **3m**. I Signes bevidsthed er ”beregne den ud fra tangenten” åbenbart ikke det samme som ”aflæse på graf”. Signe tænker meget i ”formler”.

De går gang med at beregne tangenthældninger. Men Signe føler at der må være en anden og bedre metode. Hun har fundet en formel i bogen - én hvori stedet s indgår. Det kan være $s = \frac{1}{2}at^2$.

SIGNE: *Hvorfor kan vi ikke bruge en formel? Hvad Karsten? Hvorfor kan vi ikke bruge den der formel?*

KARSTEN: *Det kunne vi også... vi har... har du stedet?*

(..)

KARSTEN: *Hvad?*

SIGNE: *s, stedet ... nej, det*

KARSTEN: *Du har ikke stedet*

SIGNE: *Det var jo problematisk*

KARSTEN: *Det er derfor du skal aflæse den. **Vi skal bare finde hældningen på tangenten i det punkt.***

Som vi ser i det videre forløb er Signe fokuseret på at finde formler der kan bruges i opgaven. Vi bemærker at Karstens indvending ikke er at formlen ikke har relevans her (hvad den ikke har), men at en af de indgående størrelser er ukendt!

Vi bemærker også at Karsten her giver en fuldstændig klar formulering af den korrekte definition af acceleration **2f**.

Der følger nu en længere diskussion af hvorfor deres grafer ikke ser helt ens ud (de har valgt forskellig længde for enhederne) og hvad det egentlig betyder. Først da dette ”problem” er løst kan de fortætte:

SIGNE: *Nå, skulle vi finde hældningen?*

(...)

SIGNE: *Hvordan finder man hældningen?*

KARSTEN: *Så kan vi jo bare tage to punkter på akserne og dividere med $y_2 - y_1$ divideret med*

$$x_2 - x_1$$

Karsten vil (korrekt) aflæse værdier på akserne. At finde hældningskoefficient, specielt tangent-hældning er på mange måder en automatiseret proces, lært i matematik (**3m**). Men problemerne i det følgende viser hvor ufuldstændigt fysikkens begreber (hastighed og acceleration) forbindes med det matematiske begreb. Selv om man umiddelbart kunne tro det, er formuleringen **3m** (hældningskoefficient $(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$) ikke automatisk forbundet med **3f** (hældningskoefficient $(v_2 - v_1)/(t_2 - t_1)$ eller $\Delta v/\Delta t$).

KARSTEN: *(...) vi skal udfylde rækken med værdier for accelerationen a. Det skal vi gøre.*

(..)

KARSTEN: *Vi skulle bare dividere med tiden. De der forskellige værdier.*

RIE: *Ja, meter pr. sekund.*

KARSTEN: *Vi skal bare dividere med tiden.*

RIE: *Dividere med tiden?*

KARSTEN: *Fordi vi har tiden, ikke ..*

CECILIE: *Det er differentialkvotienten, er det ikke?*

KARSTEN: *.. og vi har hastigheden. Så når vi dividerer hastigheden med tiden, så får vi accelerationen.*

CECILIE: *Men accelerationen...*

RIE: *Så bliver det også nul.*

CECILIE: *..det er differentialkvotienten til ..*

KARSTEN: *Jo, jo, det er rigtigt. Nul. Så dividerer vi der.*

RIE: Så siger du 0,0 (...) 0,069. Det bliver 0,2. Det er 0,345.

KARSTEN: Så er det du skal dividere med 0,20. Skal du ikke?.. Fordi, det er jo.. det er jo intervallet.

Vi ser først på Karsten. Noget kunne tyde på at han nu tænker på **4f**, altså $a = v/t$, som jo ikke kan anvendes i dette tilfælde hvor hastigheden ikke er konstant.

Han er ved at komme på vildspor - efter at han tilsyneladende (men nok kun tilsyneladende) indtil nu hele tiden har haft den rigtige ide!

Karstens ”dividere hastigheden med tiden” lyder forkert ($a = v/t$), men er det kun m.h.t. hastigheden. Som det følgende viser mener han åbenbart tidsskridtet 0.20 s når han siger tiden, altså $a = v/\Delta t$

Ser vi på Cecilie, har hun fat i den mest abstrakte definition **1f** (accelerationen er ”differentialkvotienten af hastigheden som funktion af tiden”). Vi husker at hun tidligere også ville se på tangenten, så hun har de helt rigtige tanker. Men ingen hører efter. Karsten og Rie udvikler deres (forkerte) løsning uden at registrere hvad hun siger, selv da hun gentager at accelerationen er en differentialkvotient! At de andre ignorerer hende lader ikke til at anfægte Cecilie synderligt. Hun er ”med” på et niveau der tilsyneladende er tilfredsstillende for hende.

Karsten og Rie ser det som en bekræftelse på metoden at den fører til at a bliver nul ved start - sådan som deres intuition fejlagtigt har sagt dem.

Herefter udregner de (med Cecilies villige medvirken!) $v/\Delta t$ for alle tallene hvor de burde have udregnet $\Delta v/\Delta t$.

Hvad gik der galt?

Alle havde korrekte ideer om acceleration som tangenthældning/ differentialkvotient. Seks gange har eleverne korrekt formuleret hvad acceleration er og hvordan den skal findes i dette tilfælde.

Men det forhindrer ikke Karsten i pludselig at bide sig fast i at acceleration er hastighed divideret med tid, og han forbinder det ikke på korrekt måde med ideen om hældning. De andre følger ham tilsyneladende ureflekteret.

Formuleringerne kommer i denne rækkefølge:

brug grafen → beregn ud fra tangenten til grafen → tegn tangent → finde hældningen for tangenten i det givne punkt → brug formlen $(y_2 - y_1)/(x_2 - x_1)$

Indtil videre udmærket. Man skulle ikke tro de kunne gøre det forkert nu. Men så kommer

dividere hastighed med tid → finde differentialkvotient → dividere hastighed med tidsskridt!!

Hvordan kan dette være gået til? At der ikke blot er tale om et ”uheld”, en tanketorsk kombineret med lidt uopmærksomhed, viser den videre udvikling af dialogen.

Men før vi ser på den, bemærker vi en afslørende passage kort efter. Eleverne har beregnet alle værdierne for accelerationen, men naturligvis på deres forkerte måde: $a = v/\Delta t$. Det indebærer at skønt (t,v) -grafens hældning bliver mindre og mindre for voksende t , bliver deres udregnede værdi-

er for accelerationen større og større. Det er der ingen der har bemærket. Men nu bliver de spurgt om hvorfor accelerationsværdierne i denne situation (med modstand) afviger fra det man får med en teori hvor der ikke regnes med modstand:

KARSTEN: *Hvilke accelerationsværdier ville vi forvente at få ud fra teorien?*

(..)

SIGNE: (...) *Men da havde vi jo forventet at det var 0.35. Jamen det er jo bare et gennemsnit, ikke... eller hvad. Nej, det kan det jo ikke være! Vi regnede det ud til 0.35, ikke?*

Signe (og de andre) har allerede glemt hvordan de fandt accelerationen når der ikke er modstand.

RIE: *Jamen det er det jo også. 0,20 det er da også 0,35*

Nu sammenligner eleverne det tal for en konstant acceleration de fik tidligere (spørgsmål 2) med hældningen for (t,v)-grafene! De finder at det passer. I hvert fald i starten.

SIGNE: *Så burde den stige 0.35 hele tiden...*

CECILIE: *Det gør den da næsten også*

SIGNE: *Ja, det er rigtigt nok, det gør den faktisk*

CECILIE: *Den stiger 0.35*

SIGNE: *Arh...*

CECILIE: *Altså, 0,35...*

SIGNE: *Ahr, det gør den ikke. Den bliver m .. den. I starten stiger den med de 0.35. Men så bliver den mindre og mindre, forskellen*

S opdager at (t,v)-grafene ikke bliver ved med at vokse lige så hurtigt som i starten

SIGNE: *Den bliver mindre og mindre, forskellen ... Den bliver mindre og mindre.*

RIE: *Den starter på de der 35 som vi havde forudset, ikke.*

SIGNE: *Ja men så bliver den ...*

RIE: *Men den bliver bare mindre og mindre og mindre, det havde vi jo ikke ...*

Alle har nu indset at hældningen - og dermed accelerationen - bliver mindre efterhånden.

Eleverne ser fuldstændig korrekt på tilvæksten af hastigheden på deres (t,v)-graf. De bliver i opgaven spurgt om afvigelsen af accelerationsværdierne, og de identificerer helt korrekt den faldende

tilvækst med en aftagende acceleration. På intet tidspunkt synes de at sammenligne deres beregnede værdier med denne indsigt.

Det kan måske undre at eleverne i denne fase i den grad mangler overblik over deres data og det problem de er ved at løse. Men det er nærliggende at formode at de blot behøver at få deres opmærksomhed henledt på sammenhængen for at opdage deres fejl. Så enkelt forholder det sig som tidligere nævnt imidlertid næppe. Lad os se hvad der sker senere i forløbet.

9.1.2 Elevernes dialog: Acceleration som fysisk begreb

Meget senere (i det følgende dobbelttime-modul) indhenter fejlen eleverne. De skal udregne modstandskraften F_{mod} . De opstiller formlen $F_{\text{mod}} = mg - (m+M) \cdot a$ og indsætter de udregnede værdier for a . Da a vokser, skifter fortegnet for F_{mod} fra plus til minus. De kan ikke finde ud af hvad der er galt og er lige ved at give op. KB bliver nødt til at intervenere. Hun har ikke overværet deres udregning af accelerationsværdierne, men får alligevel en mistanke om at der kunne være noget galt med accelerationsværdierne, og hun beder dem fortælle hvordan de regnede dem ud.

I det følgende ser vi hvordan eleverne bliver tvunget til at prøve at udvikle accelerationsbegrebet i forbindelse med den foreliggende fysiske situation med tilhørende data. Dialogen kan overraske i betragtning af den viden om acceleration eleverne tidligere har vist. Men det bliver tydeligt at deres problem ikke blot er at anvende et i deres bevidsthed allerede eksisterende accelerationsbegreb, men at de først skal udvikle (konstruere) accelerationsbegrebet i denne (nye) sammenhæng. Da de hele tiden bevæger sig mellem forskellige repræsentationer og samtidig tænker på ”virkeligheden” (forsøgsopstillingen) har de langt større vanskeligheder end deres tidlige formuleringer lod ane. Igen ser vi hvordan de mentale modeller der skal forme forbindelsen mellem ”teori-verden” og ”verden af ting” (afsnit 6.10) er vanskelige at danne.

KB: (...) Men hvordan... hvad ved i om jeres accelerationer? ... (...) hvordan regnede I dem ud?

KARSTEN: Vi sagde... hvad sagde vi.. hvad er hastigheden divideret med tiden

SIGNE: Med tidsskridtet

KB: Hastigheden divideret med tiden?

KARSTEN: Ja

KB: Men prøv lige at give mig et eksempel. Nu siger vi bare lige det der tal, ikke

KARSTEN: Og så siger vi hastigheden divideret med tiden.

SIGNE: Nej, nul komma, det var tidsskridtet, ikke. Nul komma to, ikke.

KARSTEN: 0,2 selvfølgelig

KB: Ja, og I tog den hastighed der så står ... der, og dividerede med tidsskridtet. OK.

KARSTEN: Skal vi tage hastighedsskridtet? Hvis man kan sige det.

Her ser det ud til at Karsten får fat i det rigtige. Han knytter an til de tidligere korrekte formuleringer. Men er han selv klar over det? Indser han at “hastighedsskridt divideret med tidsskridt” er det samme som $(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$, som han har nævnt før?

CECILIE: *Hvad for noget?*

KARSTEN: *Dernede... hastigheden ...*

CECILIE: *Men den er jo ikke konstant, vel?*

KARSTEN: *Nej men det er det jeg mener, ligesom vi tager et tidsskridt...*

CECILIE: *Jamen der er det jo det samme tidsskridt hele tiden, og det er jo ikke den samme hastighed (..)*

Cecilie forstår ikke Karsten. Selv om det var hende der tidligere talte om differentialkvotient. Men det har hun glemt. Og hun forbinder ikke “hastighedsskridt divideret med tidsskridt” med differentialkvotient.

Vi ser tydeligt at selv om Cecilie “ved” at accelerationen er differentialkvotienten, kan hun ikke bringe det i anvendelse her.

SIGNE: *Nej*

CECILIE: *Så det kan man jo ikke*

KARSTEN: *Nej. Jo, men altså... Nej, selvfølgelig er det ikke det samme hastighedsskridt man..*

CECILIE: *Det er måske gennemsnittet?*

KARSTEN: *Nej, nej, men altså, at du tager her fra og dertil. Et hastighedsskridt, ligesom du tager tidsskridt ..*

(..)

KARSTEN: *Det ved jeg ikke. Men jeg synes bare det ser meget (..).*

Karsten er slet ikke sikker på hvad han lige har sagt. Eleverne glider nu bort fra sagen, altså spørgsmålet om accelerationen og hvorfor de udregnede værdier er så mærkelige. Derfor er KB nødt til at bringe dem tilbage på sporet.

KB: Men hvad er det egentlig accelerationen er? Altså hvis man nu skal afgøre om man skal tage det ene tal eller om man skal tage hastighedsskridt...?

RIE: Det er hvor hurtigt bilen accelererer, f.eks. .. eller (..) hurtigt sætter i gang, og så når den kommer op i fart så vil den ..på et eller andet tidspunkt vil den være konstant. Ikke. Altså den vil (..) stige, og så vil den være konstant...

Rie tænker ikke på at give en matematisk definition. Hun giver en kvalitativ sproglig forklaring (**1d**), og beskriver accelerationen i dette specielle tilfælde.

9.1.3 Elevernes dialog: Hastighed og acceleration

En diskussion om hvordan skibet vil ende med at bevæge sig begynder nu. Projektet med at regne accelerationerne ud bliver dermed udskudt. Men samtalen viser tydeligt at eleverne stadig arbejder med at få hold på sammenhængen mellem hastighedsgraf og acceleration:

RIE: *Ja, men så lad os bare sige at den sejler med ren fart, så bliver den konstant.*

KB: *Hvis den sejler med hvad...sagde du?*

RIE: *Samme fart*

KB: *Med samme fart. Hvad bliver så konstant?*

RIE: *Accelerationen ... Det gør den. Ja. Det gør den...*

... Så accelererer den jo ikke mere, jo. Fordi den er nødt til at accelerere, når den får... Den kan ikke accelerere uden den har fart, vel? Fordi, den kan ikke bare accelerere af sig selv...

Den er nødt til at have et eller andet til at trække...

KARSTEN: *Hvis hastigheden ligger fast, ikke? ... Hvis hastigheden er en ret linje, ikke..*

RIE: *Men det er den ikke...*

KARSTEN: *Nej*

SIGNE: *En ret linje, den er en konstant, den er en ret ... linje...*

KARSTEN: *Altså, hvis hastigheden den er (viser en voksende ret linje i luften)*

SIGNE: *Ja*

RIE: *En ret linje?*

KARSTEN: *Så er accelerationen en vandret linje*

Rie er ved at få hold på sammenhængen mellem hastighed og acceleration i tilfældet med konstant acceleration. Men hun kæmper stadig med begreberne, kraftbegrebet spøger også i kulissen.

KARSTEN giver en korrekt formulering af sammenhængen i den grafiske repræsentation.

SIGNE: *Konstant!*

(..)

SIGNE: *Men hastigheden er jo ikke... her ... (..) hastigheden er ikke en konstant..*

RIE: *Nej. Den stiger som en ret linje, ikke.*

SIGNE: *Så derfor vil accelerationen også stige.*

RIE: *Nej, så burde den være en konstant*

KARSTEN: *Er hastigheden en ret linje?*

RIE: *Det ved jeg ikke...*

KARSTEN: *Kan vi ikke prøve at sætte nogen punkter ind?*

RIE: *Det er den da, vi har jo lige siddet og tegnet den ind! Det er den da...og så burde accelerationen da også være konstant. Hvis vi differentierer den så bliver den konstant.*

Karsten synes helt at have glemt at de har en (t,v)-graf.

Nu er Rie nået frem til en korrekt formulering af sammenhængen mellem graf-hældning (**2f**) og differentialkvotient (**1f**) - i hvert fald for konstant voksende hastighed.

Signe derimod blander stadig acceleration og hastighed sammen.

SIGNE: *Gør den det?*

RIE: *Nej, den er ved at falde*

KARSTEN: *Den er ikke en ret linje i hvert fald*

CECILIE: *Den er ikke sådan helt..*

RIE: *(..) ved at falde ... den falder sådan her*

SIGNE: *Jamen det er også...hastigheden den går op mod at blive konstant, ikke*

Rie indser igen at der ikke er tale om konstant voksende hastighed. Nu kunne det se ud som om eleverne har genopdaget deres tidligere indsigt: hastighedsgrafen er ikke en ret linje; hældningen, og dermed accelerationen, er derfor faldende.

Men de indser faktisk ikke at hastighedsgrafens forløb betyder at accelerationen må være faldende, og deres tal faktisk forkerte. Det ser vi af at de nu vælger at overtale hinanden til at accelerationerne er regnet rigtigt ud!

CECILIE: *Så dvs. accelerationen kan gå mod at blive en konstant.*

RIE: *Jamen så passer det da også.*

SIGNE: *Nej, accelerationen går mod et eller andet*

KARSTEN (peger på graf): *Prøv at se her. Det er rigtig nok hvad Cecilie siger. At den går sådan her. Og så til sidst, så vil accelerationen (..)*

RIE: *Hvis du tager et eller andet punkt der, så bliver den ved med at gøre sådan her, ikke.*

CECILIE: *Det kan du også se i tallene*

KARSTEN: *Det går, altså ... tallene passer*

SIGNE: *Det kan jeg godt se*

KARSTEN: *Tallene passer, så jeg tror ikke det er der, der er fejl*

Selv om eleverne synes at have en rimelig forståelse af sammenhængen mellem hastighed og acceleration i forbindelse med grafer, kan de alligevel overbevise hinanden om at deres fejlagtige tal for accelerationen (som vokser i stedet for at falde!) er korrekte.

De har faktisk flere gange været i en kognitiv konflikt i deres forsøg på at få hold på deres accelerationsbegreb. Men det er for hårdt at løse denne konflikt ved at justere/præcisere accelerationsbegrebet, dvs. procedureerne for at beregne acceleration. I stedet vælger de at løse konflikten ved at sige: der er ingen konflikt! Tallene passer.

Noget kunne tyde på at der skal mere til end en sådan kognitiv konflikt for at frembringe en begrebsændring eller -udvikling.

Hvis ikke der her er en lærer til at gribe ind, kommer eleverne ingen vegne i deres udvikling af et korrekt og brugbart accelerationsbegreb.

KB prøver nu at fastholde konflikten som eleverne har nægtet at se i øjnene:

KB: I siger at I har taget den hastighed, den øjeblikkelige fart der, og divideret med tidsskridtet. Og I mener at accelerationen, det er farten divideret med tid .. tidsskridt?

KARSTEN: Ja, altså, det siger den jo også, benævnelsen, ikke.

KB: Hvordan er det nu formlen ...

KARSTEN: Hastigheden er meter pr. sekund.

KB: Det siger ..ja, ja farten, ja, men accelera... ja, der er ikke noget galt med dimensionerne. Men hvorfor kom du til at tæ... K, at tænke på det med hastighedsskridt, så?

RIE: Det er fordi der er det samme hastighedsskridt

KARSTEN: Det er bare fordi det lød sådan lidt mere naturligt. Hvis du tager et tidsskridt, så må du også tage et hastighedsskridt (..)

Karsten har glemt alt om "hastighedsskridtet". Der var åbenbart endnu ikke tale om en virkelig indsigt. Snarere om en slags gæt eller et skridt på vejen. KB må minde Karsten om hans ide.

Karsten har en fornemmelse men er ikke rigtig sikker.

KB prøver igen at få eleverne til at formulere en definition af acceleration:

KB: Hvad er definitionen på acceleration? Har I ikke en eller anden..?

RIE: Jo, den er: acceleration lig different... næ (..)

CECILIE: Hastigheden differentieret.

KB: OK. Hvordan gør vi det?

RIE: Du differentierer ...eller, finder et punkt og sætter en tangent (..) det punkt

”Hastigheden differentieret”. Det har Cecilie sagt mange gange før. Men som vi har set betyder det ikke at hun kan bringe det i anvendelse på i den givne situation

Rie har (fra matematik-undervisningen) en viden om sammenhængen mellem **1m** og **2m**.

Men Cecilie husker fra matematikundervisningen at de næsten altid har en forskrift for funktionen som de bruger når de finder differential-kvotient:

CECILIE: Nu har vi ikke funktionen, vel?

RIE: Nej, vi har ikke funktionen, så det gør vi ikke

KB: Nej. Hvad kan vi så gøre. Når man ikke har funktionen...?

RIE: Så kan man skrive funktionen.... Det ku' vi faktisk godt. Når vi har punkter, så ku man ...

Rie, der lige har talt om tangenthældninger, bliver også fanget ind af ideen om at bruge en forskrift. Undertiden kan man jo finde en forskrift ud fra nogle punkter på grafen... måske er det muligt her? (Det er det naturligvis ikke).

Selv om eleverne i matematik har lært at finde tangenthældninger til grafer ud fra en figur er det tydeligvis ikke rutine. De er faktisk her, i fysiktimen, ved at lære en matematisk teknik. Og det sker samtidig med at de skal forstå nye fysiske begreber. Det er store krav - men måske den eneste måde det kan læres på.

Karsten gør nu en (gen)opdagelse:

KARSTEN: Jeg har faktisk fundet noget.

(..) Jo, her, fordi der står at hastigheden, ikke... Der står bare, at hvis du skal finde hastigheden, ikke, så skal du tage stedskridtet (..) divideret med tidsskridtet, ikke. Så må det jo næsten også være sådan når du skal finde accelerationen. Så må det da også være hastighedsskridtet divideret med ..

Karsten laver en analogi til hastighedsdefinitionen. Det ser ud til han ved denne analogi pludselig får mere mening i de ting han jo ved om accelerationen som differentialkvotient.

Karstens forslag tages ikke som anledning til at beregne accelerationerne på ny, men til en diskussion om hvorvidt accelerationen i starten nu også bliver nul, sådan som eleverne er enige om at det skal være, og til nogle fortsatte overvejelser over hvad der kunne ændre fortegnet for modstandskraften.

KB må minde eleverne om at det er selve beregningen af accelerationerne der skal arbejdes med. Hun prøver at trække eleverne tilbage til opgaven at finde hældningen for grafen:

KB: I havde grafen. Hvordan gjorde man det der differentiation hvis man bare havde grafen? Hvis man nu ...

KARSTEN: Læser hældningskoefficient

KB: På?

KARSTEN: Øh, hvad hedder sådan en..?

KB: På sådan en der, ja.

KARSTEN: Ja, hvad er det sådan en hedder?

KB: Tangenten.

KARSTEN: Tangenten, ja.

KB: Har I den graf der?

RIE: Min er ret flot.

KB: Ja, godt, OK. Din er fin. Prøv at se den der f.eks. nede i nul ... Hvad er hældningen..

KARSTEN: Nåh ja, for satan, den falder jo... Det er rigtigt. Accelerationen...Hældningen falder, så må accelerationen også falde!

Først *nu* falder tiøren hos Karsten - og de andre begynder også at forstå. De regner nu de rigtige accelerationsværdier ud.

Vi bemærker at eleverne gentagne gange har sagt:

1) a er hældningen på hastighedsgrafen (2f)

2) hældningen er lig $(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$ (3m)

Alligevel kunne de slet ikke finde ud af at udregne accelerationen!

En vigtig pointe er at et begreb ikke ligger fast én gang for alle. Det er en dynamisk størrelse. Begrebet bliver til stadighed udbygget ved at få tilført mening fra nye sammenhænge. Snarere end at sige at det allerede eksisterende begreb bruges i nye situationer, kan man måske sige at den nye situation udvider begrebet, tilføjer det nye facetter. Der sker en kognitiv udvikling på baggrund af begrebets konfrontation med stadig nye situationer, som beskrevet i afsnit 6.5 og 6.6.

Dette gælder her ikke blot fysikkens accelerationsbegreb men også det generelle matematiske begreb "differentialkvotient". Også for dette begreb er det måske mere rammende at sige at det videreudvikles i arbejdet med den fysiske problemstilling, snarere end at der sker en overførsel af en matematisk kompetence til fysiksituationen. Dette vil vi se på i næste afsnit.

9.2 Overførsel af generelle procedurer fra et område til et andet

Som vi har set i det foregående var det ikke muligt for eleverne at overføre deres formodede generelle matematiske viden til et, matematisk set, simpelt fysisk eksempel.

Vi står her overfor et centralt problem i undervisning i almindelighed, og måske i særlig grad i fysikundervisningen. McKeachie (1987, i de Corte 1993) har formuleret problemet således:

Der er trods alt mange forskere og uddannelsesfolk, samt hærskarere af erhvervsfolk, embedsmænd og andre der håber på at finde metoder til at formidle og indlære generelle problemløsningsfærdigheder. Hvis vi går ud fra at forudgående viden er nødvendig for effektiv problemløsning på de fleste områder, så bliver spørgsmålet hvorvidt problemløsningsfærdigheder udviklet på ét område kan formidles på måder som gør det muligt at overføre færdighederne til andre områder hvor individet har en vis forudgående viden.

Mange undersøgelser har lige som ovenstående eksempel vist overførsel af f.eks. generelle matematiske færdigheder ofte ikke finder sted som forventet. Spørgsmålet er om det er muligt at tilrettelægge undervisningen på en sådan måde at det sker. Noget af den kritik der har været fremført mod forsøg på at undervise i generelle færdigheder har gået på at ved at lægge vægt på det generelle, det kontekstafhængige, fører man eleverne ind i en abstrakt verden som er vanskelig at forstå. Brown, Collins & Duigood (1989 i Adey 1997) kritiserer tendensen til stadig mere abstraktion i undervisningen og plæderer for at begreber og metoder skal læres i en autentisk kontekst:

A common strategy in trying to overcome difficult pedagogic problems is to make as much as possible explicit ... Explication often lifts implicit ... constraints out of the embedding world and tries to make them explicit or conceptual. These now take a place in our ontology and become something more to learn rather than something useful in learning.

Der er sikkert noget om snakken, men problemet med dette synspunkt er at komplicerede vidensområder (som f.eks. fysik) er baseret på abstrakte begreber, og hvis man ikke kan tilegne sig sådanne begreber på en sådan måde at de står over specifikke kontekster, ja så kan man slet ikke trænge ordentligt ind i sådanne områder. At lære fysik indebærer uundgåeligt at begreberne bliver "explicit" eller "conceptual". Som Philip Adey (Adey 1997) siger

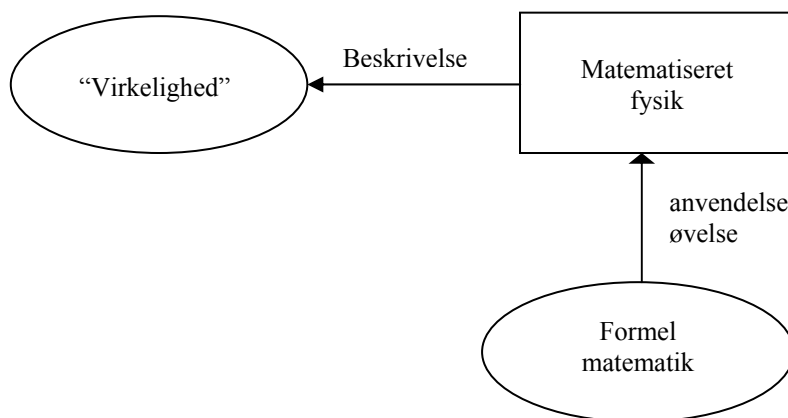
...the insistence on "authentic" experience implies a denial of transfer possibilities on which the whole educational enterprise is predicated.

Men hvordan muliggør man at abstrakt viden tilegnes på en sådan måde så den kan overføres til mange forskellige specifikke områder? I England har man gennemført det såkaldte CASE projekt (Cognitive Acceleration through Science Education) (Aday & Shayer 1994), hvor elever i alderen 7,8 og 9 år modtog en undervisning hvor der blev lagt særlig vægt på at udvikle generelle færdigheder og tænkemåder som forståelse af variabelkontrol, proportionalitet, korrelation og sandsynlighed. De viste sig tre år senere at klare sig bedre end andre elever, ikke bare i fysik og matematik, men også i engelsk. Det springende punkt er her at eleverne ikke blev undervist direkte i abstrakte procedurer (Piaget'ske formelle skemaer), men at de blev opmuntret til at se de generelle træk i de tanke-mønstre de udviklede i forskellige sammenhænge. Forståelse af abstrakte eller almene begreber og procedurer nås hverken ved alene at arbejde med dem rent abstrakt eller ved kun at bevæge sig indenfor bestemte konkrete kontekster.

Vores eksempel viser at ikke bare simple matematiske begreber som proportionalitet, men også færdigheder inden for den højere matematik som f.eks. differentiation må ses som generelle færdig-

heder der kun kan udvikles i et omfattende samspil mellem arbejdet med mange forskellige konkrete situationer og en bevidstgørelse om disse færdigheder som almene procedurer.

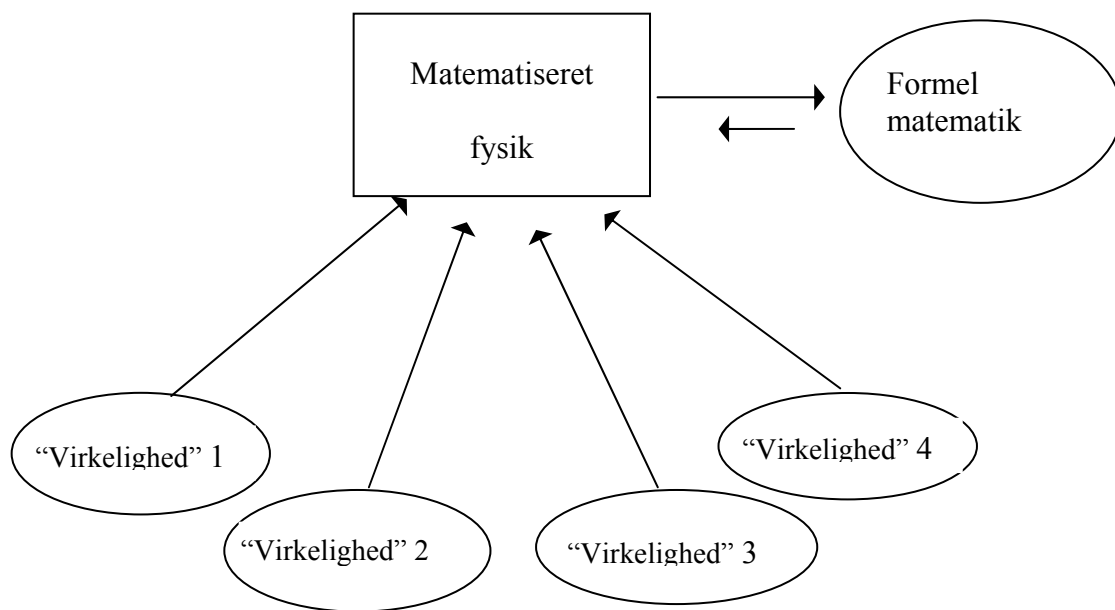
The approach that now seems warranted calls for the intimate intermingling of generality and context-specificity in instruction ... We forecast that wider-scale efforts to join subject-matter instruction and the teaching of thinking will be one of the exiting stories of the next decade of research and educational innovation. (Perkins & Saloman, 1989, i Adey, 1997)



Figur 9.2

Traditionelt har man ofte set matematikkens rolle i fysikken (og især matematikkens rolle i fysikundervisningen) som illustreret i fig. 9.2. Virkeligheden bliver beskrevet med fysiske teorier. For at frembringe dem, og for siden at forstå dem, må man *anvende et værktøj*: matematikken. Dette værktøj stifter man bekendtskab med, og lærer at benytte, i matematikundervisningen. I fysikundervisningen kan man så drage nytte af at besidde dette værktøj.

Men det har næppe mening at tale om at nogen besidder eller mestrer et sådant matematisk værktøj, uafhængigt af de sammenhænge hvori det bruges. "Værktøjet" eksisterer så at sige ikke uafhængigt af dets brug, og at lære matematik drejer sig til dels om at arbejde med de situationer (f.eks. fysiske problemer) som behandles matematisk. Man lærer altså på i en fundamental forstand matematik i fysiktimerne. Situationen er altså snarere som illustreret i figur 9.3: Arbejdet med matematisk naturbeskrivelse (fysik), som en generalisering af mange forskellige konkrete fænomener i "virkeligheden" ("verden af ting") fører til en bestemt kompetence og et abstrakt vidensfelt: matematikken og matematisk kompetence.



Figur 9.3

10 Kinematik og dynamik: Acceleration og kraft

Vi vil gå videre med et andet aspekt af elevernes mentale konstruktion af accelerationsbegrebet. Lige som begrebet ikke er solidt og korrekt forankret i relevante matematiske procedurer viser det sig at det heller ikke ordentligt skilt ud fra andre begreber som hastighed, kraft, energi, arbejde.

Det bliver i det følgende tydeligt at der ved elevers mentale konstruktion af et begreb ikke er tale om at de får sat navn på begreber de har i forvejen. Begrebets betydning udvikler sig langsomt i en slags forhandling, centreret omkring diskussionen af den stillede opgave.

Eleverne har et stykke tid kæmpet med spørgsmålet om hvad modstandskraften afhænger af. Det er svært af mange grunde.

For det første er det uklart hvad der menes med at en størrelse "afhænger" af en anden (en mere detaljeret diskussion af dette forhold kommer i Kapitel 11: Kausalitet: Sammenhæng og afhængighed). Er det en matematisk afhængighed (den ene størrelse ændrer sig hvis jeg ændrer den anden), eller er det en kausal sammenhæng der skal findes? "Afhænger af" er et fundamentalt begreb som læreren tager for givet at eleverne forstår, men dets betydning har aldrig været diskuteret eksplicit.

For det andet er elevernes stadigvæk mangelfulde forståelse af accelerationsbegrebet (selv om de i mellemtiden har regnet accelerationsværdierne korrekt ud) ødelæggende for deres muligheder for at gennemskue problemstillingen.

Karsten har længe hævdet at modstanden afhænger af accelerationen: jo større acceleration, desto større modstand. For at slippe af sted med det må han hævde at når skibet efter et stykke tid får konstant hastighed har det alligevel en acceleration. Samtidig ved han godt at konstant hastighed betyder at accelerationen er nul. I det følgende følger vi Karstens langvarige kamp, i dialog med Rie, for at løse denne konflikt. I løbet af denne proces videreudvikler han langsomt sit accelerationsbegreb - og, uløseligt knyttet hertil, sit kraftbegreb.

Det er vigtigt at holde sig for øje at Karsten jo tidligere - med stort besvær! - har erhvervet en tilsyneladende kompetent forståelse af accelerationsbegrebet. Men her skal begrebet bruges i en anden sammenhæng end før.

10.1 Elevernes dialog med fokus på acceleration og kraft

Den følgende dialog har sit udspring i en diskussion om hvad modstandskraften på skibet afhænger af. Eleverne mener at den afhænger af accelerationen. For at bringe dem videre har KB spurgt om der er nogen modstand på skibet hvis accelerationen er nul.

KARSTEN: Nej, (...) prøv nu at høre. Hvis der ikke er nogen acceleration, ikke, så er hastigheden konstant, ikke? Hvis der så er en modstand, så må hastigheden jo falde, .. eller. Og det gør den jo ikke hvis den er konstant.

Det ser ud til at Karsten ikke kan skelne korrekt mellem acceleration og kraft. Men hans problem er mere omfattende: Det lyder som om han har glemt trækraften fra snoren. Men denne fremadrettede kraft viser sig at være uløseligt knyttet til hans forestilling om acceleration

RIE: *Nej. Dvs. (...) at hvis jeg cykler i en konstant hastighed, så har jeg ingen modvind!?*

KB: *Det er det han siger til dig. Tror du på det?*

RIE: *Nej*

KARSTEN: *Nej, det er ikke det jeg siger, fordi hvis du cykler på vejen med en konstant hastighed, ikke...*

RIE: *Ja, så har jeg da stadigvæk modvind.*

KARSTEN: *Nej, for så er accelerationen jo ikke nul*

Her bliver det tydeligere at Karsten bruger begrebet acceleration forkert i denne sammenhæng. Formentlig benægter Karsten ikke at der er modvind. Men han hævder at accelerationen (som han bruger ordet) ikke er nul selv om hastigheden er konstant.

RIE: *Jo, det er den. .. Nu har jeg ret, fordi at når jeg cykler, ikke også, med en hastighed, så har jeg altid mod ... (...) ..vinden ..kører jo altid mod mig, også selv om accelerationen er nul (...)*

(Tavshed)

RIE (Triumferende): *Ahaaa*

KARSTEN: *Jeg forstår godt hvad du mener...*

RIE: *Jeg cykler rundt med konstant hastighed.*

KARSTEN: *Jamen så bliver ved med at putte energi ind i. Altså hvis du ... hvis du ..*

Rie har givet Karsten noget at tænke over. Men Karsten opgiver ikke så let. For han har et stort begrebsapparat som ikke bare sådan kan skiftes ud. For at holde denne konstante hastighed kræves der jo noget ... ja, det er det han har kaldt "acceleration", nu taler han om at putte "energi" ind. Det er det samme han mener. En slags blanding af kraft og arbejde (i den "autoriserede" terminologi).

RIE: *Jeg putter ikke energi ind i, når hastigheden er konstant så cykler jeg ikke mere end jeg gør. Jeg cykler kun.*

KARSTEN: *Jamen du bliver jo ved med at .. ja, ja men så accelerere .. eller du ..*

RIE: *Jeg accelerer ikke. Jeg cykler ikke hurtigere.*

KARSTEN: *Jamen det er den .. fordi hvis... jamen, prøv at høre, accelerationen er nul, ikke ... det er den jo ikke. Når du cykler. Altså, sådan som du ser på det selvfølgelig, men pga. modvind...eller pga. vinden.*

Rie bruger ikke begrebet energi korrekt, men hun har ret i hvad hun siger om acceleration,. Hun ved hvad acceleration er: hastighedsforøgelse! Men for Karsten er acceleration i den grad ladet med

forestillinger om kraft/arbejde at den ikke kan være nul, når nu skibet bevæger sig fremad, trods modstand. Karsten siger: Accelerationen er nul "sådan som du ser på det". Men reelt, så... Der ligger noget bagved den jævne bevægelse som Karsten føler stærkt - og som han insisterer på at kalde acceleration - selv om han samtidig godt kender og forstår definitionen på acceleration. Det virker som om Karsten ser den konstante hastighed som et slags bedrag. Vi har en tilsyneladende ubesværet og "ubremset" jævn bevægelse. Men kun tilsyneladende: I virkeligheden er der en stor modstand der skal overvindes, og for at det kan ske må skibets bevægelse have en egenskab som, hvis der ikke var nogen modstand, ville få hastigheden til at vokse jævnt (accelerere). Den egenskab kalder han acceleration. Han kan ikke skelne mellem skibets faktiske bevægelse og den bevægelse det ville have uden modstand. Eller rettere: han skelner ikke korrekt.

KARSTEN: Ja, ja, OK, jeg forstår godt hvad du mener. Når du kører med en konstant hastighed så er accelerationen nul, ikke. Men du kører jo, altså du bliver jo ved med at accelerere, men modvinden får dig bare til at du ikke accelererer sådan fysisk.

Karsten bekræfter at han godt forstår hvad acceleration betyder. Hvad skal han så gøre? Han splitter begrebet op i to: "acceleration som du ser det" eller "acceleration fysisk" (det "rigtige"), og "acceleration" slet og ret - hans eget begreb, som han nægter at skille sig af med. Men det vil Rie overhovedet ikke være med til.

RIE: Nej Nej.!

KARSTEN: Jo

RIE: Nej. Nej, fordi at modstanden den sætter jo .. den .. den er der bare

Cecilie, som stort set ikke deltager i denne diskussion, bliver utålmodig og forslår som svar på spørgsmålet om modstandskraftens afhængighed: accelerationen, med hastigheden i parentes. Karsten og Rie bliver hurtigt enige om at svaret er accelerationen, men problemet med acceleration eller ej for cyklen i modvind engagerer dem, så de fortsætter.

KARSTEN: Jo, fordi, må jeg lige prøve igen?

RIE: Ja

KARSTEN: .. at forklare. OK, du cykler, ikke. Lad mig lige tegne det. OK her kommer Rie cyklende, ikke?

(...) Her kommer Rie cyklende. Det der, det er kæden .. og en cykelhjelm.

RIE: OK sådan så, hvis jeg væltede..

KARSTEN: Så kommer du cyklende. Og der er en modvind. Eller der er ikke modv... Men der er i hvert fald modstand, ikke. Prøv at se. Og du kører med konstant hastighed. Hvis accelerationen er nul, ikke. Men hvis du nu holder op med at cykle, så stopper du, fordi der er modstand. ...

RIE: Jeg kan godt se det.

KARSTEN: *Fordi, for at holde dig i konstant hastighed, der bliver du nødt til at accelerere.*

RIE: *Nej. For at kunne køre med konstant hastighed skal jeg bare blive ved med at træde rundt. Så accelererer jeg ikke.*

KARSTEN: *Jo, det gør du jo... Det gør du, men modstanden får det bare til at .. sådan at du ...*

“At cykle”, altså at trampe i pedalerne, er at “accelerere”, i Karstens terminologi. Rie kan ikke finde ud af at Karsten bruger “accelerere” forkert. Hun gentager bare sin korrekte formulering. Det forstår Karsten sådan set godt, men han er slet ikke indstillet på at ændre sin tankegang. Hans projekt er at forklare Rie hvordan han ser det, selv om han egentlig burde kunne se at det er lidt håbløst. Man kan næsten ikke lade være med at få den tanke at hvis han diskuterede med en lærer med autoritet, så ville hans sind måske være mere åbent for at justere hans egne begreber og ideer.

RIE: *Nej, fordi .. jeg kan ikke accelerere når jeg bliver ved med at cykle, og jeg bliver ved med at holde den samme hastighed. Så accelerer jeg ikke.*

CECILIE: *Jo, du skal accelerere for at...*

RIE: *Nej, jeg er nødt til at holde den samme hastighed .. for ikke at falde baglæns.*

KARSTEN: *Nej, fordi.. Nej men du accelererer faktisk, men modstanden får det til at ligne at du ikke accelererer sådan...(..) Jamen sådan vil jeg da tro det. Fordi. Selvfølgelig, du accelererer ikke sådan fysisk. Hvis du forstår. Altså, du kan ikke sådan ...brrrm .. men du kører*

Her ser vi tydeligt Karstens skelnen mellem den tilsyneladende acceleration (“acceleration rent fysisk”) og det han opfatter som den virkelige, bagvedliggende acceleration. Men Rie siger: Der er kun ét accelerationsbegreb:

RIE: *Nej, så accelerer jeg heller ikke.*

KARSTEN: *Jo*

RIE: *Nej, man skal accelerere fysisk!*

KARSTEN: *Men du bliver i hvert fald nødt til at putte kraft ind i, og det er det jeg mener med acceleration.*

Nu får Karsten endelig formuleret at han mener noget særligt når han siger “acceleration”. Han siger ikke (og mener næppe heller) at det er forkert. Men KB’s autoritet har tvunget ham til at acceptere Ries sprogbrug som korrekt i en eller anden forstand.

10.2 Diskussion af begreberne kraft og acceleration.

Hvad er det vi observerer under især Karstens kamp med begreberne? Lad os se på hvilke forestillinger (mentale modeller) Karsten synes at have i forvejen. Han har åbenbart nogle forestillinger om "fremdrift" (udtrykkes ved "jeg accelererer" eller "jeg træder i pedalerne"). Desuden en fornemmelse af at der findes modstand mod denne "fremdrift" (Ohms p-prim). Når disse to "kræfter" er "i ligevægt" bevæger vi os med konstant hastighed. Modstanden forudsætter fremdrift. Hvis jeg ikke tramper i pedalerne (ikke "accelererer") er der naturligvis heller ingen modstand. Modstanden er tydeligvis en slags reaktion på denne fremdrift eller "acceleration". Denne måde at tænke på skulle kunne være fuldt tilstrækkelig til at håndtere de allerfleste dagligdags situationer. Sprogbrugen vil næppe heller volde større problemer.

Hvad er det så for begrebskonstruktioner Karsten skal foretage i fysik? Det ville være nærliggende at sige at det bare drejer sig om at fortælle ham at det han kalder acceleration i fysik hedder kraft. Og at ordet acceleration er reserveret som betegnelse for det han kalder *acceleration som du ser det* eller *acceleration rent fysisk*. Men så enkelt er det næppe.

For det første: Selve denne skelnen mellem *acceleration rent fysisk* og "acceleration" (en slags kraft) blev først foretaget i denne time. Før den var de næppe adskilt hos ham.

For det andet: De tidligere dele af dialogen viste at Karsten (ligesom også de andre i gruppen) har et meget svagt udviklet accelerationsbegreb. Han kender nok begrebet og kan i simple tilfælde bruge det nogenlunde korrekt. Men han begår fejl i denne lidt mere komplekse situation, både i forbindelse med grafiske repræsentationer af bevægelsen (v,t)-graf, og i forbindelse med beregning ud fra tabel over tid og hastighed (symbolsk repræsentation, $\Delta v/\Delta t$) Og der er store vanskeligheder med at forbinde disse repræsentationer/ forståelser med hinanden. Accelerationsbegrebet skal først viderekonstrueres, og det er det han er i færd med at gøre.

For det tredje: I Karstens begrebsverden er det som i fysikken betegnes acceleration og kraft uhjælpeligt flettet sammen. Der er god grund til at tro at med det grundlag Karsten har, kan han ikke konstruere de to begreber hver for sig.

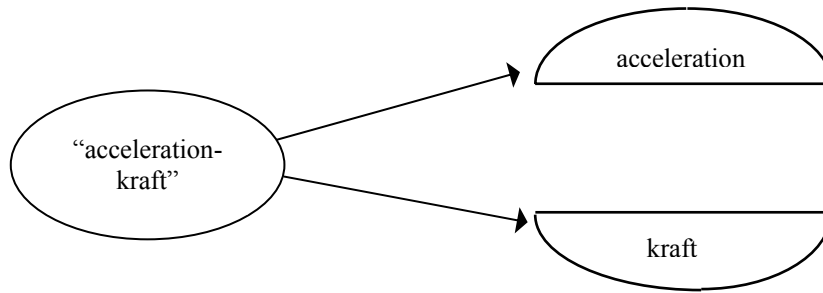
Karstens forforståelse kan altså ikke ignoreres når der skal tilrettelægges måder hvorpå han kan konstruere de fysiske begreber. Det er den platform på grundlag af hvilken han opbygger sine nye begreber. I denne videosekvens ser vi f.eks. hvordan hele hans mentale arbejde er koncentreret om at give mening til de begreber/mentale modeller han har i forvejen. Det er derfor Karsten viser den uhorste stædighed når han fastholder sine forestillinger, selv om de viser sig så utilstrækkelige.

Vi kan derfor ikke bede ham om at glemme eller "aflære" sin forforståelse.

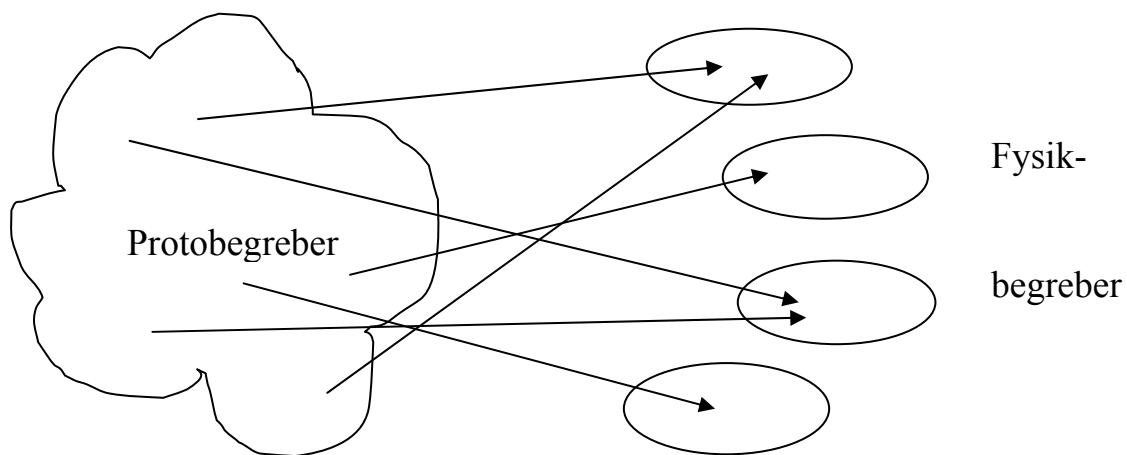
Vi kan heller ikke blot sætte nye definitioner på hans forhåndsbegreber, for de svarer ikke til de fysiske begreber, selv om de er forbundet med dem og bruges i de samme situationer.

Vi må snarere sige de ord og begreber han bruger i sine forestillinger om bevægelse skal danne grobund for skabelsen af de konventionelle fysikbegreber. Karstens "Fremdrift/acceleration"-begreb skal i en vis forstand *uddifferentieres* så begreberne kraft og acceleration kommer til at stå distinkt, og samtidig skal det *beriges* med det kinematiske accelerationsbegreb. Vi ser igen hvordan begrebet er dynamisk, og udvides i takt med at det konfronteres med nye situationer.

Det vi har set her er kan være en lille del af en sådan mulig konstruktion, hvor Karsten i samtalen bliver tvunget til selv at uddifferentiere sit "acceleration"-begreb i *acceleration* og *acceleration fysisk*, som illustreret i figur 10.1.



Figur 10.1



Figur 10.2

Men måske er forholdet endnu mere kompliceret. Det kunne også se ud til at accelerationsbegrebet i både Karstens og de andres bevidsthed også er flettet sammen med hastighedsbegrebet og først på rette måde skal "uddifferentieres" herfra. En fortløbende begrebsudvikling skal måske snarere ses som en stadig ommøblering og re-definition af elevens begreber. Altså snarere noget i retning af figur 10.2.

En forståelse af hvad der her foregår kan vi måske finde i Duits beskrivelse af *conceptual change*, (Duit 1995). Vi husker (afsnit 6.5) at ved *conceptual models* forstår Duit den "officielle" fysik:

"Learning very often is conceptualized as conceptual change. As there is some debate on what "change" in conceptual change may mean we want to point out that in our view change does not mean total extinction of the already existing conceptions but that learning is a process of adaptive development that includes facets of change of existing conceptions, enlargement of them, and also change of situations and contexts in which the old and the new conceptions may be fruitful. (...) In our view the conceptual change perspective highlights that

learning is a complex process of adaptation that leads from students conceptions (or in the terminology of modelling: from students' mental models) towards conceptual models.
(Duit 1995)

Måske er der i virkeligheden tale om en proces der aldrig bliver færdig, men udvikler sig efterhånden som man konfronteres med stadig nye situationer hvor begreberne tages i anvendelse. Slutpunktet: en tilstand hvor der er overensstemmelse mellem en persons private begrebsforståelse og den "officielle" fysik kan næppe fastlægges absolut, nås måske aldrig. Vi stræber blot efter at tilpasningen af begreberne til nye problemer og til andres sprogbrug sker stadig mere "automatisk" og umærkeligt.

Den klassiske undersøgelse (Green m.fl., 1985, se f.eks. de Corte 1993 eller Roth, 1995) hvor studerende ikke kan placere kræfter korrekt på en kastet genstand, kan måske også forstås på en anden måde end den traditionelle: at de studerende ikke korrekt kan forbinde det konceptuelle niveau med fænomen- niveauet ("teori-verden" med "verden af ting"). Her er det snarere begreber *inden for* "teori-verden" der skal klargøres. Man kunne derfor i stedet sige at de i deres hidtidige forestillinger om dette fænomen ikke har haft brug for at udskille den rene bevægelse ("hastighed", "acceleration") fra de kræfter der forårsager den. De har m.a.o. ikke gennemgået den abstraktionsproces der består i at adskille kinematikken fra dynamikken. De har altså endnu ikke udviklet deres begrebsunivers, deres "mental models" i forhold til den situation der bliver spurgt om. Men når en sådan udvikling har fundet sted, og deres forståelse er blevet til det Duit kalder "conceptual models" (dvs. den accepterede fysiske beskrivelse), kan man stadig forestille sig *andre* situationer hvor der *ikke* er overensstemmelse mellem deres *mental models* og de relevante *conceptual models*.

11 Kausalitet: sammenhæng og afhængighed

I fysikundervisningen indgår en lang række abstrakte fysikbegreber som eleverne skal lære at forstå og beherske, og som lærere er bevidste om at de skal bibringe eleverne. Der er imidlertid også begreber som ikke direkte indgår i fysikkens teorier, men som er lige så fremmede for eleverne, og hvis brug og betydning lærere ofte ikke er bevidste om at der direkte skal undervises i. Hertil hører begreberne sammenhæng og afhængighed. Vi vil i det følgende se på nogle af de betydninger disse ofte implicit forudsatte begreber kan have.

11.1 Symmetriske sammenhænge

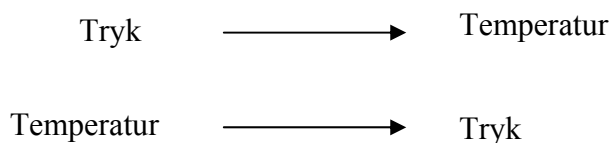
I matematikundervisningen er eleverne vant til at møde sammenhænge mellem variable hvor disse indgår på fuldstændig lige fod, f.eks. x og y i ligningen for en cirkel: $x^2 + y^2 = r^2$. I andre tilfælde skelnes der mellem "afhængige" og "uafhængige" variable, f.eks. i $y = f(x)$. Men denne skelnen fremstår ikke som særlig fundamental. Man kan definere den omvendte funktion f^{-1} og dermed bytte om på den afhængige og den uafhængige variabel uden at den matematiske relation har ændret sig.

Sådanne sammenhænge forekommer også i fysikken, men ofte ligger der i sammenhængene betydninger som ikke fremgår direkte af de matematiske ligninger, og det kan frembyde betydelige vanskeligheder for eleverne.

11.2 Kontrollerede og ikke kontrollerede variable

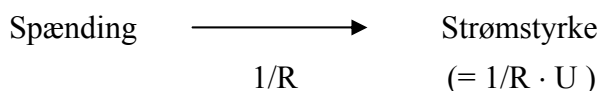
Distinktionen mellem variable som vi i en bestemt situation har kontrol over og variable vi ikke kontrollerer, er vigtig.

Sammenhængen mellem tryk og temperatur for en indespærret idealgas er en simpel proportionalitet. Men vi kan vælge mellem at kontrollere trykket eller temperaturen. Dermed får vi to forskellige "kontrolkæder":



For mange elever er f.eks. Ohms lov en relation der indeholder tre ligeværdige størrelser: spænding, strøm og resistans. Men for at forstå hvad Ohms lov betyder, må de gøre sig klart at hvis man f.eks. regulerer spændingsforskellen, ændrer strømstyrken sig på en bestemt måde. Og resistansen er en konstant der er med til at karakterisere denne sammenhæng.

Vi har følgende "kontrolkæde":



En helt anden situation har vi hvis man skal undersøge hvordan polspændingen for et batteri afhænger af strømstyrken. Her vil vi normalt regulere en resistans for at ændre strømstyrken hvilket resulterer i en ny polspænding. ”Kontrollkæden” bliver

Resistans \longrightarrow Strømstyrke \longrightarrow Polspænding

En forståelse af de forskellige variables indbyrdes status vil i reglen være nødvendig for at eleverne forstår hvad det egentlig er de undersøger, og hvad resultatet betyder.

11.3 Tiden som særlig variabel

Tiden spiller en særlig rolle blandt variable. Hvor tiden optræder som variabel har vi aldrig kontrol over den. Men den afhænger heller ikke af andre variable. Tiden går bare! En lang række fysiske variable er desuden defineret ved hjælp af tiden: strømstyrke, hastighed, acceleration, osv. De er defineret som differentialekvotienter af variable der er angivet som funktioner af tiden, og er dermed selv funktioner af tiden og får kun mening ved at tiden optræder som implicit variabel.

Med tiden som underliggende, ukontrolleret variabel har vi mange situationer hvor vi skal undersøge sammenhænge mellem variable uden at kunne kontrollere en eneste af dem, f.eks. sted og hastighed i et frit fald, eller strømstyrke og spændingsfald for modstanden i en elektrisk svingningskreds.

Ofte skal vi studere sådanne dynamiske forløb der er bestemt af visse faste parametre (f.eks. resistansen eller kapacitansen i den elektriske svingningskreds). Opgaven kan så være at gentage forløbet mange gange med ændrede værdier af en af disse parametre og studere hvordan forløbet afhænger af disse ændringer.

Men mange fysiske situationer er lidt mere komplicerede, og det kræver betydeligt overblik og fysikerfaring at forstå betydningen og arten af de forskellige sammenhænge. F.eks. afsættes der energi i en resistor, hvori der løber strøm, så den vil blive varmet op. Man kan undersøge sammenhængen mellem resistansen og den afsatte energi ved at foretage gentagne forsøg med forskellige modstande. Men man kan også tænke sig at resistansen afhænger af temperaturen, så resistansen ændres løbende under et enkelt forsøg. Hvor svært det kan være i en sådan situation at forstå de forskellige betydninger af begrebet ”sammenhæng” bliver tydeligt i elevdialogen der følger efter det næste afsnit, hvor eleverne diskuterer problemet med vandmodstanden på skibet, og hvad denne kan afhænge af.

11.4 Elevernes dialog med fokus på kausalitetsperspektivet

Første gang eleverne diskuterer modstandskraften og hvad den kan afhænge af, er ret tidligt i forløbet. De skal forklare hvorfor hastigheden ikke vokser lineært med tiden.

De opdager at (t,v)-grafene ikke bliver ved med at vokse lige så hurtigt som i starten. De indser at hælden - og dermed accelerationen - bliver mindre efterhånden. Men hvorfor gør den det?

KARSTEN: Altså herovre, da vi regnede den ud, ikke, da så vi jo bort fra gnidningsmodstanden, ikke. Herovre der står bare at det er lavet med forsøgsopstillingen, og der er jo vand.

SIGNE: I starten er den vel det samme, ikke ... Altså, jo mere fart sådan et skib

har på, jo mere bliver modstanden vel også. Gør den ikke? Eller er det bare mig
...

Karsten er inde på gnidningsmodstanden fra vandet som årsag til den aftagende acceleration, og Signe formulerer helt korrekt en sammenhæng mellem hastighed og gnidningsmodstand.

Signe er meget usikker på dette. Som vi skal se i det følgende, har Signe svært ved at finde tilbage til denne tankegang. Det er nok en vigtig pointe at hvis en sådan indsigt ikke opmuntres (af en lærer eller af kammeraterne) forsvinder den igen!

Der går nu meget lang tid med de beregninger og overvejelser der fører frem til en formel for modstandskraften. Endelig (i næste dobbelttime) kommer de frem til spm.8: Hvad afhænger F_{mod} af? Eleverne er med det samme klar over at de forventes at pege på en af de variable de har brugt til at beskrive bevægelsen, og ikke f.eks. skibets form. To størrelser diskuteres: hastigheden og accelerationen.

RIE: Ja, (modstanden afhænger) af accelerationen og accelerationen afhænger af hastigheden...

KARSTEN: ..Vi siger bare: Af accelerationen?

RIE: Og accelerationen...

CECILIE: Som afhænger af...

KARSTEN: Nej, det kan vi ikke.

RIE: Så kan man skrive i parentes ikke, altså a afhænger...

KARSTEN: Nej, nej for det er jo ikke det (..)

RIE: Accelerationen!

Eleverne hælder mest til at F_{mod} afhænger af accelerationen. Men da hastighed og acceleration i dette forsøg er forbundne på en ganske bestemt måde ("afhænger af hinanden") må F_{mod} jo også afhænge af hastigheden.

Rie og Signe er indstillet på at svare at F_{mod} afhænger af både acc. og hastighed (skrive det ene og det andet i parentes). Karsten derimod synes at protestere mod at opstille en sådan "kæde af afhængigheder". Ingen af dem er i stand til at gennemskue de forskellige sammenhænges forskellige status.

De er lige ved at beslutte sig for at svare "accelerationen". Diskussionen synes at være afsluttet, og for at opmuntre til videre drøftelse af spørgsmålet griber observatøren ind.

KB: Har I nogen argumenter for at modstanden afhænger af accelerationen?

SIGNE: Ja, det kan vi jo se, at vi har problemer med (retningerne), ikke..

CECILIE: På grund af accelerationen

SIGNE: Ja

Det Signe og Cecilie siger er: Værdierne for accelerationen havde stor betydning for udregningen af F_{mod} . Eleverne har brugt accelerationsværdierne, fundet ud fra hastighedsgraf, til at udregne værdierne for F_{mod} v.h.j.a. Newtons 2.lov. Den formel for F_{mod} som de er kommet frem til indeholder altså accelerationen – en kendsgerning der er placeret centralt i deres bevidsthed fordi netop en fejl i beregningen af accelerationsværdierne gav dem uforståelige resultater for F_{mod} . Så selvfølgelig afhænger F_{mod} af accelerationen.

Skal eleverne komme videre her må de gå videre og prøve at opnå en forståelse af de sammenhænge de rent faktisk ser i deres tal, og måske foretage nogle tankeeksperimenter som beskrevet tidligere. Sådanne overvejelser går de ikke ind i uden opfordring.

KB: Hvordan, altså har I indtryk af at modstanden vokser eller falder?

RIE: Modstanden?

KARSTEN: Modstanden falder med... eller vokser med...

RIE: ..jo hurtigere det går

KARSTEN: ..med jo langsommere acceleration

Her ser vi en forskel mellem Ries og Karstens formulering. Rie formulerer sig om hastigheden i dagligsprog ("jo hurtigere det går"), hvilket kunne tyde på at hun har en fornemmelse for sammenhængen mellem modstand og hastighed der ikke bare er rent "matematisk". Karsten derimod konstaterer nok simpelt hen en korrelation mellem de givne data (faldende acceleration, voksende modstand).

SIGNE: Det er jo klart, fordi accelerationen, den går jo den modsatte vej, ikke? Så hvis den er hurtig... hvis accelerationen er hurtigere eller hvad man kan sige ... større end modstanden, så vil den skubbe modstanden... Så er det jo klart når modstanden eller når accelerationen ... de må følge hinanden, ikke. Når accelerationen bliver mindre så kan modstanden komme længere frem, eller hvad man skal sige... Han i følge min tankegang?

KARSTEN (Ler): Men tak fordi du prøvede..

(Almindelig latter)

SIGNE: Men kan I ikke se det...

Kammeraterne forstår ikke Signe. Det er også svært at se hvad hun mener, men der synes at være en antydning af den opfattelse af accelerationen som en kraft som vi så Karsten udfolde i kapitel 10, og som hun også selv tidligere har været inde på. Signes tidligere indsigt i sammenhængen mellem hastighed og modstandskraft kommer hun slet ikke i tanker om - med mindre hun mener hastighed når hun siger acceleration. Måske siger Signe følgende: "Acceleration" er noget der kan "overskygge" den bagudrettede modstand. Kun når "accelerationen" er meget lille kommer modstanden til sin ret, bliver "synlig".

Der er unægtelig temmelig langt fra en fornuftig fornemmelse, inspireret af almindelig erfaring, som den kommer til udtryk i Signes tidligere udsagn: "jo mere fart sådan et skib har på, jo mere

bliver modstanden vel også”, og så ovenstående mislykkede forsøg på en forklaring med (misforståede) fysikbegreber. Signe synes slet ikke at forbinde dem. Forstår hun overhovedet at der er tale om det samme problem?

Den vellykkede integration af elevens forforståelse i den abstrakte (og mere almene) fysiske begrebsforståelse er formentlig et af de afgørende elementer i fysikkompetencen.

KARSTEN: Jeg ville bare tro, jo større accelerationen var, jo større modstand

CECILIE: Jeg vil tro at der er mindre modstand

RIE: Ja det ville jeg faktisk også tro, fordi hvis det er, altså...

SIGNE: Nej, de skubber jo mod hinanden, fordi, nej, fordi modstanden den går den vej, accelerationen går jo den vej (peger med hænderne i hver sin retning).

KB: Du skifter over til hastighed

SIGNE: De går jo mod hinanden: Modstanden går ind mod skibet, accelerationen går med skibet jo, ikke.

KARSTEN: Det.. hastigheden.

RIE: Men hastigheden den afhænger jo også af accelerationen.

Det kan være at Karsten her forveksler acceleration og hastighed. Den øvrige dialog viser imidlertid at han blander kraft og acceleration sammen, og hans udsagn giver mening hvis han opfatter accelerationen som en kraft - og modstanden som en slags reaktion eller måske inerti.

Også Signe ser åbenbart stadig på acceleration og modstand som to konkurrerende ting (kræfter?)

Rie tænker: Selv om man påstod at modstanden afhænger af hastigheden, så er det jo stadig sandt at den afhænger af acceleration fordi hastighed og acceleration afhænger af hinanden.

RIE: Den afhænger egentlig også af hastigheden!

SIGNE: Jamen det er jo klart, fordi accelerationen afhænger af hastigheden, ikke.

RIE: Jamen så skal vi også skrive hastigheden, og ikke bare kun accelerationen.

KARSTEN: Jamen jeg er også... fordi jo større hastigheden er, ikke, jo større er accelerationen. Jeg tror ikke.. eller jo større modstand er der.

Signe ser en kæde af sammenhænge. Derfor kan hun slet ikke forstå diskussionen om hvorvidt modstanden nu afhænger af hastigheden eller af accelerationen. Det accepterer Rie, og hun mener derfor at de skal skrive begge (hastighed og acceleration).

Eleverne mener at der måske nok kan siges at være en afhængighed af hastigheden, men at den går gennem accelerationen, idet der er en indbyrdes afhængighed af acceleration og hastighed. De har slet ikke gjort sig klart hvad årsagen til denne afhængighed kan være, og de forstår ikke at ”afhængighed” og ”sammenhæng” har forskellige betydninger. Det ville også være meget forlangt! Det går næppe på noget tidspunkt op for eleverne at deres forestilling om ”afhængighed” er mangelfuld.

KB prøver nu at få eleverne til at indse at der kan være modstand når accelerationen er nul, således at der ikke kan være den sammenhæng mellem modstandskraft og acceleration som foresvæver eleverne:

KB: Kan I forestille jer en situation, hvor accelerationen var nul?

RIE: Så er hastigheden også nul

SIGNE: Nej, det behøves den ikke at være. Så er den lige, så er den konstant, ikke. Hvis der ikke er nogen acceleration, så er det fordi hastigheden er konstant.

RIE: Nå, sagde du ikke modstanden?

KB: Nej, jeg spurgte om du kunne forestille dig en situation hvor accelerationen var nul.

RIE: Nå, nå det er... meget let..

KB: Og hvad er det så.. altså en situation hvor accelerationen er nul?

RIE: Så er hastigheden konstant.

KB: Er der så nogen modstand?

RIE: Ja

KARSTEN: Næ

CECILIE: Det må der jo være, altså hvis den sejler med samme hastighed, så må der da også ..

KARSTEN: Nej, for hvis der så ... nej, men prøv nu at høre. Hvis der ikke er nogen acceleration, ikke, så er hastigheden konstant, ikke? Hvis der så er en modstand, så må hastigheden jo falde, .. eller. Og det gør den jo ikke hvis den er konstant.

Signe viser igen at hun behersker sammenhængene mellem acc.- og hastighedsgrafer - når hun ikke skal bruge det til noget kompliceret. Rie gentager i første omgang den tidligere misforståelse at acceleration = 0 medfører hastighed = 0, men viser så at også hun kender den rette sammenhæng. Hun ved også, ligesom Cecilie, at der må være modstand ved konstant hastighed.

Karsten mener derimod ikke at der er her vil være nogen modstand. Det skyldes formentlig at han ikke kan skelne korrekt mellem acceleration og kraft (se afsnit 10.1). Derfor: hvis der ingen acceleration ("fremadrettet kraft") er, så vil en modstandskraft få hastigheden til at falde. Og heraf følger at modstandskraften må være nul.

Der følger nu en diskussion, hovedsageligt mellem Karsten og Rie, om hvad "acceleration" egentlig vil sige når man cykler med vindmodstand. Karsten siger at man i en eller anden forstand "accelerer" hvis en vindmodstand skal overvindes, også selv om hastigheden er konstant. Rie fastholder at konstant hastighed altid betyder at accelerationen er nul. Diskussionen bringer dem ikke nærmere svaret på spørgsmålet om hvad F_{mod} afhænger af, selv om Karsten må indse at han har problemer med sit accelerationsbegreb.

Cecilie forsøger sig med et kompromis (tidligere forslået af Rie):

CECILIE (opgivende): Skal vi sige at vi skriver accelerationen og så hastighed i parentes.

KARSTEN: Det er accelerationen, det kan vi jo også se af formlen, der spiller hastigheden så ikke ind.

RIE: Nej, det ved jeg godt. Det forstår jeg godt. Men det der med den cykel, det fatter jeg ikke.

Den foregående diskussion har ikke rykket Karsten. Faktisk ser han næppe overhovedet relevansen af denne diskussion for spørgsmålet. Og hvordan kan modstanden afhænge af hastigheden når den ikke engang indgår i formlen for den?

Det er Rie sådan set enig i. Hun ser måske heller ikke relevansen af deres diskussion i forhold til spørgsmålet om hvad modstanden afhænger af. Men Ks insistensen i denne diskussion plager hende. At hun tidligere har påstået at modstanden afhænger af hastigheden har hun enten glemt, eller det er ikke det der optager hende lige nu.

De to tager endnu en holmgang om accelerationsbegrebet, hvor Rie viser at hun, i modsætning til Karsten, er i stand til korrekt at skille de kinematiske og de dynamiske aspekter i beskrivelsen ad. Eleverne når aldrig til en korrekt afklaring af spørgsmålet.

11.5 Indsigt

Ideen om *sammenhæng* eller *afhængighed* (hvilke andre størrelser afhænger en bestemt fysisk størrelse af, hvordan afhænger en fysisk størrelse af en anden) er meget vanskelig at forstå for eleverne. I betragtning hvor mange eksperimentelle opgaver der i stigende grad er baseret på denne ide, er det en væsentlig pointe. Forståelsen af kausal afhængighed forudsætter kausale mentale modeller som det tager lang tid at opbygge.

12 De enkelte elevers mentale billeder i fem forskellige perspektiver

12.1 Karsten

12.1.1 Formelperpektivet

Vi ser først på Karstens forståelse af formler til definition af acceleration. Der er en del der tyder på at Karstens mentale billede bedst kan karakteriseres som en mellemtung mellem en fuldt operationel forståelse af formlen $a = \Delta v / \Delta t$ og en mere ubestemt ide om at acceleration er noget med hastighed divideret med tid.

Han siger

”når vi dividerer hastigheden med tiden, så får vi accelerationen”,

og når han skal anvende dette konkret, dividerer han først den øjeblikkelige hastighed med et tidsinterval, $\Delta t = 0,2$ sekunder: $a = v / \Delta t$. Han bruger altså ikke formlen korrekt, selv om der er tale om hastighed divideret med acceleration. ”Broen” til det grafiske billede, den matematiske formel for hældningskoefficient, er ikke stærk eller tydelig nok til at han kan finde ud af at benytte den.

Karstens opfattelse er med andre ord mere sofistikeret end ”noget med hastighed divideret med tid”. Han synes at associere til en nogle ufuldstændigt forståede formelbilleder som imidlertid, til trods for den ufuldstændige forståelse, udgør nødvendige kim der i løbet af arbejdet med problemet kan udvikles til et mere sammenhængende og brugbart billede.

Et par timer efter den første forkerte brug af en formel for acceleration kommer han (ved at drage en analogi til en definition af hastighed) frem til at accelerationen fås ved at dividere et hastighedsinterval med et tidsinterval ($a = \Delta v / \Delta t$):

”hvis du skal finde hastigheden, ikke, så skal du tage stedskridtet [...] divideret med tidskridtet, ikke. Så må det jo næsten også være sådan når du skal finde accelerationen..”

Det andet centrale formelkompleks er Newtons 2. Lov i forskellige udgaver. For hele systemet bliver ligningen

$$mg - F_{\text{mod}} = (M+m) a \Leftrightarrow F_{\text{mod}} = mg - (m + M) a$$

Karsten kan bruge denne formle til at bestemme F_{mod} (selv om det tager temmelig lang tid og en del diskussion før denne mulighed for at bestemme F_{mod} træder tydeligt frem for ham). Men den samme formel forleder ham også til fejlagtigt at postulere at modstandskraften afhænger af accelerationen og ikke af hastigheden:

”Det er accelerationen [modstanden afhænger af], det kan vi jo også se af formlen, dér spiller hastigheden så ikke ind”.

12.1.2 Grafperspektivet

Vi ser på grafen af hastigheden som funktion af tiden som eleverne tegner. Allerede meget tidligt i forløbet bemærker Karsten en karakteristisk egenskab ved grafen:

"Ja, den flader i hvert fald ud, kan jeg se".

Denne erkendelse skal senere forbindes med forståelser af skibet og de kræfter der virker på det (systemperspektivet), samt med et mentalt billede af hastighedsgrafen som den ville se ud hvis der ikke var nogen modstand (en graf eleverne *ikke* har tegnet), for at han kan komme frem til et svar på spørgsmålet om *hvorfor* grafen lader ud.

Vi begynder med at se på det første problem (at finde værdier for accelerationen til forskellige tidspunkter). har åbenbart et billede af grafen og af tangenter til grafen som han forbinder korrekt med accelerationen:

"Vi skal bare finde hældningen på tangenten i det punkt"

Det kræver lidt overvejelse for ham (på baggrund af indvendinger fra de andre i gruppen som er endnu mere usikre) at forbinde denne forståelse korrekt med formelperspektivet (hældningskoefficienten er lig $(y_2 - y_1) / (x_2 - x_1)$):

"Men vi har jo forskellige enheder på akserne, så skal vi lige tænke os om, i hvert fald, bag-efter"

I sidste ende synes grafbilledet med den korrekte forestilling om sammenhæng mellem tangenten til grafen og accelerationen tilsyneladende alligevel at træde i baggrunden til fordel for et ufuldstændigt formelperspektiv, idet Karsten udregner accelerationen ved hjælp af $a = v / \Delta t$. Sammenhænge mellem de fysiske begreber ("*når vi dividerer hastigheden med tiden, så får vi accelerationen*") er hos mentalt i nogen grad forbundet til den matematiske forståelse af graf og tangent, men ikke stærkt nok til at han kan fastholde forbindelsen når accelerationen skal beregnes. Når han senere kommer frem til en korrekt beregningsmetode (at bruge formlen $a = \Delta v / \Delta t$), er det ikke ved at vende tilbage til at se på tangenter til grafen, altså til grafperspektivet, men ved at han formoder en analogi til den måde hvorpå hastigheden kan defineres og regnes ud ($v = \Delta s / \Delta t$).

Den svage forbindelse mellem udregningen af accelerationen og den (korrekte) forståelse af sammenhængen mellem graf og acceleration viser sig ved at Karsten langt senere får en aha-oplevelse:

"Nåh ja, for satan, den falder jo... Det er rigtigt. Accelerationen...Hældningen falder, så må accelerationen også falde!"

Selv om Karsten sådan set hele tiden har forstået at accelerationen er givet ved kurvens hældning, er det først her han foretager den mentale kobling direkte til den konkrete udregning af accelerationeværdierne, således at han kan se at de tal de har udregnet, er forkerte.

Det andet problem, hvorfor grafen flader ud, har Karsten ret tidligt nogle bud på:

"Er det fordi der er vand i bassinet?...og trissen... der er modstand i trissen?"

Karsten skal her forbinde grafperspektivet med en forståelse af de delsystemer der kan identificeres i den eksperimentelle situation, og de kræfter der virker mellem disse systemer (systemperspektivet). Det centrale bindeled her er accelerationen, og da dette er et begreb Karsten har vanskelighe-

der ved at udskille fra kraftbegrebet, bliver det svært for ham at forbinde de to perspektiver på frugtbar måde. Han siger

”... altså når den kommer op på de der 0,30 meter i sekundet, ikke, [...]så er gnidningsmodstanden så stor .. eller modstanden så stor at den bare ikke accelererer mere”

og viser dermed at han har en fornuftig intuition om forbindelsen mellem grafen, accelerationen og en modstand. Det kunne derfor se ud til at han har forudsætningerne for at kunne besvare spørgsmålet, hvor stor modstandskraften er når hastigheden er konstant (og accelerationen dermed nul). Men det kan han ikke. Han fortsætter med at sige

”Altså at gnidningsmodstanden er lige så stor som accelerationen på det tidspunkt, sådan så at hastigheden bare er konstant”

Den ligevægt som Karsten ser (*”..modstanden så stor at den bare ikke accelererer mere”*), er ikke klart forbundet med systemperspektivet (*”..gnidningsmodstanden er lige så stor som accelerationen..”*). Acceleration bliver sidestillet med en modstanden, og *modstanden* bliver muligvis ikke fuldt forstået som *kraft*. Bl.a. derfor kan Karsten ikke bruge sin forståelse af grafbilledets forbindelse med modstand og dynamisk ligevægt til at indse at når hastigheden er nul, er modstandskraften lig trækraften.

12.1.3 Systemperspektivet

Karsten er tydeligvis i stand til at forbinde et billede af den eksperimentelle situation med en mere abstrakt størrelse som modstanden. Det er dette billede der, sammen med udseendet af hastighedsgrafen som funktion af tiden, gør det muligt for Karsten at give en forklaring på at grafen flader ud:

”Er det fordi der er vand i bassinet?... og trissen... der er modstand i trissen?”

Imidlertid er billedet ufuldstændigt hvad angår de usynlige størrelser (kræfterne), og derfor bliver det vanskeligt for Karsten at forstå og besvare spørgsmål om modstandskraftens størrelse. Dels er det uklart om modstanden opfattes som en kraft på lige fod med snorekræfter og tyngdekraft, dels er Karsten, ligesom de andre elever i tvivl om hvor modstanden egentlig ”sidder” i systemet:

” Er det ikke i loddet modstanden er, og ikke i skibsmodellen..”

”[...] Er det begge steder?”

”... det er vel bare i alt, ikke?...”

Det tager tid for Karsten at få den modstandskraft der skal indgå i Newtons 2.lov til at indgå på en rimelig korrekt måde i billedet af det fysiske system og dets dynamik.

12.1.3.1 Ligevægtperspektivet

Som tidligere nævnt er skiftet fra en dynamisk synsvinkel til en synsvinkel der fokuserer på en stationær tilstand, altså uforanderlige størrelser i en dynamisk situation (modstandskraften, hastigheden), et meget betydeligt mentalt skift. Karsten har en klar intuition om en ligevægt og en stationær tilstand, men det er meget svært for ham at forbinde denne intuition korrekt med de mentale billeder han har indenfor formel- graf- og systemperspektivet. Hans forståelse af hastighedsgrafen der flader ud (hastigheden nærmer sig en konstant værdi) udtrykker han sådan:

”Altså [...] gnidningsmodstanden er lige så stor som accelerationen på det tidspunkt, sådan så at hastigheden bare er konstant”

Her altså et billede af ”ligevægt”, men det er ikke korrekt forbundet med systembilledet. Når han senere skal konkretisere billedet for at kunne sætte en talværdi på modstandskraften, bliver det en uddybning af ideen om ”balance” mellem modstand og acceleration:

”modstanden stiger, ikke [...] og accelerationen falder. Når nu de er lige store, så må hastigheden være konstant.” [...] ”Altså når accelerationen er lig modstanden, så må hastigheden være konstant”

Her mangler en forfinelse af systembilledet, således at de forskellige kræfter der indgår i billedet samt den måde hvorpå de virker sammen fremstår mere klart. Før det er sket kan den korrekte intuition om ”ligevægt” ikke bruges konstruktivt.

Det er i denne forbindelse illustrativt at Karsten sagtens, ud fra formelperspektivet, kan udregne modstandskraften i den situation hvor accelerationen er lig nul. Eleverne antager nemlig alle i lang tid fejlagtigt at accelerationen er nul til start (hvor hastigheden er nul). Karsten siger at det betyder at der i startøjeblikket gælder

” F_{mod} er lig lille m gange g , ikke”

Men når han skal betragte den dynamiske ligevægt der opstår til sidst i skibets bevægelse, er han ikke i stand til at drage den samme konklusion.

12.1.4 Kausalperspektivet

Et billede af kausale sammenhænge er nødvendigt for at kunne bruge de andre mentale billeder. Dels er det afgørende at have en forståelse af kræfter som årsag til hastighedsændringer (dvs. acceleration), dels skal eleverne kunne gøre sig overvejelser over hvilke faktorer der har indflydelse på modstandskraften.

Vi ser først på sammenhængen mellem kræfter og acceleration. Karsten har et billede af at modstanden påvirker accelerationen:

”når den kommer op på de der 0,30 meter i sekundet, ikke, [...] så er gnidningsmodstanden så stor ... eller modstanden så stor at den bare ikke accelererer mere”

Han er i stand til at placere symbolet for modstandskraft (F_{mod}) korrekt i Newtons 2.lov sammen med andre kræfter (formelperspektivet). Han opfatter altså, i hvert fald til en vis grad, modstanden som en kraft og denne kraft påvirker bevægelsen. En anden kraft er trækraften (kraften fra snoren eller tyngdens træk i loddet, alt efter hvilket system man vælger at betragte), men denne kraft blander Karsten sammen med accelerationen, hvilket forhindrer ham i at fastholde et brugbart billede af en kausal sammenhæng mellem kraft og acceleration. Når han identificerer den ”ligevægtssituation” som han beskriver på følgende måde:

”gnidningsmodstanden er lige så stor som accelerationen på det tidspunkt, sådan så at hastigheden bare er konstant”

så ser det ud som om han ser ”accelerationen” som den årsagsfaktor der sammen med modstanden bestemmer bevægelsen (i dette tilfælde, bestemmer om hastigheden ændrer sig, dvs. om accelerationen er nul). Det betyder at selv om Karsten synes at have et billede af årsagssammenhænge i situationen:

”modstanden [er] så stor at den bare ikke accelererer mere”

så forhindrer hans sammenblanding af ”kraft” og ”acceleration” ham i sidste ende i at se den afgørende kausalsammenhæng: At samspillet mellem kræfter er bestemmende for accelerationen som karakteriserer bevægelsen. Sammenblandingen bliver særlig tydelig der hvor Karsten skal forsvare sin påstand om at modstandskraften afhænger af accelerationen, og at der derfor ikke kan være nogen modstand på skibet når accelerationen er nul. Han indrømmer (hårdt presset) at der er en modstand forskellig fra nul når hastigheden er konstant (og accelerationen dermed nul), men insisterer på at inddrage et andet billede hvor accelerationen ikke har den sædvanlige kinematiske betydning, men optræder som en slags kraft:

”..du accelererer faktisk, men modstanden får det til at ligne at du ikke accelererer sådan...[..]

Selvfølgelig, du accelererer ikke sådan fysisk [...] Men du bliver i hvert fald nødt til at putte kraft ind i, og det er det jeg mener med acceleration”

Dette billede er ødelæggende for Karstens forståelse af sammenhængen mellem kraft og acceleration. Det sætter ham ikke i stand til at betragte tilstanden hvor hastigheden er konstant som forårsaget af at to kræfter (modstand og træk) er lige store, og derfor er han ikke i stand til at bestemme størrelsen af modstandskraften i denne situation – selv om han har den korrekte ligning (Newtons 2.lov) til rådighed og i øvrigt er i stand til med betydelig sikkerhed at manipulere denne ligning matematisk.

Karstens uklare billede af sammenhængen mellem kraft og acceleration med en delvis sammenblanding af de to begreber har også betydning for hans forestillinger om mulige sammenhænge mellem modstandskraften og andre variable. I modsætning til den generelle sammenhæng mellem kraft og acceleration, som er indeholdt i Newtons 2. Lov, er der her tale om et mere kompliceret spørgsmål hvor Karsten ikke ”bare” kan basere sine overvejelser på en almen lovmæssighed. Han må gøre brug af sine (og kammeraternes) intuitioner om luftmodstand, f.eks. ved cykling, og er samtidig nødt til at kunne adskille de forskellige variable der bruges i beskrivelsen af skibsmodellens bevægelse.

Helt afgørende er det her at kunne adskille hastighed og acceleration, altså at forstå at selv om hastighed og acceleration i denne konkrete bevægelse begge har bestemte værdier til et givet tidspunkt, så er en hvilken som helst kombination af værdier for hastighed og acceleration fysisk mulig. Det er dette der gør det muligt at udpege hastigheden som en parameter der kan tænkes at styre modstandskraftens størrelse ligesom andre parametre som skibets form, karrets form osv.

Karsten overvejer i løbet af arbejdet med problemet forskellige muligheder for hvad modstanden kan afhænge af. Hver af disse muligheder kan opfattes som kim til et mere konsistent mentalt billede af modstanden og hvordan den hænger sammen med de andre størrelser der karakteriserer den eksperimentelle situation.

Meget tidligt viser han at han ser en sammenhæng mellem hastigheden og modstanden:

”når den kommer op på de der 0,30 meter i sekundet, ikke,[...] så er [...] modstanden så stor at den bare ikke accelererer mere”

Heri ligger klart en erkendelse af at hastigheden har betydning for modstandens størrelse. Det virker ikke usandsynligt at det er den samme erkendelse der ligger bag antagelsen at modstanden er nul i begyndelsen hvor vi ved at hastigheden er nul:

”der er jo ingen modstand når der ikke er gået noget tid”

Sammen med en opfattelse af at hastigheden påvirker modstanden ligger der i det første udsagn også en forståelse af at modstanden indvirker på accelerationen. Det er selvfølgelig rigtigt, og korrekte forestillinger om en kausalkæde hvor hastigheden bestemmer modstanden som så, via den resulterende kraft, bestemmer accelerationen, synes altså at være til stede hos K, i hvert fald som kim.

Men forestillingen rummer dermed også en mulighed for at sammenblande de to kausalsammenhænge: Hastighedens styring af modstanden på den ene side og modstandens indflydelse på accelerationen (via Newtons 2.lov) på den anden. Her er der en kilde til forvirring. Karsten kan konstatere ud fra udregningerne af F_{mod} og af grafbilledet at mens accelerationen falder så vokser modstandskraften. På den anden side siger hans intuition ham at modstanden burde vokse med voksende acceleration (måske p.gr.a. en sammenblanding af hastighed og acceleration, måske p.gr.a. sammenblandingen af trækraft og acceleration). Denne tilsyneladende modstrid mellem en korrelation der kan iagttages i den konkrete situation (modstanden vokser mens accelerationen falder), og en intuitiv fornemmelse (modstanden vokser med voksende acceleration), kan Karsten ikke finde nogen vej ud af. Grunden kan bl.a. være at modstriden er en del af de mere omfattende inkonsistenser i Karstens mentale billede af situationen.

Karsten har meget svært ved at acceptere at modstanden afhænger af hastigheden, selv om R med gode argumenter prøver at overbevise ham, og til trods for at en sådan afhængighed, som vi har set, på en eller anden måde er en del af hans mentale model af situationen. Der kan være mange grunde til Karstens vanskeligheder, men noget kunne tyde på at hans ikke helt sikre forståelse af begreberne acceleration og kraft, og deres indbyrdes sammenhæng fører til at "hastighed", "acceleration", "modstand" og "kraft" bliver rodet sammen hos ham, med det resultat at han ikke kan bruge sine korrekte intuitioner om sammenhængen mellem hastighed og modstand i en logisk sammenhængende mental model. Og bl.a. derfor kan han i sidste ende alligevel ikke besvare spørgsmålet om hvad modstanden afhænger af.

At hastighed ikke skilles klart fra acceleration (selv om sammenhængen mellem disse kinematiske begreber er vel forståede i grafbilledet), fremgår af at eleverne alle insisterer på at accelerationen må være nul ved bevægelsens start. Hos Karsten ser vi også sammenblandingen når han siger

"jo større hastigheden er, ikke, jo større er accelerationen"

og fortsætter:

".. jo større modstand er der"

Den sidste tilføjelse viser at Karsten kobler acceleration og modstand sammen. Om han har en forestilling om at der er en kausal sammenhæng (altså at større acceleration forårsager større modstand), eller om han blot føler at alle tre størrelser (hastighed, acceleration og modstand) må følges ad, er ikke let at sige. Men under alle omstændigheder er acceleration og modstand forbundet i hans bevidsthed, og denne forbindelse er han derfor nødt til at forsøge at bringe i overensstemmelse med sin øvrige forståelse af situationen.

Erkendelsen af at modstanden afhænger af hastigheden forudsætter at der foretages et *mentalt skift* fra at se modstanden som *årsag* (nemlig som årsagen til en opbremsning, altså hastighedsændring, af skibet) til at se modstanden som en *virkning* (nemlig som en virkning af faktorer som f.eks. hastigheden). Dette skift er under alle omstændigheder vanskeligt. Her ser det imidlertid ud til at uklarheder i forståelsen af den første kausalkæde (kraft → hastighedsændring) er med til at skabe vanskeligheder for dannelsen af et billede af den anden (hastighed → modstand).

Der synes at være en gensidig (og uheldig) vekselvirkning mellem disse to mentale billeder af de kausale sammenhænge. Karstens forståelse af sammenhængen mellem kraft og acceleration ser i starten, hvor formlerne opstilles, ud til at være ganske god. Det er først når han skal tænke over modstanden, at billedet falder fra hinanden. Han kan simpelt hen ikke få tingene til at hænge sammen i sit hoved:

"Hvis der ikke er nogen acceleration, ikke, så er hastigheden konstant, ikke? Hvis der så er en modstand, så må hastigheden jo falde, .. [..]. Og det gør den jo ikke hvis den er konstant"

I stedet for at lade modstanden virke sammen med trækraften i en resulterende kraft, som han korrekt gjorde ved opstilling Newtons 2.lov for skibet, opstår der altså nu i hans bevidsthed en modstrid mellem opretholdelsen af en konstant hastighed og den opbremsning modstanden efter hans mening må bevirke.

Den korrekte kinematiske forståelse af accelerationsbegrebet som Karsten tidligere har vist, bliver dermed undergravet. Modstriden kan være det der fører til at "acceleration" bliver blandet sammen med trækraften:

"du kører med konstant hastighed hvis accelerationen er nul, ikke, men hvis du nu holder op med at cykle, så stopper du, fordi der er modstand..."

"fordi, for at holde dig i konstant hastighed, der bliver du nødt til at accelerere."

Karsten har stadig forestillingen om acceleration som et kinematisk begreb, så to (i realiteten helt uforenelige) mentale billeder er nu nødt til at sameksistere:

"..du accelererer faktisk, men modstanden får det til at ligne at du ikke accelererer"

"Selvfølgelig, du accelererer ikke sådan fysisk... Men du bliver i hvert fald nødt til at putte kraft ind i, og det er det jeg mener med acceleration"

Nu er "kraft" og "acceleration" blevet fuldstændig sammenblandet. Og dette betyder på den anden side at hvis Karsten nogensinde har haft mulighed for at udvikle sin ide om at "*modstanden [bliver] så stor at den bare ikke accelererer mere*" til en mere generel forestilling om det kunne være hastigheden der bestemmer modstandens størrelse (som R foreslår), så synes denne tanke nu fjernere end nogensinde. Derimod fremstår accelerationen, nu opfattet som en slags fremdrift eller fremadrettet kraft der "konkurrerer" med modstanden (ligevægtsperspektivet), hvor modstanden måske opfattes som en slags reaktion på denne kraft/acceleration, som en størrelse der kan tages alvorligt som årsag til modstanden. Igen et eksempel på Ohms p-prim.

12.2 Signe

12.2.1 Formelperspektivet

Ligesom Karsten er Signe med til at regne accelerationerne ud ved at dividere den øjeblikkelige hastighed med et tidsinterval ($a = v / \Delta t$). Hun forsøger at forbinde denne formel eller beregningsmetode med grafbilledet, men finder aldrig ud af hvordan accelerationen korrekt skal regnes ud.

Ser vi på formelkomplekset der involverer de forskellige anvendelser af Newtons 2.lov, har S brug for at placere modstandskraften i de formler eleverne har skrevet op for de forskellige delsystemer (skibet, trækloppet, skib + lod). Her bliver det nødvendigt at forbinde formelperspektivet med et billede af disse systemer og de kræfter der virker på dem (systemperspektivet). En forestilling om at der virker en modstand på hvert delsystem (skib, hhv. lod) fører til at modstandskraften F_{mod} placeres i samtlige ligninger:

”Altså de der formler [Newtons 2.lov når vi regner med modstand] er de samme som dem der [Newtons 2.lov uden modstand], bare hvor der kommer minus F_{mod} på venstre side”

For Signe er der altså i hendes første forestillinger en modstandskraft på loddet. Formlen

$$mg - F_s = ma \quad (\text{uden modstand})$$

bliver til

$$mg - F_s - F_{\text{mod}} = ma \quad (\text{med modstand})$$

idet hun siger

”før, der havde vi så at minus F_{snor} plus mg det var lig med masse gange acceleration, ikke... [...] når der kommer modstanden ind så bliver minus $[F]_{\text{snor}}$ minus F_{mod} plus mg , det bliver så lig med m gange a ...”

I løbet af dialogen bliver hun overbevist om (eller accepterer) at modstanden ikke virker på loddet, men kun på skibet. Men billedet af en modstand der ”tager fat” overalt står stadig stærkt, og hun er nødt til på en eller anden måde at bringe det i overensstemmelse med forståelsen af en modstandskraft der kun virker på skibet. For at skabe denne forbindelse benytter hun sit formelbillede. Hendes overblik over formlerne er ret godt, og hun ved hvordan ligningerne for hhv. skib og lod hver for sig kan kombineres til en ligning for hele systemet. Dermed kommer modstandskraften også til at virke på hele systemet:

”Det må vel virke på dem begge to, når de bliver lagt sammen, ikke? Så vil den modstand der er på skibet også virke på loddet, ikke”

Med formler:

$$F_s - F_{\text{mod}} = Ma \wedge mg - F_s = ma \Rightarrow mg - F_{\text{mod}} = (m + M) a$$

Dette er jo helt rigtigt og viser en god forståelse af hvordan formlerne skal bruges. Alligevel kan der skjule sig en mangelfuld forståelse af modstandskraften bag denne tilsyneladende korrekte indsigt. Den mistanke bliver bekræftet når vi om lidt ser hvordan hun løser problemet med modstandens størrelse når hastigheden er konstant.

Signe er mere end de andre elever i gruppen bundet til formelperspektivet. Det er helt klart det der står stærkest i hendes kompleks af mentale modeller. Hendes foretrukne strategi for problemløsning

er at lede efter en passende formel. Straks når spørgsmålet om modstandskraft bliver introduceret spørger S:

"Har vi lært det? Har vi lært sådan noget med modstandskraft? Formler for det?"

Hvad angår spørgsmålet om hvad modstandskraften afhænger af, påvirkes Signe af formelperspektivet. Ligesom Karsten bemærker hun at accelerationen indgår i den formel de har udledt til beregning af modstandskraften, F_{mod} , nemlig

$$mg - F_{\text{mod}} = (m + M) a,$$

hastigheden ikke indgår. Styrken af dette billede forstærkes af forløbet med udregningen af F_{mod} : Først blev accelerationerne regnet forkert ud, uden at eleverne opdagede fejlen. Derefter blev ovenstående formel brugt til udregning af F_{mod} , med det resultat at der fremkom både negative og positive værdier for F_{mod} – et umuligt resultat. Eleverne blev opfordret til at vende tilbage til udregningen af accelerationerne, og først efter at have fundet ud af hvad de havde gjort forkert her, opdagede de hvorfor modstandsværdierne var forkerte. Det kan ikke undre at der gennem dette forløb bliver opbygget en stærk mental sammenkobling af accelerationen og modstanden. På spørgsmålet om eleverne har nogen argumenter for at modstanden afhænger af accelerationen, svarer Signe og C:

Signe: *"Ja, det kan vi jo se, at vi har problemer med [modstandskraften]"*

C: *"På grund af accelerationen"*

Når formelperspektivet står så stærkt i forhold til de andre mentale billeder, svækkes også mulighederne for at bruge formlerne konstruktivt. I spørgsmålet om modstandens størrelse i den situation hvor skibet er kommet op på sin maksimale hastighed, har S lige så store vanskeligheder som resten af gruppen. Hun er ikke i stand til at bringe et billede af trækraften og modstanden som modsat rettede og lige store kræfter i anvendelse (systemperspektivet). Alligevel er det hende der helt til sidst løser problemet – ud fra formelperspektivet:

"[...] vi har nede i skibsmodel + lod, der får vi at vide at massen gange g minus F_{mod} , det er lig med $M+m$ gange med accelerationen, ikke? Men vi fandt lige ud af at hvis en hastighed var konstant, så ville accelerationen være lig nul. Og så ville modstanden ud fra den formel, den ville blive masse gange g"

S's indsigt er helt korrekt. Men det er karakteristisk at hun ikke indser det ud fra et mentalt billede af de to kræfter der virker på systemet, men alene ved at manipulere med ligningen. At hun ikke tænker på mg som størrelsen af en kraft (nemlig trækraften på loddet), fremgår af hendes svar på et spørgsmål om hvad mg betyder eller står for:

"Lille m. [...] Det er loddet, ikke? Og så gange med den tyngdeacceleration der er."

12.2.2 Grafperspektivet

S prøver at bruge grafen over hastigheden som funktion af tiden som hjælp til at finde værdierne for accelerationen til forskellige tidspunkter:

"Er det ikke lettere at beregne den ud fra tangenten..?"

Hun kan imidlertid ikke bruge denne forståelse af sammenhængen mellem accelerationen og tangenter til grafen til faktisk at udregne accelerationerne. Den matematiske indsigt og billederne af den fysiske situation bliver ikke kombineret. Hun leder efter en formel som hun kan bruge til ud-

regningen og finder tilsyneladende en formel der ingen forbindelse har med grafbilledet, men som indeholder stedet⁴:

"Hvorfor kan vi ikke bruge en formel? Hvorfor kan vi ikke bruge den der formel?"

K: *"Det kunne vi også... vi har... har du stedet?"*

"s, stedet ... nej"

Dialogen fortsætter i mere end en time hvor dette spørgsmål med jævne mellemrum behandles, uden at Signe kommer frem til hvordan accelerationen skal beregnes.

Den anden funktion grafen har i forhold til S's mentale billede af situationen er at bidrage til forståelsen af den tidlige udvikling. Det afgørende er her at accelerationen bliver stadig mindre så hastigheden nærmer sig en konstant værdi. Men Signe har meget svært ved at danne dette billede. Ud fra de målte hastighedsværdier har hun tidligt en forståelse af at hastighedstilvæksten bliver stadig mindre:

"I starten stiger den med de 0.35. Men så bliver den mindre og mindre, forskellen"

Men hun forbinder det ikke på stabil måde med grafbilledet. På et fremskredent tidspunkt i dialogen hvor grafen har ligget foran eleverne i lang tid og er blevet kommenteret mange gange, er hun stadig usikker på sammenhængen mellem graf og acceleration. Fordi eleverne er blevet klar over at deres accelerationsværdier må være forkerte, gennemfører de en omhyggelig analyse af sammenhængen mellem hastighedsværdierne, grafen og accelerationen. De slår fast at hvis hastigheden stiger lineært, så er accelerationen konstant. Men Signe blander hastighed og acceleration sammen:

"Men hastigheden er jo ikke [...] hastigheden er ikke en konstant."

R: *Nej. Den stiger som en ret linje, ikke..*

"Så derfor vil accelerationen også stige"

Senere får Signe tingene sat bedre på plads:

"...hastigheden den går op mod at blive konstant, ikke"

Men hun kan stadig ikke konstruktivt forbinde denne forståelse med systemperspektivet og ligevægtperspektivet så det bliver klart for hende hvad det betyder for forholdet mellem kræfterne. Dette kan også skyldes at hendes mentale billede ikke indeholder en så klar forståelse af begrebet "acceleration" at begrebet kan fungere som bro mellem hastighedsgrafen og forestillingen om de kræfter der virker på og i systemet.

12.2.3 Systemperspektivet

S skal sammen med de andre elever danne sig forestillinger om hvor de forskellige kræfter virker i forhold til skib, lod osv. Som vi netop har set, er hun ikke i stand til at bruge sin i og for sig korrekte forståelse af Newtons 2.lov for systemerne til at svare på spørgsmål om hvad modstandskraften afhænger af og om dens størrelse når hastigheden er konstant.

En grundlæggende vanskelighed består i at placere modstandskraften. Hun har, som vi så i diskussionen af hendes forståelse i formelperspektivet, ikke nogen fornemmelse af at den virker på skibet alene. Modstanden er noget der bremser hele bevægelsen, og dermed skal modstanden lokaliseres mange steder:

⁴ Det er ikke til at afgøre sikkert ud fra dialogen, men der kan være tale om formelen $s = at$ for en jævn bevægelse

"[...] hvis der er modstandskraft her[ved skibet], ikke også, så er der vel også modstandskraft ... altså den virker vel på det der [loddet]. Selv om den [loddet] ikke kører i vandet stadigvæk."

Senere bliver hun overbevist om at modstanden kun virker på skibet. Samtidig holder hun fast i tanken om at modstanden bremser hele systemet:

"Så der burde faktisk ikke være F_{mod} på" [ved loddet]

"Det må vel virke på dem begge to, når de bliver lagt sammen, ikke? Så vil den modstand der er på skibet også virke på loddet, ikke."

Hvad det er for mentale billeder Signe har her, er ikke helt klart. Der kan tænkes flere muligheder. Én mulighed er at hun faktisk ser det samlede system som påvirket af ydre kræfter (trækkraften og modstanden). Så er det ikke så vigtigt hvor disse to kræfter angriber, bortset fra at de i en vis forstand er modsat rettede⁵. Der er givetvis elementer af en sådan forståelse hos hende. Men noget tyder på at hendes billede ikke er helt så klart. Hvis hun i stedet opfatter modstanden mere som en slags "indre egenskab" ved hele systemet, ville dette delvis kunne forklare hendes store vanskeligheder ved at se trækkraften og modstandskraften som "konkurrerende" modsatrettede kræfter der vil ophæver hinanden hvis de er lige store. At hun *har* elementer af et sådant ligevægtsperspektiv på situationen, er der ingen tvivl om:

"De går jo mod hinanden: Modstanden går ind mod skibet, accelerationen går med skibet jo, ikke"

Men som denne formulering viser angår ligevægten ikke to ydre kræfter, men derimod et muligvis et mere vagt begreb om "modstand" og en ide om fremdrift, noget fremadrettet, som her bliver identificeret med accelerationen. Denne sidste forestilling kan hun have fået fra Karsten som gentager den mange gange.

S's mentale billede i systemperspektivet er altså ikke tilstrækkelig konsistent til at hun er i stand til at svare på de spørgsmål om modstandskraften der diskuteres: Hvad den afhænger af og hvor stor den er når hastigheden er konstant.

12.2.4 Ligevægtsperspektivet

Som vi så har Signe en forestilling om ligevægt i den situation hvor skibet bevæger sig med konstant hastighed. Men som de andre har hun problemer med at forstå hvori denne dynamiske ligevægt egentlig består når den skal beskrives ved hjælp af de indgående fysiske størrelser: hastighed, acceleration og kraft.

Hun bifalder Karstens beskrivelse. Han siger:

K: "Hvis modstanden er lige så stor som accelerationen, ikke [...] så må hastigheden jo være konstant"

"Ja"

Og Karsten fortsætter:

⁵ De to kræfter har naturligvis forskellig retning da snoren går over en trisse. Men man kan godt betragte situationen som ækvivalent med et en-dimensionalt system, og almindelig erfaring synes at vise at der er næppe grund til at formode at dette giver anledning til forvirring hos eleverne.

”modstanden stiger, ikke [...] og accelerationen falder. Når nu de er lige store, så må hastigheden være konstant.” [...] ”Altså når accelerationen er lig modstanden, så må hastigheden være konstant”

hvortil Signe svarer:

” Ja [...] Ja, det er faktisk rigtig nok. Så må modstanden være det samme som accelerationen”

S kan godt se problemerne i denne formulering der jo er i åbenlys konflikt med definitionen af begrebet acceleration og dermed fører til konklusioner i modstrid med hvad Signe ellers mener at vide om situationen:

”det hænger ikke sammen, vel, fordi [...] hvis der er en konstant hastighed, ikke, så bliver accelerationen nul, og så er modstanden også nul”

Men Signe kan ikke selv finde en vej ud af disse problemer med forståelsen i ligevægtperspektivet, bl.a. fordi hendes mentale billeder indenfor de øvrige perspektiver er ufuldstændige og inkonsistente.

12.2.5 Kausalitetsperspektivet

Vi ser først på den forståelse Signe har af sammenhængen mellem kraft og acceleration. Meget tidligt i samtalen viser hun at hun har en fornemmelse af at loddet (eller trækkes i loddet der afhænger af massen) er det der forårsager accelerationen. Da eleverne har regnet skibets acceleration ud (ud fra Newtons 2.lov uden at tage hensyn til luftmodstand), udtrykker Karsten bekymring over at værdien synes meget lav. Hertil bemærker både Signe og C at loddet ikke vejer ret meget. Og Signe viser desuden at hun forstår at det er forholdet mellem loddets masse og den samlede masse der betyder noget i denne sammenhæng:

”Skibet vejer også meget i forhold til loddet, ikke”

S refererer til skibets masse og ikke til den samlede masse, men for den halv-kvantitative overvejelse her er dette uvigtigt.

Men også Signe har som de andre vanskeligheder med at skelne mellem hastighed og acceleration:

”accelerationen, den er nok 0 ved 0, ikke”

I spørgsmålet om hvad modstanden afhænger af, har Signe svært ved at forestille sig en kausal sammenhæng. Som vi så i analysen af S's mentale billeder i formelperspektivet, føler hun at den betydning accelerationsværdierne havde for (den fejlagtige) udregning af værdier for modstandskraften må berettige til at sige at modstanden afhænger af accelerationen. Hun ser altså ikke kausale sammenhænge som noget der ligger bag ved ligningerne. At en fysisk størrelse ”afhænger” af en anden, betyder her ikke andet for Signe end at den kan udregnes ud fra kendskab til denne anden størrelse.

Det er nok vigtigt at forstå at dette næppe betyder at de mentale forestillinger som Signe gør sig om årsagssammenhænge, udelukkende begrænser sig til sådanne rent matematiske sammenhænge. Der er snarere tale om at hun ikke kan skelne denne mere formelle synsvinkel fra egentlige årsagssammenhænge. Dette har vi lige set da hun formulerede sammenhængen mellem masserne for hhv. skib og trækklod på den ene side og accelerationen på den anden. Der kan selvfølgelig være tale om en

matematisk iagttagelse ud fra en formel for accelerationen der indeholder de to masser (Newtons 2.lov). Men det virker ikke sandsynligt ud fra dialogen.

Endvidere har Signe ligesom de andre i gruppen nogle vage forestillinger om årsagssammenhænge i forbindelse med modstanden. Hun har meget svært ved at formulere disse forestillinger, og det meste af hvad hun siger i denne sammenhæng er temmelig uforståeligt. Men noget kunne tyde på at hun, i hvert fald en overgang, ser modstand som noget der findes i forvejen og som skal overvindes. I så fald giver det umiddelbart ingen mening at spørge om hvad modstanden afhænger af. Derimod kan man stadig spørge om hvordan modstanden påvirker andre fysiske størrelser, ligesom man kan stille spørgsmål om denne modstands relative betydning i forhold til andre størrelser. Det synes en overgang at være det sidste Signe gør idet hun bl.a. siger:

”Når accelerationen bliver mindre så kan modstanden komme længere frem, eller hvad man skal sige...”

Når Signe siger at ”modstanden kommer længere frem” mener hun tilsyneladende at den bliver større i en eller anden forstand, for hun bruger tankegangen til at forklare en kendsgerning som gruppen på det tidspunkt har observeret, nemlig at accelerationen falder efterhånden som tiden går, mens modstanden stiger.

I den fortsatte diskussion om hvad modstanden kan afhænge af, bliver den mulighed diskuteret (og forsvaret af R) at den afhænger af hastigheden. Dette bygger bl.a. på fornemmelser i forbindelse med beskrivelser af at køre på cykel. Signe har dog tilsyneladende ikke sådan en fornemmelse. Hun vil kun acceptere ideen om at modstanden afhænger af hastigheden på den måde at hun erkender at der må være en matematisk sammenhæng fordi modstanden efter hendes mening afhænger af accelerationen som hun synes hænger sammen med hastigheden:

”Jamen det er jo klart, fordi accelerationen afhænger af hastigheden, ikke”

Når Signe mener at accelerationen afhænger af hastigheden mener hun formentlig blot at man for denne konkrete bevægelse kan beregne accelerationsværdierne ud fra hastighedsforløbet. Den kæde af sammenhænge som Signe her får konstrueret er nærmest omvendt af den eleverne skal opbygge for at kunne undersøge modstandens hastighedsafhængighed. I stedet får at hastigheden er bestemmende for modstandens størrelse, der så igen (sammen med trækraften) bestemmer accelerationen, ser Signe hastigheden som bestemmende for ”accelerationen” der så igen bestemmer modstanden – eller måske blot modstandens relative ”betydning”.

Det billede Signe har af de kausale sammenhænge hæmmer hende stærkt i forhold til at forstå hvordan hun skal undersøge modstandskraften fordi hun ikke kan skelne mellem fysiske årsagssammenhænge og rent matematiske sammenhænge.

12.3 Rie

12.3.1 Formelperspektivet

Rie viser gentagne gange at hun kan forbinde formelperspektivet med de andre perspektiver. Hun er desuden den eneste der kommer tæt på at formulere og bruge andre formler med systemets kræfter end Newtons 2.lov. Den første gang eleverne diskuterer hvor stor modstanden er når hastigheden er konstant, har hun tydeligvis en frugtbar ide:

"Jamen altså, se, vi har jo fået lavet den her formel her, ikke. Vi har jo en der hedder resulterende kraft, det er bare sum af alle kræfter på systemet, ikke"

Dialogens udvikling giver hende imidlertid ikke mulighed for at videreudvikle denne ide og bruge den til løsning af problemet med modstanden ved konstant hastighed.

Rie er klar over at når modstandskraften F_{mod} skal føjes til ligningerne, skal den trækkes fra. Men hun er i tvivl om hvor den skal stå, dels fordi hun lige som de andre er i tvivl om hvor kraften angriber, dels fordi hun ikke har et helt sikkert billede af hvad alle de enkelte led i ligningerne står for. Hun siger:

"Modstanden skal du trække fra, ikke"

Men

"Hvad er mg egentlig?"

Umiddelbart føler hun ikke at der er en modstandskraft på loddet, og hun forbinder denne forståelse korrekt med formlen (newtons 2.lov for loddet):

"Det andet [loddet], det er bare mg. Der skal man vel ikke trække modstanden fra, skal man?"

Her tilføjer C:

"I loddet skal der ikke være nogen modstand, vel"

mens K er i tvivl:

"Er det ikke i loddet modstanden er, og ikke i skibsmodellen.."

Men R holder fast ved at modstanden ikke skal forbindes med loddet:

"Den skal ikke trækkes fra dér"

S: *"Hvorfor ikke"*

"Fordi det ville være åndssvagt"

Denne korrekte intuition er dog ikke stærkere forankret end at Rie noget senere kan sige:

"der i midten [i ligningen for loddet!], der skal du også lige trække F_{mod} fra"

Efter at eleverne har opstillet en formel til udregning af F_{mod} (ud fra Newtons 2.lov for hele systemet), kan man iagttage hvordan de søger at forbinde formlen (og det der kommer ud af den) med deres øvrige forestillinger. Det virker rimeligt at modstanden er nul ved bevægelsens begyndelse. Det passer bare ikke med at de føler sig sikre på at accelerationen er nul ved starten. Rie ser at hvis accelerationen er nul vil det sidste led i formlen blive nul:

"Jamen det bliver jo nul, for du ganger a ind i, og det er jo nul"

K: *"Jamen, det første, mg, det giver jo ikke nul"*

"Så bliver det også 9,82"

K: *"Nej for m er ikke 1"*

At modstanden begynder med en stor værdi og så falder efterhånden (for til sidst ligefrem at blive negativ erkender Rie ligesom de andre som et paradoks. Men hun er ikke i stand til at løse det. Hun holder fast ved at accelerationen er nul i begyndelsen:

"Den første acceleration, den må jo være nul, altså, den kan jo ikke være andet .."

og senere argumenterer hun yderligere for det ved at henvise til en matematisk sammenhæng:

"Jo, for hvis du differentierer nul, så bliver det nul."

R's misforståelse består her i at hun forveksler den afledede af en funktion med den konstante værdi nul med differentialkvotienten af en funktion i et punkt med værdien nul.

12.3.2 Grafperspektivet

Rie deltager ikke meget i samtalen om hvordan accelerationsværdierne udregnes v.hj.a. grafen for hastigheden som funktion af tiden, men hun er med til at regne dem ud og opdager lige så lidt som de andre at de er forkerte fordi accelerationen sættes lig med hastighedsværdierne divideret med et tidsskridt ($a = v / \Delta t$).

Eleverne overvejer hvad årsagerne er til at hastighedsgraphen flader ud. Rie viser at hun forstår hvad det egentlig vil sige at graphen ser ud som den gør, altså at den adskiller sig fra den lineære graf man får når der ikke regnes med modstand:

"Den [hældningskoefficienten] starter på de der 35 som vi havde forudset, ikke, [...] men den bliver bare mindre og mindre og mindre, det havde vi jo ikke ..."

Rie forbinder korrekt hældningen med accelerationen

"Du kan også se det ud fra grafen, ikke. Den falder også hen, jo... accelerationen, jo.."

Også i den senere diskussion af årsagerne til at de får uacceptable værdier for F_{mod} , kan R formulere de rigtige sammenhænge mellem grafens udseende og værdier for hastighed og acceleration.:

S: *"[...] hastigheden er ikke en konstant.."*

"Nej. Den stiger som en ret linje, ikke."

S: *"Så derfor vil accelerationen også stige."*

"[...] så burde accelerationen da også være en konstant. Hvis vi differentierer den så bliver den en konstant"

S: *"Gør den det?"*

"Nej, den er ved at falde"

Men alligevel kan hun ikke forbinde denne forståelse med et formel- eller beregningsperspektiv så hun kan udregne korrekte værdier for accelerationen. Hun bliver derfor spurgt om hun kan definere acceleration, og hun svarer:

"Du differentierer ...eller, finder et punkt og sætter en tangent [i] det punkt"

Hun forsøger nu at forbinde denne korrekte forståelse af grafen med et formelperspektiv, men det eneste hun kan komme på, er differentiation af en funktion ud fra forskriften. Da dette ikke viser sig at være en udvej, går hun i stå:

"Nej, vi har ikke funktionen, så det gør vi ikke "

Vi bemærker også at hun for at få mening i den graf hun har foran sig (en hastighedsgraf der flader ud) til stadighed må referere til et billede af grafen som den ville se ud hvis hastigheden voksede jævnt:

"[...] Den [hastigheden] stiger som en ret linje, ikke."

S: *"Så derfor vil accelerationen også stige."*

"Nej, så burde den [accelerationen] være en konstant."

K: *"Er hastigheden en ret linje?"*

"Det ved jeg ikke"

K: *"Kan vi ikke prøve at sætte nogen punkter ind?"*

"[...] vi har jo lige siddet og tegnet den ind! [...] og så burde accelerationen da også være en konstant. Hvis vi differentierer den så bliver den en konstant [...]"

S: *"Gør den det?"*

"Nej, den er ved at falde"

Bevidstheden om hvordan grafen ville se ud uden modstand er nødvendigt for at forstå alle spørgsmål i forbindelse med den faktiske grafs udseende. Men det er ret tydeligt ud fra den ovenstående dialog at billedet af den jævnt voksende hastighedsgraf ikke bevidst mobiliseres af Rie som en slags "baggrundsmateriale" for forståelsen af den faktiske graf. Selv om hun har grafen lige foran sig og selv netop har tegnet den ud fra egne beregninger, er den åbenbart endnu ikke helt blevet en del af hendes mentale model. Hun siger at hastigheden stiger som en ret linje. Men det gør den jo netop ikke! Er hastigheden en ret linje, bliver hun spurgt? *"Det ved jeg ikke"* (!) Først da hun bliver udfordret til at svare på dette spørgsmål, går det op for hende at svaret ligger i den graf de lige har tegnet. Og først her bliver det klart for hende hvilke egenskaber denne graf har og hvad dette betyder. Hastigheden vokser *ikke* lineært og accelerationen er *ikke* konstant som den i så fald burde være, men aftager faktisk.

Det mentale billede i grafbilledet involverer mere end blot at kunne se grafen for sig. Et billede der omfatter en forståelse af sammenhængen mellem grafen og relevante fysiske størrelser og af sammenhængen med den observerede bevægelse af det betragtede system er langt mere kompliceret og dannes først efterhånden. Og som nævnt er Rie på dette tidspunkt endnu ikke nået til et så fuldstændigt billede at det sætter hende i stand til at beregne accelerationerne ud fra grafen.

12.3.3 Systemperspektivet

I det afgørende spørgsmål om hvor modstandskraften angriber har Rie, som vi så under gennemgangen af formelperspektivet, en bedre fornemmelse end de andre i gruppen af at den virker på skibet. Om den kraft der optræder i ligningen for loddet, siger hun:

”det er bare mg. Der skal man vel ikke trække modstanden fra, skal man?”

Hun er også klar over at modstanden og tyngdekraften (på trækloppet) er modsat rettede:

*”Nå... og den anden [tyngdekraften] løber den anden vej [i forhold til modstanden], ikke?
Det er jo klart, den bevæger sig jo den anden vej, ikke?”*

Hendes fornemmelse er dog ikke helt klar. Senere taler hun om at F_{mod} også skal indgå i ligningen for loddet, og hun accepterer at gruppen skriver ligningen på denne måde. Men det er hende der derefter, på et spørgsmål om hvilke kræfter der virker på skibet, og hvilke der virker på loddet, svarer:

”Jamen altså modstanden virker vel på skibet”

Ries mentale model indeholder tydeligvis gode og nyttige billeder. I modsætning til K er hun i stand til at forestille sig og konstruktivt udnytte analoge situationer, f.eks. en cykeltur. Fra denne analogi får hun en klar bevidsthed om at der *er* modstand, også når hastigheden er konstant (og accelerationen dermed nul):

K: *”[...] hvis du cykler på vejen med en konstant hastighed, ikke..”*

”Ja, så har jeg da stadigvæk modvind”

og noget senere i samtalen med K siger hun:

”jeg putter kraft ind i for at blive ved med at holde hastigheden”

Hun har altså en tydelig ide om en (fremadrettet) kraft som er nødvendig for at forhindre cyklens hastighed i at blive stadig mindre (på grund af modstanden), altså to modsatrettede kræfter der tilsammen resulterer i en konstant hastighed. Disse ideer er med til at føre hende til den opfattelse at modstanden afhænger af hastigheden

”.. jeg holder på min hastighed”

Ries mentale model er dog meget langt fra at være konsistent og sammenhængende. Umiddelbart efter at have sagt at modstanden virker på skibet, siger hun:

”Men er tyngdekraften ikke også en modstand?”

Det er meget svært at forestille sig hvad Rie kan mene med dette. Men udtalelsen viser i hvert fald, sammen med hendes vaklen i forhold til spørgsmålet om hvorvidt der er en modstandskraft på loddet, at hun har vanskeligheder ved at danne sig en forestilling om fænomenet ”modstand”, og at placere det, forstået som en kraft, i forhold til andre kræfter. Dette bestyrkes af den senere dialog. R reagerer f.eks. på udsagnet ”tyngdekraften trækker nedad” ved at sige:

”Og massen trækker også nedad”

selv om ideerne hjælper hende til at kunne forsvare det synspunkt at modstanden afhænger af hastigheden, er de altså ikke tydelige nok for hende til at hun kan drage alle de indlysende konklusioner af dem – f.eks. at modstandskraften på skibet er lig mg (tyngdekraften) når hastigheden er konstant.

12.3.4 Ligevægtperspektivet

Det billede Rie har af den dynamiske ligevægt der indtræder når skibets hastighed bliver konstant, bygger delvis på analogier til kendte situationer. Analogier udgør i højere grad end for de andre i gruppen en del af R's mentale modeller. Under den diskussion af hvordan accelerationen udregnes,

som affødes af at elevernes beregninger viser sig at være forkerte, bliver Rie spurgt om hvad accelerationen egentlig er (dvs. hvordan den defineres) svarer Rie ikke med en matematisk definition (som der ville være brug for her), men giver en kvalitativ sproglig beskrivelse:

”Det er hvor hurtigt bilen accelererer, [...] og så når den kommer op i fart så vil den ..på et eller andet tidspunkt vil den [farten] være konstant. Ikke. Altså den vil [...] stige, og så vil den være konstant...”

Denne beskrivelse besvarer slet ikke spørgsmålet om hvad acceleration er: Acceleration er ”*hvor hurtigt bilen accelererer*”. Alligevel fortæller den noget om hendes mentale billeder i forbindelse med begrebet acceleration. Hun har en klar ide om i hvilke situationer det er relevant at tale om acceleration. Det er en egenskab ved en bevægelse som hun ikke føler behov for at definere nærmere. Og *hvis* der skal siges mere, som hun jo gør her, så bliver det en yderligere beskrivelse af egenskaberne ved den bevægelse vi betragter: Bilen accelererer, kommer op i fart og farten bliver så efterhånden konstant.

Tidligere har Rie helt korrekt forbundet accelerationsbegrebet med grafen for hastigheden som funktion af tiden (grafperspektivet), og hun har været med til at udregne (ganske vist fejlagtige) accelerationsværdier ud fra hastighedsmålingerne. Men her synes hun at have en forestilling om acceleration, knyttet til et helhedsbillede af bevægelsen som ikke direkte forbindes med graf eller hastighedsværdier.

Men foruden et opsplittet accelerationsbegreb har Rie altså også en intuition om ligevægt. I en senere diskussion med Karsten om hvilke faktorer der er bestemmende for modstanden, prøver hun at forklare ham at hans ide om en ”acceleration” der er nødvendig for at holde hastigheden konstant, er forkert. Uden helt at forstå at K her bruger accelerationsbegrebet forkert, formulerer hun ligevægtsbetingelsen at der kræves en indsats (kraft) for at overvinde modstanden:

K: *”[...] for at holde dig i konstant hastighed, der bliver du nødt til at accelerere”*

”For at kunne køre med konstant hastighed skal jeg bare blive ved med at træde rundt. Så accelererer jeg ikke”

Efter at K har indset at han bruger ”acceleration” forkert, formulerer R igen sin forståelse af ligevægten:

K: *”Men du bliver i hvert fald nødt til at putte kraft ind i, og det er det jeg mener med acceleration.”*

Ja, jeg putter kraft ind i for at blive ved med at holde hastigheden. Så accelerer jeg nemlig ikke. .. For at holde min hastighed.. sådan lige .. For at holde en hastighed på et eller andet [...] så bliver jeg nødt til, for at holde den hastighed...man bliver altid nødt til at proppe noget i, altså ...

Det billede Rie og K har af ligevægten ligner hinanden. Men der er en forskel. K’s sammenblanding af ”acceleration” og ”trækraft” slører hans blik for at der faktisk er en modstand når accelerationen er nul, hvilket ikke er let at forene med påstanden om at modstanden afhænger af accelerationen. Rie derimod fastholder en konsekvent kinematisk forståelse af ”acceleration” og er derfor mere tilbøjelig til at se modstanden som bestemt af hastigheden.

12.3.5 Kausalperspektivet

Rie er den eneste i gruppen der forestiller sig en kausal sammenhæng mellem hastigheden og modstanden på skibet. Hun siger om modstanden at den vokser

"..jo hurtigere det går"

Hun har dog svært ved at fastholde denne ide og føres forholdsvis let til at acceptere den påstand at modstanden afhænger af accelerationen. Men må huske at alle i gruppen er stærkt påvirkede af den erfaring at man i denne konkrete situation udregner værdier for modstanden ved hjælp af en ligning (Newtons 2. Lov) hvor accelerationsværdierne spiller en afgørende rolle, mens hastigheden overhovedet ikke indgår.

Det er også vigtigt at bemærke at også hos Rie er acceleration og hastighed stærkt forbundne. Selv om hun både i forhold til grafperspektivet og i forhold til et helhedsperspektiv på denne og analoge bevægelser har en rimelig forståelse af accelerationsbegrebet, volder det hele tiden vanskeligheder at skelne klart mellem acceleration og hastighed. Et af symptomerne på dette er hendes (og de andres) insisteren på at accelerationen er nul ved starten af bevægelsen. Meget tidligt giver hun udtryk for dette:

"Altså [ved start] der er den [accelerationen] vel bare nul"

Senere, under en fornyet diskussion om accelerationsværdierne giver hun igen udtryk for hvor stærk denne intuition er hos hende:

"Den første acceleration, den må jo være nul, altså, den kan jo ikke være andet."

Og lidt senere bliver det tydeligt at der er tale om en afsmitning fra hendes billede af skibets hastighed:

"Der er jo ikke nogen acceleration. Den er jo ikke gået i gang, så der er heller ikke nogen fart."

Under diskussionen af hvilke faktorer der bestemmer modstanden er det henholdsvis accelerationen og hastigheden der overvejes som muligheder. Rie er som nævnt den eneste i gruppen der hælder til at modstanden afhænger af hastigheden. I hvert fald har hun en stærkere intuition end de andre om at hastigheden betyder noget. Men vi kan se at hun i diskussionen har svært ved at fastholde denne intuition og tydeliggøre dens konsekvenser for de andre og for sig selv. Derfor vil hun gerne acceptere påstanden om at modstanden afhænger af accelerationen. Hendes forestillinger om forskellige betydninger af "afhængighed" er ikke klare nok til at hun kan afvise den. Samtidig prøver hun at give plads i sit mentale billede til sammenhængen mellem hastighed og modstand. Da hun ikke kan udfolde sin vage intuition om denne sammenhæng, prøver hun at klynge sig til at hastighed og acceleration (mere præcist hastighed og acceleration som *funktioner af tiden*) jo også hænger sammen – og så betyder afhængighed af den ene størrelse vel også afhængighed af den anden:

"Men hastigheden den afhænger jo også af accelerationen [...] Den [modstanden] afhænger egentlig også af hastigheden!"

S: *"Jamen, det er jo klart fordi accelerationen afhænger af hastigheden, ikke"*

"..så skal vi også skrive hastigheden, og ikke bare kun accelerationen"

Det der gør det det vanskeligt at acceptere at modstanden afhænger af accelerationen, er bl.a. at der er modstand på skibet når accelerationen er nul. Dette er ikke noget der synes at anfægte eleverne ret meget. Men det er nærliggende at tænke sig at der er en vis sammenhæng mellem Ries klare forståelse af at der er modstand når accelerationen er nul og hendes ønske om at holde fast ved hastigheden som bestemmende for modstanden. På spørgsmålet om der er modstand når accelerationen er nul svarer hun "Ja", mens K svarer "Næ". Og Rie fortsætter:

"hvis jeg cykler i en konstant hastighed, så har jeg ingen modvind!?"

Bl.a. fordi Rie er i stand til at fastholde en forståelse af ”acceleration” som et rent kinematisk begreb synes hun at have lettere ved se at der sagtens kan være modstand når accelerationen er nul, og at hastigheden derfor kan være afgørende for modstanden:

”Jeg accelerer ikke. Jeg cykler ikke hurtigere”

”For at kunne køre med konstant hastighed skal jeg bare blive ved med at træde rundt. Så accelererer jeg ikke”

”Selv om du ikke accelererer, så har du stadigvæk modstand. ”

Da hun senere alligevel er på nippet til at blive overtalt til, uden entusiasme, men nærmest for at komme videre, at acceptere at modstanden afhænger af accelerationen, bliver hun opfordret til at tænke sig om, og siger:

”.. jeg holder på min hastighed”

12.4 Cecilie

12.4.1 Formelperspektivet

Cecilie udvikler i mindre grad end de andre selv sine mentale billeder under dialogen. Hun har, som vi skal se, nogle billeder i forvejen, men i øvrigt ”følger hun med” de andre når de formulerer forskellige ideer. Derfor virker Cecilies ideer ofte mindre fast forankrede. Desuden er det vanskeligere for den udenforstående at danne sig et billede af disse ideer.

Det skal dog bemærkes at selv om hun ikke siger så meget som de tre andre, følger hun hele tiden med, og viser med sine bidrag at hun forstår problemerne og har en mening om dem.

Hun udtaler sig ikke selvstændigt om de forskellige versioner af Newtons 2.lov der opstilles i forbindelse med skibsmodellen, men ytrer sig blot bekræftende om de andres formuleringer, evt. efter spørgsmål som

”Hvor har I fået den formel fra?”

Hvad angår udregningen af accelerationsværdierne, er det tydeligt at Cecilies mest udtalte mentale billede i formelperspektivet er accelerationen som differentialkvotienten til hastighedsfunktionen. Som vi skal se, forbinder hun også accelerationen med grafperspektivet, men hun har store vanskeligheder med at hvordan man ud fra de målte data (hastighederne og den tegnede hastighedsgraf) kan udregne talværdier for accelerationerne. I begyndelsen, hvor gruppen skal beregne accelerationsværdierne, prøver Cecilie at introducere sin viden om acceleration som differentialkvotient uden at det fører ikke til noget:

”Men accelerationen [...] det er differentialkvotienten til [hastigheden]”

Accelerationerne bliver regnet ud ved hjælp af formlen $a = \Delta v / \Delta t$ (eller rettere det fejlagtige $a = v / \Delta t$). Da gruppen senere vender tilbage til diskussionen fordi de opdager at deres udregninger må være forkerte, har C meget svært ved at forstå hvordan kan man få accelerationer til forskellige tider med forskellige hastigheder når man hele tiden bruger det samme Δt :

”Jamen der er det jo det samme tidsskridt hele tiden, og det er jo ikke den samme hastighed [...] Så det kan man jo ikke [...] Det er måske gennemsnittet?”

Cecilies forståelse af accelerationen i forhold til et formelperspektiv er at den er defineret som

”hastigheden differentieret”

Men det betyder i Cecilies teoretiske univers en operation på en funktionsforskrift, og det kan ikke bruges her:

”Nu har vi ikke funktionen, vel?”

I diskussionen om hvad modstanden afhænger af, er Cecilie med på at det må være accelerationen. Ligesom S begrunder hun det med at gruppen have problemer med forkert udregnede værdier for modstanden

”På grund af accelerationen”

så formelperspektivet bliver styrende på forsøget på at forstå de kausale sammenhænge.

Spørgsmålet om modstandens størrelse når hastigheden er konstant, føler C må kunne løses ved hjælp af de formler de har stillet op:

"Burde vi ikke kunne se det [modstand når hastigheden er konstant]? Det har vi jo lige regnet ud, har vi ikke? Fordi vi har jo lige regnet F_{mod} [ud]"

At deres formel, altså $F_{mod} = mg - (m + M) a$, kan bruges til at finde F_{mod} når hastigheden er konstant, dvs. når $a = 0$, er jo helt rigtigt, og man skulle heller ikke tro at det er svært at se hvordan. Men Cecilie kan ikke gøre det. Formlen er tilsyneladende ikke tilstrækkeligt mentalt forbundet med billederne af kræfter og bevægelse til at den kan bruges på dette tidspunkt. Elevernes sammenblanding af acceleration og hastighed, som den kommer til udtryk i deres insisteren på at accelerationen er nul ved starten, kan også virke blokerende på den afgørende indsigt her. Den forudsætter jo at man gør sig klart at konstant hastighed betyder at accelerationen er nul.

12.4.2 Grafperspektivet

I grafperspektivet forstår Cecilie godt at accelerationen hænger sammen med tangenten til hastighedskurven:

"Vi skal bare lave en tangent"

Ligesom de andre er hun bekymret for at enhederne på deres tegninger ikke er lige lange:

"Har vi lavet forskellige [enheder/grafar]... aj.."

Cecilie er overbevist om at de har begået en fejl. Hun ser ikke umiddelbart tangenthældningen i forhold til de fysiske enheder, hun ser hældningen som den visuelt fremstår på tegningen.

I øvrigt synes grafperspektivet ikke at stå så stærkt hos Cecilie. Hun bemærker ikke at grafen ikke stiger lineært, og når S bemærker at hastigheden (uden modstand) burde stige med 0,35 m/s i hvert tidsskridt

S: *"Så burde den stige 0.35 hele tiden.."*

svarer Cecilie:

"Det gør den da næsten også"

Det kunne tyde på at hun snarere ser på tallene, hvor ændringen i tilvæksten ikke er så tydelig, end på grafen, som tydeligt flader ud.

12.4.3 Systemperspektivet

Cecilies umiddelbare holdning til spørgsmålet om hvor modstandskraften angriber, eller hvilke dele af systemet den virker på, er at den ikke virker på loddet. Hun siger ligesom R:

"I loddet skal der ikke være nogen modstand, vel"

Om det er hendes egen sikre fornemmelse, eller om hun følger R, er ikke let at sige.

Da R senere synes at skifte mening og siger

R: *"der i midten [i ligningen for loddet]der skal du også lige trække F_{mod} fra"*

Accepterer C tilsyneladende og skriver ind i sin ligning for loddet

"Øhm, F_{snor} plus og så minus F_{mod} også"

De bliver bekræftet af S:

S: *"Ja, minus F_{mod} skal være der over alt"*

12.4.4 Ligevægtsperspektivet

Cecilie forståelse i forhold til ligevægtsperspektivet træder ikke klart frem. I de passager af dialogen hvor et sådant perspektiv vil være nyttigt siger Cecilie næsten ingenting.

I diskussionen mellem især K og R angående hvordan skibet (eller – analogt – en cykel) kan holde en konstant hastighed, synes C at lade sig overbevise af Karstens ide om ”accelerationen” som det der er ”i ligevægt med” modstanden.

K: *”Fordi, for at holde dig i konstant hastighed, der bliver du nødt til at accelerere.”*

R: *”[...] jeg kan ikke accelerere når jeg bliver ved med at cykle, og jeg bliver ved med at holde den samme hastighed. Så accelerer jeg ikke.”*

Cecilie synes her at holde med K:

”Jo, du skal jo accelerere for at ..”

12.4.5 Kausalperspektivet

Da Cecilie får henledt opmærksomheden på at hastighedsgrafen flader ud, accepterer hun at årsagen er gnidningsmodstand.

Men spørgsmålet om hvad denne modstand afhænger af, er lige så svært for hende som for de andre. Hendes udsagn om sagen afslører betydelig forvirring. Under diskussionen af hvorfor de beregnede modstandsværdier er blevet så mærkelige (skift fra positive til negative værdier) ser hun af den formel eleverne bruger til udregning af F_{mod} , nemlig

$$F_{\text{mod}} = mg - (m + M) a$$

at

”jo større acceleration vi får, jo mindre vil modstanden blive”

Men dette er, selv om det er korrekt for denne bevægelse, svært at bruge til at forstå hvilke kausale sammenhænge der er på spil. Vi må huske at accelerationen faktisk aftager efterhånden som tiden går. Hvis man (ved en sammenblanding med hastigheden) har en fornemmelse af at accelerationen vokser med tiden, mens modstanden også vokser, forekommer Cecilies konstatering kontraintuitiv. Karsten svarer, i overensstemmelse med intuitionen om at modstanden følger accelerationen,

K: *”Nej, så vil modstanden blive større”*

Og Cecilie svarer helt forvirret

”Nej, men altså, så har du jo også mere kraft...nej...det ved jeg ikke”

Som vi så i gennemgangen af Cecilies forestillinger i formelperspektivet, er hun med på at accelerationen er styrende for modstanden. Men hun har ikke glemt tanken om at modstanden er mindre for større acceleration. Da Karsten siger

K: *”Jeg ville bare tro, jo større accelerationen var, jo større modstand”*

svarer Cecilie

”Jeg vil tro at der er mindre modstand”

Cecilie viser sig også at have en klar ide om at der må være modstand når hastigheden er konstant. Og hun er i stand til at bruge denne ide til at afvise Karstens ”ligevægtsbetingelse”: ”acceleratio-

nen” modvirker modstanden. På spørgsmålet om der er modstand når accelerationen er nul svarer hun

”Det må der jo være, altså hvis den sejler med samme hastighed, så må der da også [være modstand]”

og senere indser hun hvad konsekvensen heraf må være:

”så passer det heller ikke at modstandskraften, den er lig med accelerationen, fordi at, hvis hastigheden er konstant, så er accelerationen lig nul, og så er modstanden også lig nul, og så passer din hypotese ikke.”

Og lidt efter:

”Så afhænger [modstanden] da ikke af accelerationen”

12.5 Opsummering

Karsten

Karstens vanskeligheder skyldes forskellige mangler i hans mentale modeller.

Der er dårlig forbindelse mellem *graf* - og *formelperspektivet*. Han forbinder derfor ikke grafen med tal for acceleration.

Han indser at faldende hældning for grafen medfører faldende acceleration. Men acceleration sammenblandes med kraft, modstand sammenholdes med acceleration. Dette er Karstens største problem. Derfor: Selv om Karsten ser at konstant hastighed skyldes en *ligevægt*, forstår han ikke arten af denne ligevægt og kan derfor ikke bruge den til at for konstant hastighed er modstanden lig med trækraften. Han kan så at sige ikke ”læse” grafen fysisk.

Derfor kan han heller ikke bruge sin forståelse af grafens form til at finde størrelsen af modstanden når grafen er fladet ud.

Systemperspektivet er mangelfuldt: Han kan ikke placere modstanden på systemet og kan derfor ikke bruge bevægelsesligningen (Newtons 2.lov) til at finde modstanden (*formelperspektivet*).

Han kan senere komme fra *formlen* til konklusionen $F_{\text{mod}} = mg$, men han kan ikke se det ud fra et *ligevægtperspektiv*. Han tror faktisk at dette er værdien for F_{mod} i starten. Han kan derfor ikke bruge det til en bedre forståelse af modstandens afhængighed (*kausal* forståelse).

At forstå at modstanden afhænger af hastigheden forudsætter et *mentalt skift* fra at se modstanden som *årsag* (årsagen til en opbremsning) til at se modstanden som en *virkning* (en virkning af f.eks. hastigheden), som Karsten ikke kan fortage. En mangelfuld forståelse af den første kausalkæde (kraft → hastighedsændring) er med til at skabe vanskeligheder for dannelsen af et billede af den anden (hastighed → modstand)

Signe

Signe er i sine mentale modeller stærk i *formelperspektivet*. Hun kan imidlertid ikke forbinde det med grafbilledet. Hun er ikke i stand til at bruge hastighedsgrafen til at beregne accelerationerne, men leder i formler for jævnt accelereret bevægelse.

Desuden har hun et mangelfuldt *systemperspektiv*. Hun viser (som den eneste) at hun forstår at man kan kombinere bevægelsesligning (Newtons 2. lov) for skib med ligning for lod til en ligning for hele systemet. Dog har hun svært ved i et *systemperspektiv* at placere modstandskraften. Forbindelsen med *ligevægtperspektivet* forudsætter at hun kan se hele systemet som angrebet af modsatrettede ydre kræfter, og det kan hun ikke.

Det er Signe der korrekt (ud fra *formlen*) finder ud af at når hastigheden er konstant bliver modstanden lig med $m \cdot g$. Men på grund af hendes manglende *ligevægtperspektiv* knyttes F_{mod} ikke sammen med en voksende hastighed.

Signe kan først efter et stykke tid forbinde *grafbilledet* med en forestilling om at hastigheden vokser mod en konstant værdi. Men hendes manglende forbindelse mellem *system-* og *ligevægtperspektivet* forhindrer hende i at konkludere at modstanden så må nærme sig en konstant værdi – selv om hun ud fra et *formelperspektiv* har indset at konstant hastighed betyder en konstant modstandskraft.

Signe kan ikke som Rie benytte intuitive og analoge mentale billeder (cykling). Hun kan ikke forbinde *formelperspektivet* med et udviklet *kauselperspektiv*, og kan derfor ikke foretage synsvinkel-skiftet fra modstanden som noget der beregnes af en formel til en afhængig størrelse. Derfor kan hun heller ikke komme frem til billedet af en stationær tilstand (*ligevægtperspektiv*).

Rie

Rie har en bedre forbindelse mellem *formel-* og *systemperspektivet* end de andre. Hun har et nogenlunde klart billede af hvor kræfterne angriber og er med til at få stillet den korrekte bevægelsesligning op.

Hendes *grafperspektiv* er et lidt andet end de andres: På den ene side har også hun svært ved at beregne accelerationerne ud fra grafen. På den anden side konfronterer hun den ideale lineære graf (for bevægelsen uden modstand som den faktiske graf følger i starten) med den faktiske graf.

Efterhånden bliver hun opmærksom på at hældningen og dermed accelerationen er faldende for den *faktiske* graf. Et mentalt billede der kombinerer grafen for den ideale (gnidningsfri) bevægelse med den faktiske buede graf, er en forudsætning for at forstå grafens buede form som noget der skal forklares – har en *årsag*.

Ved hjælp af analogibilleder (cykling) og et klarere billede end de andre har af acceleration og hastighed som kinematiske begreber, udvikler Rie en stærk forestilling om en *kausal* sammenhæng mellem hastighed og modstandskraft. En af forudsætningerne for at hun kan have dette billede, er at hun (i modsætning til de andre) forstår at der er en modstandskraft når accelerationen er nul.

Cecilie

Cecilie er den mindst aktive i gruppen. Hendes mentale modeller udvikler sig mest i forbindelse med de andres diskussion.

Hun har svært ved at udvikle forbindelser mellem *graf-* *formel-* og *systemperspektiverne*. Hun har et billede af accelerationerne som tangenthældninger for grafen, men har alligevel vanskeligt ved at udregne værdier for accelerationen.

Hun er ikke i stand til at bruge formelen for modstandskraften til at finde dens størrelse når hastigheden er konstant, skønt hun har en fornemmelse af at det kan lade sig gøre.

Hun udvikler et billede i *ligevægts-* og *kausalperspektivet* der faktisk er bedre end Kaspers: Konstant hastighed betyder at accelerationen er nul. Ved konstant hastighed forskellig fra nul er der modstand, følgelig kan modstanden ikke afhænge af accelerationen.

For alle eleverne gælder at deres mentale modeller for at kunne beskrives, kræver en kombination af de forskellige perspektiver. Men forskellige perspektiver dominerer hos forskellige elever.

Karstens stærkeste billede er kausalperspektivet – men det bliver faktisk et handicap for ham fordi han ikke kan kombinere det frugtbart med de andre perspektiver.

Signes stærkeste perspektiv er formelperspektivet. Det fører hende et stykke vej – hun mister overblikket fordi hendes kausalperspektiv står meget svagt.

Rie har sin styrke i et stærkt kausalperspektiv kombineret med en intuition fra den daglige erfaring.

Cecilie har slet ikke nogen særlig stærke mentale billeder – og hun kommer heller ikke særlig langt.

Alle eleverne har vanskeligheder med at kombinere grafperspektivet med formelperspektivet.

En mental model der er tilstrækkeligt udbygget til at de kan forstå og besvare spørgsmålet om hvordan modstanden afhænger af hastigheden, vil kræve at deres individuelle mentale modeller bliver kombineret.

Kageforme

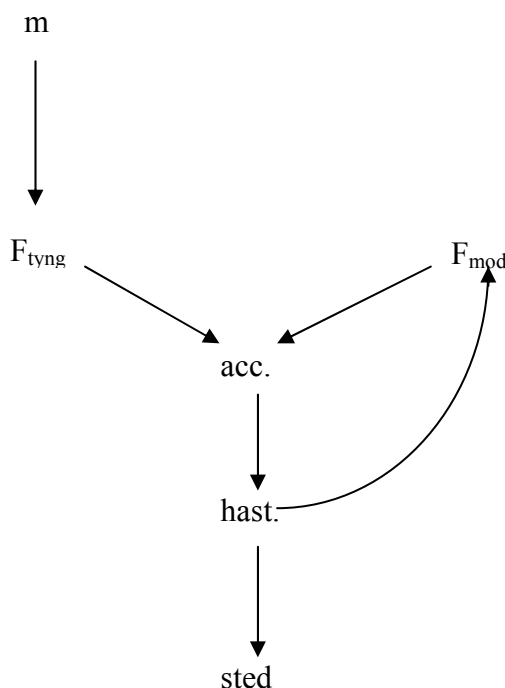
13 Faldende kageforme

13.1 Analyse af grundlæggende begreber i forbindelse med kageformsprojektet

Lad os nu se på eleveksperimentet hvor eleverne skal undersøge hvordan papirkageforme falder. Papirkageforme når ret hurtigt (på mindre end 10 cm) en konstant hastighed. Eleverne kan undersøge dette, ligesom de også kan undersøge hvordan flere kageforme sat oven i hinanden vil falde. (Med flere kageforme sat sammen vil det være lidt længere inden terminalhastigheden nås, og den vil være større). Netop ved at sætte flere kageforme sammen er det muligt at undersøge luftmodstanden af hastigheden idet tværsnitsarealet i alle tilfælde er det samme, således at luftmodstanden alene afhænger af hastigheden. Da luftmodstanden, når terminalhastigheden er nået, er lig med tyngdekraften på kageformene, kan luftmodstand og faldhastighed sammenlignes.

13.1.1 Kausalperspektivets forbindelse med de fire andre perspektiver

Hvad skal man kunne for med udbytte at kunne formulere og undersøge problemer i forbindelse med faldende kageforme? For at få overblik over dette spørgsmål vil vi undersøge strukturen af den eksperimentelle situation, idet vi husker at vi allerede i afsnit 8.4 har gennemgået en række af de væsentlige træk.



Figur 13.1
Kausal model for kagefor-
mes fald

Figur 13.1 skal illustrere ”kausalsammenhænge” ved en kageforms fald: Den samlede kraft er sammensat af tyngdekraft og luftmodstand. Tyngdekraften er bestemt af massen. Luftmodstanden er bestemt af hastigheden. Vi bemærker altså at luftmodstanden afhænger af hastigheden samtidig med at hastigheden styres af bl.a. luftmodstanden. Sammenhængen mellem hastighed og luftmodstand er derfor ikke let at holde fast i når den som i dette tilfælde er pakket ind i andre sammenhænge. Den samlede kraft (*systemperspektiv*) giver anledning til en acceleration som giver anledning til en ændring af hastigheden som giver anledning til en ændring af stedet. For en given masse er F_{tyng} konstant. Hvis F_{mod} vokser med voksende hastighed, vil den resulterende kraft blive stadig mindre. Ses bedst i et *grafperspektiv*, og når hastigheden er passende, vil F_{mod} ”ophæve” F_{tyng} , accelerationen bliver nul, hastigheden konstant (*ligevægtperspektivet*). Vi forventes nu at slutte baglæns: konstant hastighed betyder at accelerationen er nul så F_{mod} ophæver F_{tyng} , dvs. ved konstant hastighed er $F_{\text{mod}} = F_{\text{tyng}}$ (*formel- og ligevægtperspektivet*). Så er vi klar til at variere variable: Ny masse, ny bevægelse, ny ligevægt med ny konstant hastighed... på den måde kan vi finde ud af hvordan F_{mod} afhænger af hastigheden.

Vi ser at situationen er temmelig kompliceret. samtidig med at en sådan faldende genstand er et forholdsvis kendt fænomen og umiddelbart må formodes at aktivere en række grundforestillinger (p-prims), så skal man for at kunne forstå et eksperimentelt problem som spørgsmålet: ”Hvad afhænger luftmodstanden af?” eller ”Hvordan afhænger luftmodstanden af faldhastigheden?”, have en meget omfattende og dyb forståelse af de begreber der indgår i beskrivelsen af fænomenet.

Hvilke begreber indgår, og hvad skal man vide om dem? der er dels tale om kinematiske begreber (angående bevægelse) og om dynamiske (angående kræfter). Når vi i det følgende taler om ”forståelse” af de omtalte begreber, er der ikke tale om elevens faktiske forståelse, deres mentale forestillinger, men om den forståelse der logisk ligger i den indre struktur af problemet, forstået som fysikproblem.

13.1.2 Graf- og formelperspektivet: Kinematik.

”Forståelse” af hastighedsbegrebet. Forståelse vil her sige en operationel forståelse. Man skal kunne måle/beregne hastigheden når den er konstant. Mere specifikt skal man forstå begrebet middelhastighed.

Man skal forstå at hastighed kan være en funktion af tiden. Og man skal forstå sammenhængen mellem hastighedsfunktion og stedfunktion. I denne forbindelse er det nødvendigt at beherske grafiske afbildninger af hastighedsfunktion og stedfunktion, og at forstå sammenhængen mellem graferne hastighedsberegning (se afsnit 8.4)

13.1.3 System- og formel- og ligevægtperspektivet: Dynamik

Forståelse af kræfter og af sammenhæng mellem kraft og bevægelse (Newtons 2. lov). De centrale ræsonnementer i forhold til den eksperimentelle situation med kageformene er dette: (Resulterende) kraft lig nul medfører konstant hastighed. Og: Konstant hastighed medfører (resulterende) kraft lig nul.

Desuden er det vigtigt at forstå at kræfter kan sættes sammen, og at kræfter kan ophæve hinanden.

13.1.4 System- og ligevægtsperspektivet: Tyngdekraft og luftmodstand

Udover disse grundlæggende begrebssammenhænge er det afgørende at eleverne har et kendskab til begrebet tyngdekraft, såvel som en forståelse for hvad der overhovedet menes med begrebet ”luftmodstand”. For at tage det sidste først, så er det afgørende her at man forstår at luftmodstand er en kraft der kan sammenlignes med (og evt. sammensættes med) andre kræfter som f.eks. tyngdekraften.

Hvad angår tyngdekraften, er der er (mindst) to muligheder for at præsentere $F_{\text{tyngde}} = m \cdot g$ ($g = 9,82$ N/kg) for eleverne.

Den ene er at postulere formlen $F_{\text{tyngde}} = m \cdot g$ (sådan er det bare!) og vise at det passer med Newtons 2.lov og hvad man har lært om frit fald, nemlig at accelerationen er konstant:

$$F_{\text{tyngde}} = m \cdot a \Rightarrow m \cdot g = m \cdot a \Rightarrow a = g,$$

altså accelerationen er konstant lig g . (Mere udfoldet version: Universel gravitationslov fører ved jordoverfladen til $F = \text{konst.} \cdot m$ hvor $\text{konst.} = G \cdot M / R = g$, og så fortsætter vi derfra).

Den anden er at konstatere at accelerationen ved frit fald er konstant, uanset hvad der falder, så vi kan bruge Newtons 2.lov til at slutte os til hvad tyngdekraften må være: I $F = m \cdot a$ indsætter vi den konstante acceleration g , så vi får at kraften må være $F_{\text{tyng}} = m \cdot g$.

En ulempe ved denne fremstilling er at formlen for tyngdekraften nemt bliver koblet lovlig stærkt til faldet, og man kan være tilbøjelig til at opfatte g som en acceleration og ikke som en konstant der indgår i udtrykket for tyngdekraft *uanset* om legemet bevæger sig eller står stille eller bevæger sig med en *anden* acceleration end lige g – som det jo er tilfældet ved kageformenens fald.

Man kan introducere $F = m \cdot g$ ved at lade eleverne sidde med en fjedervægt og nogle lodder og så tegne en graf over tyngdekraften på forskellige kombinationer af lodder (målt med fjedervægten) som funktion af massen.

Som denne diskussion af tyngdekraften viser, kan et fysisk fænomens ”egen indre struktur” ikke fastlægges entydigt. Selv om valget af fysisk beskrivelse ofte på det teoretiske og begrebslogiske plan er uden større betydning (f.eks. fordi alternative beskrivelser er matematisk ækvivalente, eller fordi forskellene mellem dem ikke har nogen praktisk betydning i forbindelse med forudsigelse af observationer), så kan de have en væsentlig pædagogisk betydning. Den konkrete form hvori begreberne bliver præsenteret for eleverne har betydning, både for hvilke i forvejen eksisterende tanke-mønstre der aktiveres hos eleverne og for hvilke nye tankestrukturer der udvikles hos dem.

13.2 Analyse af to elevers arbejde med kageformsprojektet

Vi ser nu på to elevers udvikling af mentale billeder i forbindelse med den eksperimentelle situation, ”faldende kageforme”.

Som beskrevet i afsnit 8.3 skulle eleverne undersøge hvordan kageforme faldt. Opgaven var åben, men fra starten blev de opfordret til at finde ud af hvad faldbevægelsen kan tænkes at afhænge af. Mange kom frem til at luftmodstanden var afgørende, og en del elever fandt ud af at luftmodstanden afhænger af hastigheden og prøvede at undersøge denne afhængighed. Før denne opgave havde eleverne arbejdet såvel teoretisk som eksperimentelt med problemer i mekanik, herunder et beslægtede problem som faldskærmsudspring.

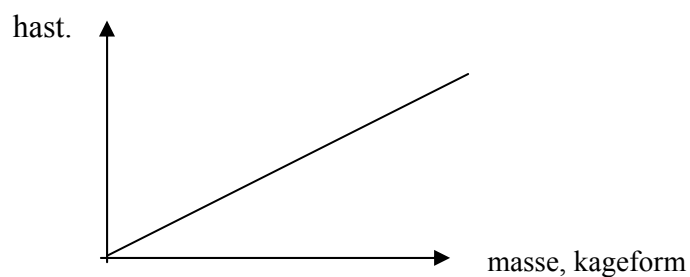
To elever er valgt ud. I analysen vil vi bl.a. prøve at sammenligne disse to elevers overvejelser med den ovenfor beskrevne ”kausale model” for faldende kageforme. Derfor prøver vi at konstruere tilsvarende diagrammer som illustration af elevernes (af os rekonstruerede) mentale modeller i et kausalperspektiv, samtidig med at vi ser på forbindelsen til de andre perspektiver.

Graferne og kommentarerne i *kursiv* i det følgende er elevernes egne. Figurerne med pile der illustrerer ”kausale mentale modeller” (f.eks. figur 13.2) repræsenterer min rekonstruktion.

13.2.1 Nannas historie.

Nannas 1. mentale model for kageformens fald:

Nanna ser først situationen på følgende måde: Kageformene falder med en vis hastighed. Om hun opfatter faldhastigheden som konstant er ikke klart. I hvert fald er der i hendes mentale forestillinger næppe plads til en varierende hastighed. Hastigheden afhænger af kageformens (kageformenes) masse. Vi ser elementer af Ohms p -prim i hendes tænkning: Bevægelsen (hastigheden) er en virkning der fremkaldes af ”noget” der hænger sammen med massen (her gemmer tyngdekraften sig muligvis). Visse faktorer, først og fremmest (tværsnits)arealet, influerer på bevægelsen: En ”modstand”. På figur 13.1 angiver hun at massen vil afhænge (lineært) af kageformens masse, og at hun kunne tænke sig at undersøge denne afhængighed eksperimentelt.



”uafhængige variable: kageformenes egenskaber”

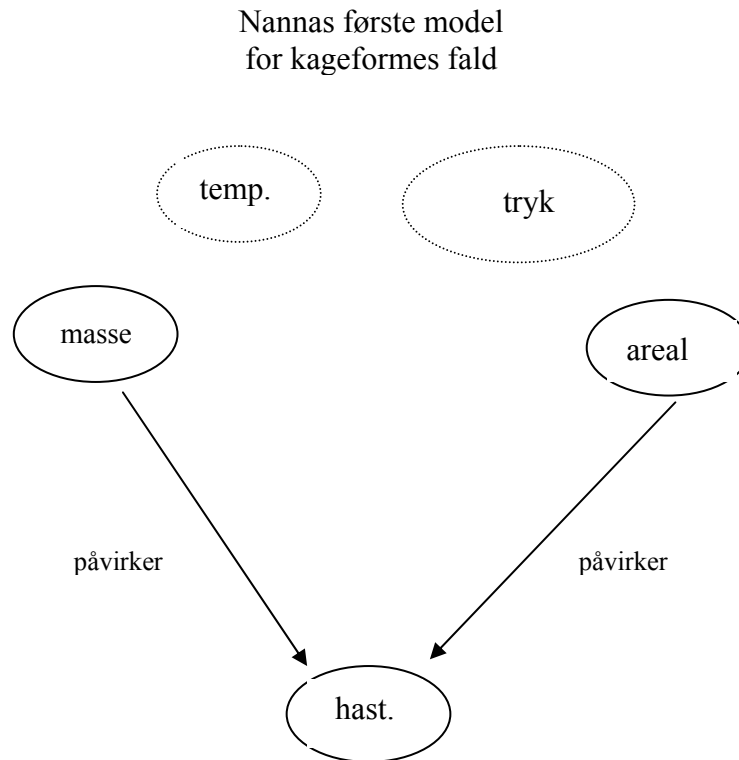
“afhængig variabel: hastighed”

Figur 13.1

Nanna angiver at hastigheden er den variable hun vil undersøge, at det er den afhængige variable,

mens (f.eks.) massen er den uafhængige, og at hun forventer at hastigheden vil vokse proportionalt med massen. Det er det typiske mønster i Ohms p-prim: At der er en form for proportionalitet mellem påvirkningen og effekten. Hendes mentale billede er på dette tidspunkt domineret af et graf- og kausalitetsperspektiv.

Herunder (figur 13.2) er Nannas forestillinger søgt illustreret på en måde så vi kan sammenligne med den tidligere beskrevne kausale model.

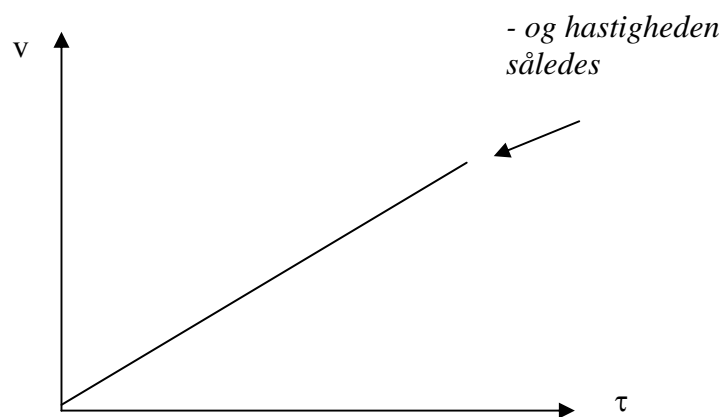
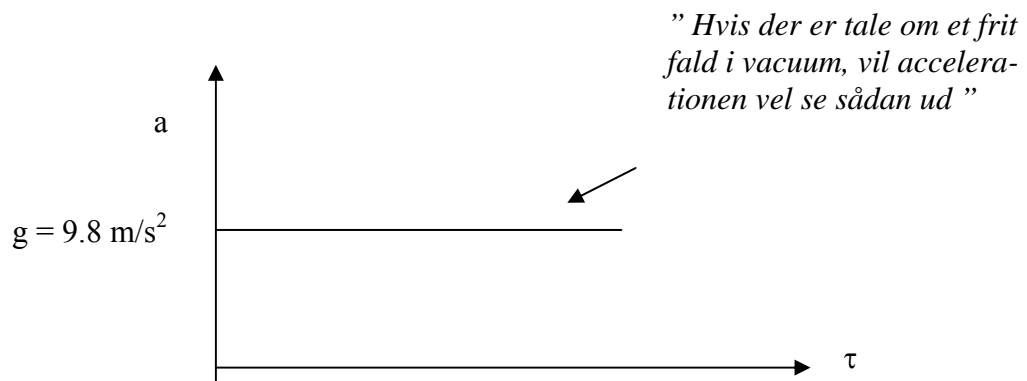


Figur 13.2

Nannas 2. mentale model for kageformes fald:

Senere prøver Nanna at inddrage flere teoretiske begreber (acceleration) og mere viden (om det frie fald) i sin forståelse af situationen.

Tilsyneladende er der tale om et tilbageskridt i forhold til før. Inddragelsen af den teoretiske viden om det frie fald forvirrer tilsyneladende kun. Udviklingen af de mentale modeller repræsenterer en løbende ”diskussion” mellem fænomenet på den ene side, og de teoretiske begreber og den øvrige relevante (eller irrelevante) viden eleven måtte have eller erhverve sig under forløbet på den anden. Nanna er nødt til at overveje om hendes teoretiske viden om frit fald er anvendelig i dette tilfælde eller ej. Hun tegner en graf for accelerationen som funktion af tiden og en tilhørende graf for hastigheden – grafen for et frit fald (figur 13.3):



Figur 13.3

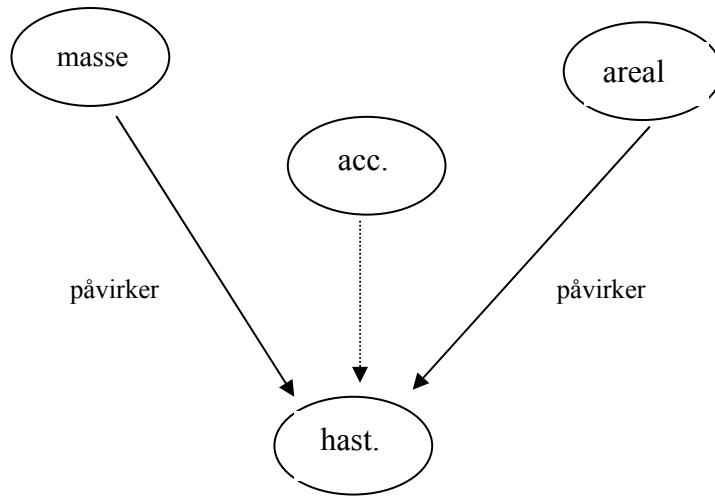
Nanna minder sig selv om hvordan graferne for faldet ser ud hvis der tale om et frit fald. Noget tyder på at hun i denne fase faktisk hælder til at det er tilfældet. Hun skriver:

"Accelerationen er nok konstant = g til alle tidspunkter. Hastigheden øges konstant"

Hendes mentale model er nu domineret af et formel- og grafperspektiv (det frie fald)

Hendes kausale model (figur 13.4) ligner meget den forrige. Hun prøver noget usikkert at indpasse accelerationen i systemet, kan ikke rigtig se hvordan. Ligesom hos eleverne med skibsmodelopgaven er hun påvirket af den matematiske sammenhæng der er mellem acceleration og hastighedsændring:

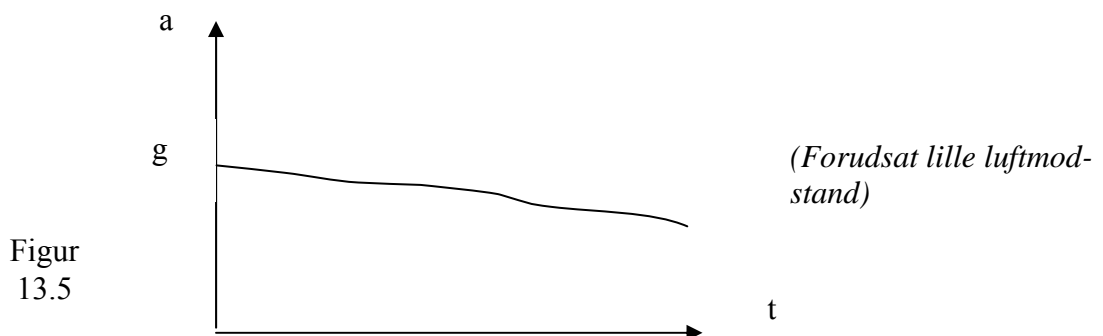
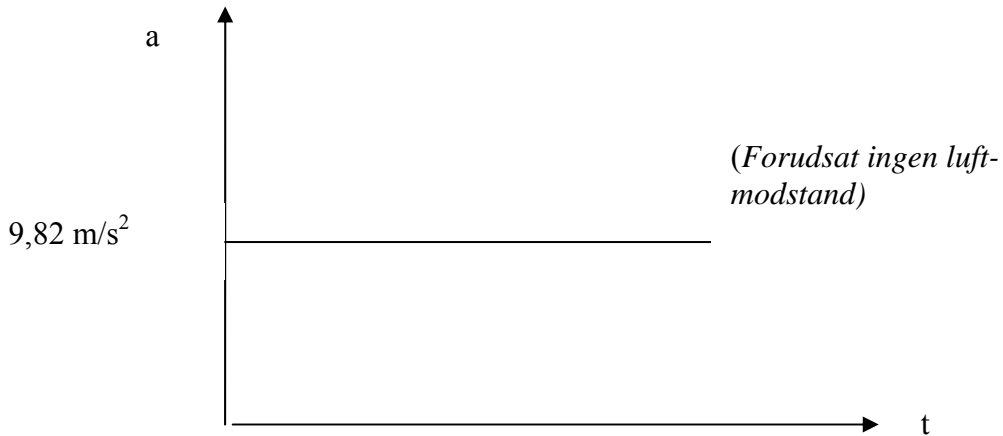
Nannas anden model for kageformes fald



Figur 13.4

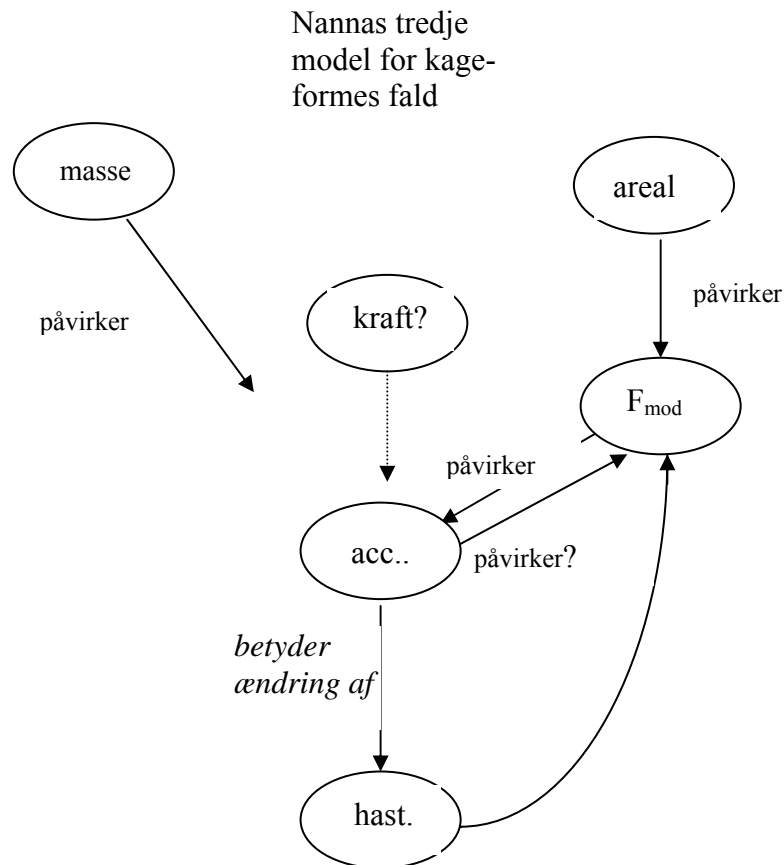
Nannas 3. mentale model for faldende kageforme:

I sin tredje beskrivelse af sine tanker har Nanna udviklet en lang række begreber og indsigter som hun ikke have tidligere:



Figur 13.5

Hun kæmper stadig med den mulige relevans af teorien for det frie fald. Hun tegner to grafer, henholdsvis en graf med (lille) luftmodstand, og en graf uden luftmodstand. Det ser ud til at hun ikke kan forestille sig en *stor* luftmodstand (måske fordi faldet foregår så hurtigt). Men det afgørende er, at begrebet *luftmodstand* er kommet ind i billedet. (Figur 13.6)



Figur 13.6

Hvad luftmodstanden afhænger af, er hun ikke helt sikker på: Ud over kageformens areal og andre egenskaber mener hun at det kan være hastigheden(!) eller accelerationen. Nannas mentale model synes nu at omfatte både et kausalitets- formel- og grafperspektiv, samtidig med at et systemperspektiv er ved at vise sig.

Nannas 4.mentale model for faldende kageforme:

Nanna udfører nu en forsøgsrække med de faldende kageforme med ultralyd (CBR: Calculator Based Ranger). På det tidspunkt har hun også været igennem en diskussion af kræfter i forbindelse med faldskærmsudspring. Herigennem får hun en væsentlig bedre forståelse af situationen og gennemfører faktisk en undersøgelse af luftmodstandens afhængighed af hastigheden.

Hun har nu fået en fuld forståelse af luftmodstanden, ikke bare som ”noget” der bremser bevægelsen, men som en kvantitativ størrelse, en kraft, der kan sammenlignes med tyngdekraften (systemformel- og ligevægtsperspektiv). Hun viser også en god forståelse af Newtons 2.lov og de sammenhænge som den er udtryk for. Hun skriver:

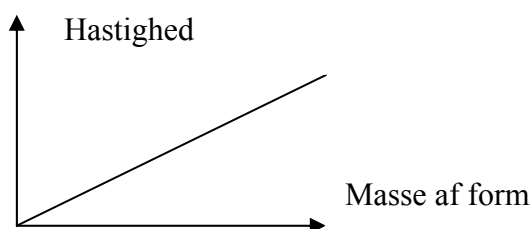
”I dette forsøg er kageformene påvirket af to kræfter: Tyngdekraften og luftmodstanden (det er altså ikke et frit fald, da formene i så fald kun skulle være påvirket af tyngdekraften). Der er ingen andre kræfter end de to, da formene blot slippes og dermed ikke får nogen kraft af os.”

”der [er] ingen acceleration (i den behandlede del af graferne). Er accelerationen lig nul, betyder det, at den resulterende kraft også er lig nul. [...]

Da den resulterende kraft består af tyngdekraften og luftmodstandskraften får man [...] at luftmodstandskraften, som jo netop skulle beregnes, er lig tyngdekraften med modsat fortegn, da de to kræfter trækker i hver sin retning, op og ned – kageformene påvirkes af to kræfter, der trækker lige meget i hver sin retning og får derved en konstant hastighed.”(Ligevægts-system- og kausalitetsperspektiv)

Selv om der er vise antydninger af en ufuldstændig forståelse af kraftbegrebet (”da formene blot slippes og dermed ikke får nogen kraft af os”) kan vi alligevel med en vis ret tillægge hende en mental model for situationen der ikke afviger væsentligt fra den oprindelige ”rigtige” kausale model. (Figur 13.8)

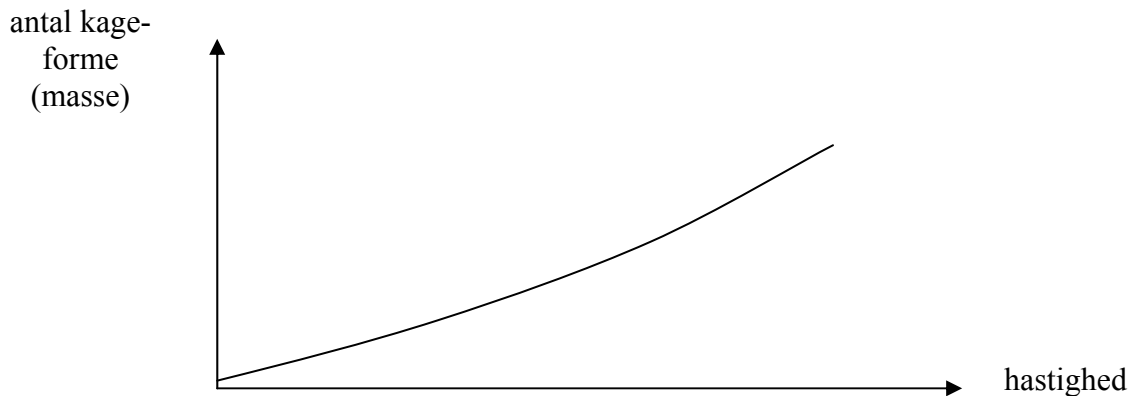
Det er nu særlig interessant at bemærke at sammenhængen (figur 13.7)



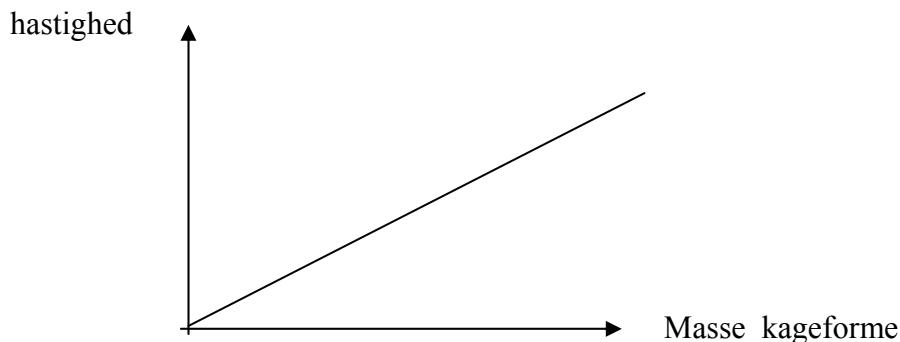
Figur 13.7

Som Nanna foreslog i sine indledende overvejelser, kan nu forstås på en helt anden måde. Nanna skriver

”Udregningerne viste også at man egentlig lige så godt kunne have lavet en graf med hastighed som x-værdi og antal forme som y-værdi i stedet for luftmodstanden som y-værdi.”



Nannas allerførste forslag til en graf for en målt sammenhæng:



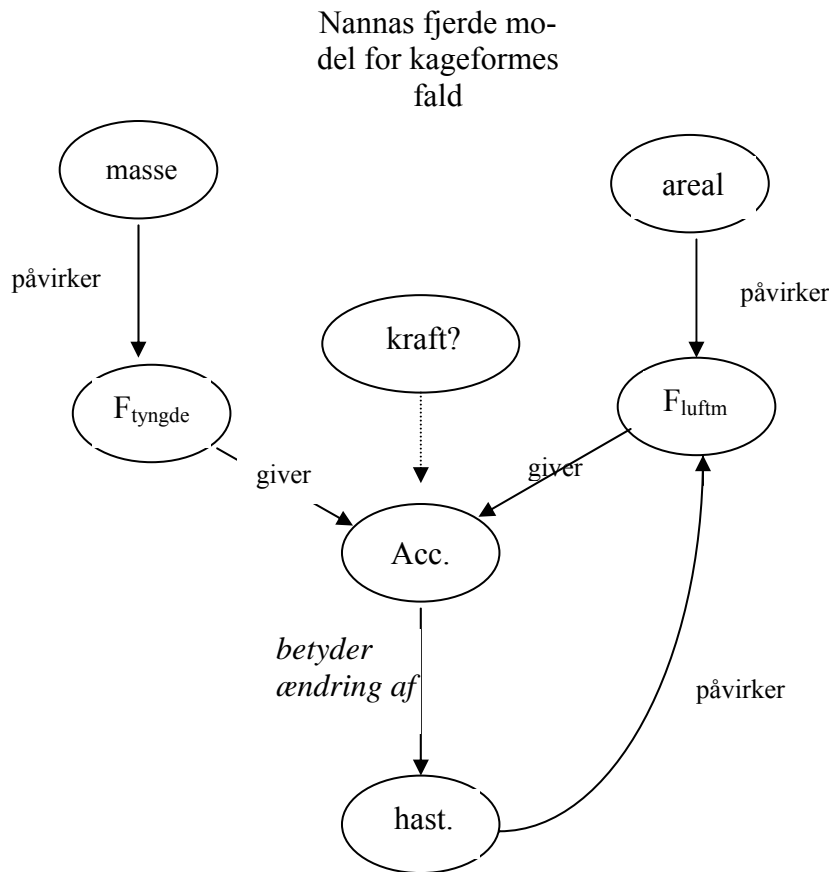
Figur 13.8

På baggrund af de opbyggede mentale modeller kan Nanna stille spørgsmål i forbindelse med grafen som der ikke kunne stilles før (graf- formel- og kausalitetsperspektiv). (Nemlig: Hvad siger dette om luftmodstanden?) Den afgørende graf til bestemmelse af luftmodstandens afhængighed af hastigheden er netop den graf hun skitserede som det første (bortset fra at denne første graf var lineær). Men på det tidspunkt var hendes mentale forestillinger om den eksperimentelle situation og dens sammenhæng med de relevante fysiske begreber ikke tilstrækkelig udbygget til at hun brugte grafen til dette formål. Først den dybere forståelse der fulgte med arbejdet med fænomenet (teoretisk og eksperimentelt) gav hende de nødvendige forudsætninger for at forstå spørgsmålet om luftmodstandens afhængighed af hastigheden som et *eksperimentelt* problem, altså et problem der ikke bare giver mening på det teoretiske niveau, men som kan knyttes til konkrete procedurer der gør det muligt at løse problemet eksperimentelt.

Nanna kan endvidere på baggrund af sin forståelse af det eksperimentelle problem se det som en samlet procedure der kan anvendes til at løse andre problemer. Hun skriver til sidst i sin rapport:

“Det ville være interessant at lave et eksperiment præcis som det der er beskrevet i denne rapport, men hvor den variable ikke er det faldende legemes masse, men dets overflade. Jeg regner

med at overfladen må have en hel del indflydelse på modstanden [...] Man kunne f.eks. bolde med samme masse og overfladeareal, men med forskellige glatte eller ru overflader.”

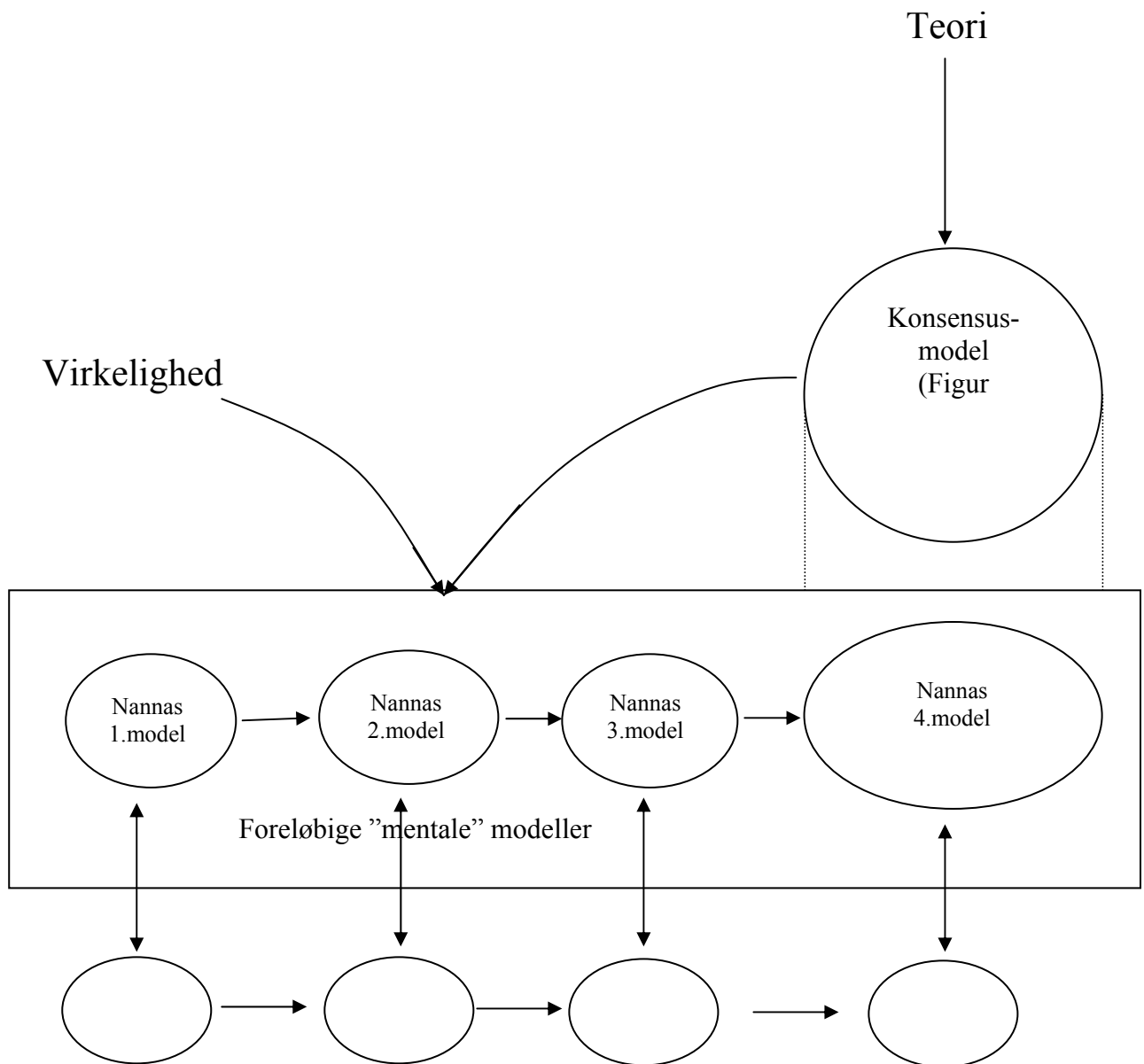


Figur 13.8

En vigtig pointe i Nannas opbygning sine mentale modeller er at hun tilsyneladende var nødt til at gå via en model for det frie fald – altså den idealiserede situation hvor vi *ser bort fra* luftmodstand. Det kunne tyde på at vi, når vi opbygger i fysikssammenhæng brugbare mentale modeller for bestemte fænomener, sker på en måde der er parallel til den måde hvorpå modeller for fænomener bygges op i videnskaben: Her tager man jo også normalt udgangspunkt i modeller for idealiserede situationer som man så gør stadig mere komplicerede.

Nanna har taget udgangspunkt i det ideale ”frie fald”, har så langsomt føjet en *lille* luftmodstand til (det er jo noget vi ”normalt” ser bort fra), hvorefter luftmodstanden er kommet til at spille hovedrollen i hendes billede situationen. Nu har hun fået et *værktøj* til yderligere undersøgelser (hvad betyder overfladen på en bold for luftmodstanden).

Hvis vi skal sammenligne Nannas udvikling af stadig mere raffinerede mentale modeller med figur 6.6 i afsnit 6.5, kan figuren komme til at således ud (figur 13.9)

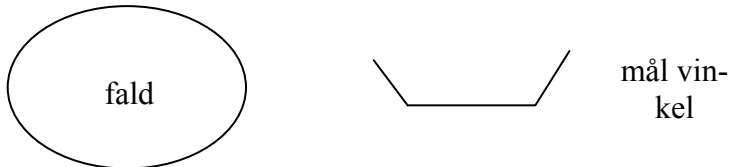


Figur 13.9

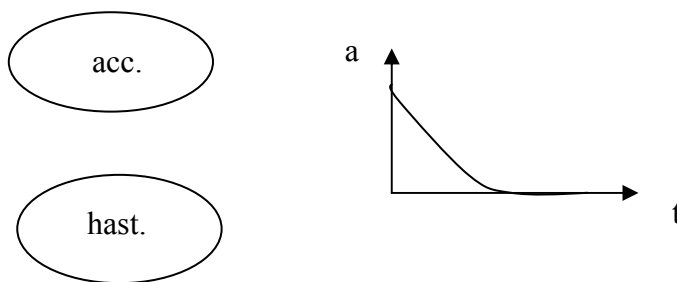
13.2.2 Ivans historie:

Ivan udvikler sine mentale forestillinger meget langsommere end Nanna og når aldrig frem til en forståelse af problemet: Hvordan afhænger luftmodstanden af faldhastigheden?

Ivans første mentale model for kageformers fald



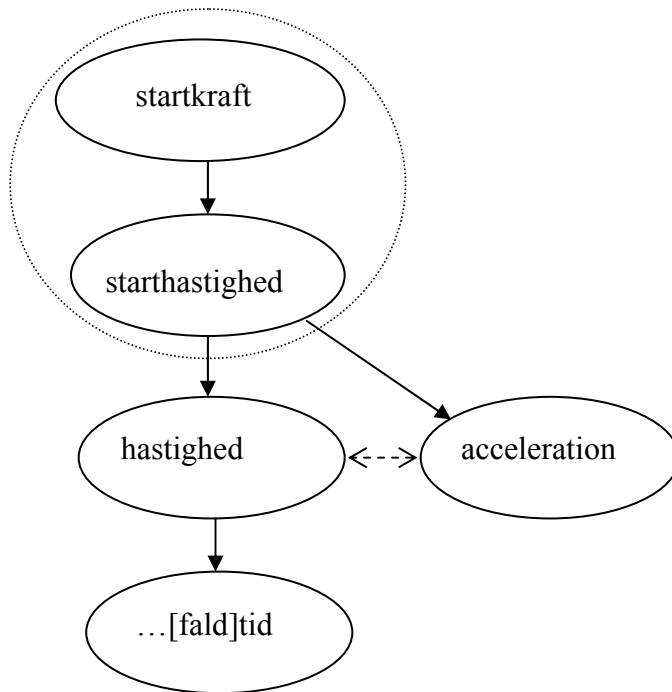
Ivans anden mentale model



Ivans første mentale forestillinger er meget rudimentære. I den første kan vi måske genkende meget svag udgave af Ohms p-prim: faldet hindres af noget “modstand” der må afhænge af kageformens geometri. (Kausalitetsperspektiv).

I den anden indføres acceleration og hastighed på en ukonstruktiv måde (grafperspektiv). Han antager at accelerationen aftager, hvilket er rigtigt, men kan ikke bruge dette til noget.

Ivans tredje mentale model



*...[fald]tiden afhænger af hastigheden.
Og starthastigheden påvirker hastigheden
Accelerationen afhænger af starthastigheden
... startkraften*

I Ivans tredje model ser vi hvordan det primitive tankemønster om kraft (evt. "starthastighed") som bevægende årsag (kausalitetsperspektiv) ikke helt er kombineret med ideen "modstand" til Ohms p-prim.

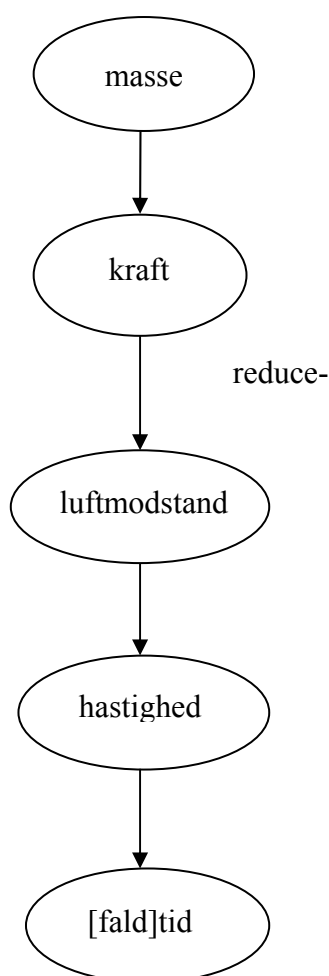
I den fjerde model ser vi mere tydeligt Ohms p-prim: En modstand skal overvindes. Men påvirkningen som skal overvinde den, er kraft/hastighed – hvor der ikke skelnes mellem kraft og hastighed. Her skelnes ikke:

"luftmodstanden har mindre effekt når hastigheden vokser fordi de bevæger sig med større kraft."

Det betyder for det første at modstanden ikke opfattes som en kraft, og for det andet at en sammenhæng mellem (modstands)kraft og hastighed ikke giver mening, da der ikke skelnes mellem de to begreber.

Ivan finder da heller aldrig ud af hvordan han skal løse problemet – også selv om han får metoden forklaret. Hans mentale billeder er simpelt hen ikke tilstrækkeligt udviklet til at han har forudsætninger for at forstå problemet.

Ivans fjerde mentale model



*"flere kageforme, mere vægt
mere vægt, større kraft.
Større kraft, mindre modstand, derfor
større hastighed og mindre tid fra start
til slut."
"luftmodstanden har mindre effekt når
hastigheden vokser fordi de bevæger sig
med større kraft."*

13.3 Indsigt

Teoretiske mentale modeller viser sig på meget afgørende vis bestemmende for hvilke spørgsmål eleverne kan stille til en eksperimentel situation. Spørgsmålet om hvordan modstanden afhænger af hastigheden i skibsmodelopgaven eller for de faldende kageforme kan kun stilles, ja, kun forstås, af elever der har et temmelig sofistikeret mentalt billede af situationen. Vi ser at Nanna skulle gennem en lang proces for at få en mental model der på frugtbar måde indeholdt så abstrakte størrelser som luftmodstand og tyngdekraft at hun kunne bruge den eksperimentelle situation til at stille og besvare spørgsmålet: Hvordan afhænger luftmodstanden af hastigheden.

Ivan, derimod, når aldrig frem til en mental model der sætter ham i stand til at stille dette spørgsmål.

14 Varmelæreforsøg

I de to sidste kapitler, 14 og 15, analyseres samtalen mellem en elev, Nanna, og to andre om planlægningen og gennemførelsen af to forsøg: Bestemmelse af varmekapaciteten for et metal og bestemmelsen af smeltevarmen for is.

Aktiviteten foregår i 1.g – den samme klasse som udfører kageformsforsøget i 2.g (kapitel 13). Den elev, Nanna, som følges her, er den samme som Nanna fra kageformene. Eleverne har før forsøget gennemgået de relevante begreber og lovmæssigheder i varmelæren (varmekapacitet, specifik varmekapacitet, smeltevarme, energibevarelse) og de har bl.a. set et forsøg hvor is opvarmes til smeltepunktet, smelter og, når isen er smeltet, opvarmes yderligere. Der er blevet tegnet en tid-temperaturgraf, og grafen er blevet fortolket.

Planlægningen er baseret på to figurer der illustrerer situationen ud fra et systemperspektiv (figur 15.1 i afsnit 15.1 og 15.2 i afsnit 15.3). De figurer eleverne bruger indeholder *ikke* formler og symboler i kasserne – dem skal eleverne selv sætte ind. (Se appendiks 3).

I analysen bruger jeg som i mekaniktilfældet (afsnit 8.4) fem perspektiver. Dog har jeg her valgt ikke at have et grafperspektiv og i stedet indføre et ”bevarelsesperspektiv” som er meget relevant for forståelsen af varmelæreforsøgene. Disse perspektiver beskrives i det følgende afsnit.

14.1 Fem forskellige perspektiver for mentale modeller

14.1.1 Formelperspektivet

Forsøgene i varmelære er karakteriseret ved at der skal bruges formler hvori der indgår et stort antal symboler. For at holde rede på de mange symboler, opfordres eleverne til at bruge ”sammensatte” symboler, dvs. symboler hvor et bogstavsymbol er forsynet med et forklarende indeks eller et forklarende ord, evt. i parentes. F.eks. er ” $t_{\text{vandStart}}$ ” ét symbol der står for begyndelsestemperaturen for vand. Dette er årsag til forskellige vanskeligheder for eleverne. Dels er disse ”sammensatte” symboler svære at overskue og at fastholde som symboler for ét tal. Dels afspejler notationen at formlerne optræder i forskellige grundlæggende betydninger. En formel kan befinde sig på forskellige niveauer af abstraktion:

På det øverste abstraktionsniveau (som vi vil kalde niveau 1) angiver formlerne en helt generel sammenhæng, f.eks. $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ (”hvis man tilfører en eller anden varmemængde, Q , til en mængde

med massen m af et (hvilket som helst) stof, er den specifikke varmekapacitet, c , for stoffet lig med den tilførte varme divideret med massen og med temperaturstigningen, ΔT , for stoffet”). Der er altså tale om en generel *definition* af begrebet specifik varmekapacitet. De enkelte bogstaver i formelen står ikke blot for tal (hvad de selvfølgelig gør), formelen står for et helt ensemble af formler på det næste (lavere) abstraktionsniveau.

På dette niveau (niveau 2) optræder formler af typen $c_{\text{metal}} = \frac{Q}{m_{\text{lod}} \cdot \Delta T_{\text{lod}}}$. Her er m_{lod} massen for et

bestemt lod vi arbejder med, ΔT_{lod} er temperaturstigningen for loddet i en bestemt type forsøg, og

c_{metal} er den specifikke varmekapacitet for det stof dette lod er lavet af. m_{lod} , ΔT_{lod} og c_{metal} kan sagtens være ubekendte når vi skriver ligningen op, og ligningen er i denne forstand lige så symbolsk og abstrakt som ligningen $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$. Men formelen $c_{\text{metal}} = \frac{Q}{m_{\text{lod}} \cdot \Delta T_{\text{lod}}}$ er et *specialtilfælde* af

formlen $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$, og formelen $c_{\text{vand}} = \frac{Q}{m_{\text{vand}} \cdot \Delta T_{\text{vand}}}$ er et andet specialtilfælde af den samme formel. Der er her tale om *anvendelser* af den ovennævnte definition af specifik varmekapacitet.

Denne skelnen er kognitivt krævende. Den er beslægtet med Anna Sfards proces-objekt-dualitet i matematikken. Ifølge Sfard gennemgår den matematiske begrebsdannelse en udvikling gennem stadig højere abstraktionsniveauer, det der først opfattes som en *proces* (f.eks. differentiation) bliver til et matematisk *objekt* (den afledede funktion). Vi kan sige at den konkrete regneforskrift hvor bestemte tal skal sættes ind i formelen, repræsenterer en proces, mens den generelle formel (med Kuhn *lovskema*, se afsnit 3.9.2) repræsenterer et objekt der omfatter alle specifikke formler af den pågældende type.

Det er imidlertid afgørende at eleverne forstår forskellen mellem de to niveauer. Ellers vil de nemlig ikke være i stand til at bruge formlerne i situationer hvor de i *samme* beregning skal referere til *forskellige* systemer med de *samme* generelle formler.

Et andet problem med at se varmelæreforsøgene i et formelperspektiv er de mange forbundne formler eleverne præsenteres for:

Formlerne $Q = m \cdot C \Leftrightarrow C = \frac{Q}{m}$ og $C = c \cdot \Delta T \Leftrightarrow c = \frac{C}{\Delta T}$ kan samlet erstattes af

$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \Leftrightarrow c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$. Desuden kan symbolet Q helt undgås, da det hverken er en størrelse

der kan måles direkte eller er en karakteristisk konstant for en genstand eller et stof. Vi har altså ikke brug for symbolet Q som andet end en hjælpestørrelse. (Hvor vi ellers ville skrive Q kan vi i stedet skrive $m \cdot C$ eller $m \cdot c \cdot \Delta T$). Dette betyder ikke at formlerne er overflødige. De har deres berettigelse på flere måder. Dels har de en funktion som *definitioner* af bestemte begreber. Formlen

$C = \frac{Q}{m}$ er en definition af varmekapacitet, og formlerne $c = \frac{C}{\Delta T}$ og $c = \frac{Q}{m \cdot \Delta T}$ er definitioner af

specifik varmekapacitet. Dels giver de mulighed for at beregne nogle energistørrelser der kan knytte an til mentale billeder af ”energiportioner” der flyttes fra et sted (eller et system) til et andet. Men de mange indbyrdes forbundne og delvis redundante ligninger stiller store krav til elevernes formel- og symbolforståelse.

En særlig vanskelighed er i denne forbindelse at eleverne skal holde nøje rede på hvilke størrelser der kan *måles* eller iagttages direkte, og hvilke størrelser der kun kan gives konkrete værdier ved beregning:

måles	måles	måles	beregnes	beregnes	beregnes	beregnes
m_{lod}	t_{lodstart}	t_{lodslut}	ΔT_{lod}	C_{lod}	c_{metal}	$Q_{\text{ud af lod}}$
m_{vand}	$t_{\text{vandstart}}$	t_{vandslut}	ΔT_{vand}	C_{vand}	c_{vand}	$Q_{\text{ind i/ud af vand}}$
m_{is}	t_{isstart}	$t_{\text{isslut}} (=0^{\circ}\text{C})$	ΔT_{is}	C_{is}	c_{is}	$Q_{\text{ind i is}}$

Størrelsen $t_{\text{is}}\text{slut}$, altså den temperatur ved hvilken isen ophører med at være is (smeltepunktet), er lidt speciel i denne sammenhæng. Det er en størrelse der skal bruges i beregningerne, men den måles ikke direkte i dette forsøg. Temperaturen for det vand isen bliver lagt ned i, kommer aldrig ned på nul grader, så man er nødt til at kende dette smeltepunkt i forvejen og bruge det i ligningerne.

At fastslå hvilke størrelser der kan måles direkte og hvilke der skal beregnes, er et helt afgørende trin i planlægningen af et forsøg. Det tankearbejde eleverne skal udføre for blandt mange størrelser som det kan være *ønskværdigt* at kende, at udskille de størrelser der er *målbare*, kan man selvfølgelig tage fra dem ved at fortælle dem hvad de skal måle. Men hvis de selv skal tilrettelægge forsøg og planlægge eksperimentelle projekter, må de nødvendigvis gennem denne vanskelige proces. Processen er en uomgængelig del af den kobling af teori og virkelighed som er en forudsætning for dannelsen af et mentalt billede af den konkrete situation som eksperimentelt fænomen. (Se afsnit 3.2 og 5.5).

En sidste vanskelighed i formelperspektivet er at der opereres med temperaturer til bestemte tidspunkter (f.eks. $t_{\text{lodstart}} - 100^{\circ}\text{C}$ hvornår? – og $t_{\text{lodslut}} -$ hvornår er ”slut”?). Når de specifikke formler for en *bestemt* proces skrives op, er man nødt til at gøre sig nogle overvejelser hvad der karakteriserer de tidspunkter som disse temperaturer refererer til, ligesom man skal være klar over hvilket stof (eller hvilket sted/område) de refererer til. Ellers er der jo kun tale om generelle formler på niveau 1. Men dette kræver at man gør sig overvejelser over hvornår forsøget/processen begynder og hvornår den slutter. Det er ikke helt indlysende og har noget at gøre med temperaturligevægt. For isen er der desuden den komplikation at smeltetemperaturen ikke refererer til noget bestemt tidspunkt, i hvert fald ikke for hele isklumpen. Denne temperatur, der f.eks. er begyndelsestemperaturen for smeltevandet, får altså en mere abstrakt karakter end de andre temperaturer der direkte kan knyttes sammen med et billede af et tidsforløb.

14.1.2 Systemperspektivet

Det er i varmelæreopgaverne afgørende at man kan danne sig et billede af fænomenet som bestående af to adskilte systemer.

For loddets vedkommende:

1. det vand der er i bægeret før loddet lægges ned i det
2. metalloddet

Forståelsen af det eksperimentelle problem bygger på en forestilling om strømme af energi mellem disse delsystemer.

For smelte forsøget er de to delsystemer man skal betragte:

1. det vand der er i bægeret før isklumpen lægges ned i det
2. isklumpen

Isklumpen udgør stadig det samme system efter at den er smeltet. Opdelingen er nødvendig fordi vi kun kan holde rede på energistrømmene, f.eks. energistrømmen fra det oprindelige vand, hvis vi mentalt fastholder dette delsystem som adskilt fra resten, også selv om det efterhånden blandes med smeltevand fra isen.

14.1.3 Ligevægtperspektivet

En central ide er ideen om temperaturligevægt: To legemer der har været tilstrækkelig længe i kontakt med hinanden har samme temperatur, således at der ikke foregår energistrømme mellem dem. Princippet skal benyttes i to sammenhænge:

1. Metallodet antages at have en temperatur på 100°C når det sænkes ned i bægeret med vand, fordi det umiddelbart før har opholdt sig i en beholder med kogende vand.
2. De indgående delsystemer (vand, lod, isklump/smeltevand) antages at have samme temperatur når forsøget har varet et stykke tid.

Især det sidste punkt kan volde problemer fordi det ikke er oplagt *hvornår* der således er opnået temperaturligevægt. Da det ikke er noget vi umiddelbart kan observere (selv om vi naturligvis kunne få et godt bud ved at følge temperaturudviklingen i detaljer), bliver dette en del af de abstrakte forestillinger eleverne skal gøre sig.

Der er også et tredje aspekt som er baseret på ligevægtperspektivet: Enhver temperaturmåling er baseret på en antagelse om temperaturligevægt mellem termometeret og det system hvis temperatur man vil måle. Dette er ikke et aspekt der nødvendigvis behøver at have en plads i elevernes bevidsthed når de måler temperaturer. Men det gør det mere uigennemskueligt hvad det egentlig er man måler med et termometer. Et eksempel på den forvirring der kan opstå, er sådanne udtryk i dagligsproget som ”der var tredive grader i skyggen”. Forvirringen bliver særlig tydelig når den evt. suppleres med udsagnet ”og der var femoghalvtreds grader i solen”. Her skal man for at forstå en sådan aflæsning af termometeret pludselig forestille sig en dynamisk ligevægt hvor termometeret, når det viser en konstant temperatur, mister lige så stor en effekt som det modtager fra solen. Selv når den konkrete situation ikke skulle give anledning til denne type uklarheder, viser eksemplet at det kan være meget vanskeligt at danne sig en forestilling af hvad man egentlig aflæser på et termometer.

Vi har her et eksempel på hvordan ”færdigheder” (her aflæsning/brug af termometer) i fysiksammenhæng ofte meget hurtigt bliver til egentlige kompetencer (jvf. diskussionen i kapitel 5).

14.1.4 Kausalitetsperspektivet

Der er en række sammenhænge i den iagttagne proces der umiddelbart må opfattes som kausalt forbundne. Det er dog uklart hvilken retning ”kausalitetspilen” har: Skal vi sige ”vandet køles af fordi isen smelter” eller ”isen smelter fordi den ligger i varmt vand”?

Når vi bringer systemerne i termisk kontakt med hinanden, er der ingen af de indgående variable der bliver styret (eller overhovedet kan styres) af os. Imidlertid kan der, allerede når definitionerne af varmekapacitet og specifik varmekapacitet *præsenteres*, dannes et billede af en kausalitetsfølge: Vi tilføjer en varmemængde (Q), hvilket resulterer i opvarmning. Dette passer godt sammen med

generelle forestillinger om opvarmning, hvor der i reglen er en energikilde: solen, varmeapparatet, kogepladen, osv.

Disse forestillinger kan gøre det vanskeligt at danne brugbare mentale billeder af energistrømmene i en situation hvor vi kun *indirekte* kan beregne de overførte energimængder ud fra kendskab til temperaturændringer. Disse vanskeligheder vil blive uddybet i det følgende afsnit der omhandler bevarelsesperspektivet.

14.1.5 Bevarelsesperspektivet

Den centrale størrelse i dette perspektiv er den indre energi. Der er her tale om en abstrakt ekstensiv størrelse. Altså en uhåndgribelig størrelse der foreligger i en bestemt mængde, og som kan flyttes fra et delsystem til et andet. Et afgørende problem i denne forbindelse er forskellen og forbindelsen mellem temperaturbegrebet og energibegrebet. Her er to forhold af betydning:

- Temperatur kan direkte måles – energi er abstrakt og uhåndgribelig, resultatet af en udregning
- Temperatur er en intensiv størrelse – energi er en ekstensiv størrelse

På den ene side er temperaturbegrebet langt mere umiddelbart tilgængeligt end energibegrebet – temperatur er det vi aflæser på et termometer. Energi, derimod, er en størrelse der *udregnes* på mere eller mindre vilkårlig vis ved hjælp af målte størrelser – bl.a. temperaturen. På den anden side er temperaturen en *intensiv* variabel og som sådan langt sværere at danne sig et billede af end energi som er en ekstensiv variabel. Temperaturen er blot et tal der er knyttet til et bestemt sted eller, hvis der er temperaturligevægt, en genstand. Energien kan ses som en mængde af ”et eller andet” der flyttes rundt fra sted til sted, skifter fra en fremtrædelsesform til en anden osv. Temperatur angiver derimod ikke en mængde af ”noget”.

Temperaturbegrebet og energibegrebet er altså begge, på hver deres måde, meget abstrakte. Dagligsprogets anvendelse af ordene ”varme” og ”temperatur” (”det er varmt i dag”, ”temperaturen er højere end den var i går”, ”pas på, gryden er varm”, ”luk vinduet, varmen slipper ud”, ”luk køleskabet, kulden slipper ud”) afspejler at de eksisterende mentale billeder kun meget ufuldstændigt omfatter begreber der er analoge til fysikkens temperatur- og energibegreb. Og diskussionen af disse fysiske begreber viser hvorfor der kan være endog meget store vanskeligheder forbundet med at tilegne sig dem og forbinde dem på frugtbar måde med eksisterende erfaringer og intuitioner om varme og kulde.

Efter denne gennemgang af de grundlæggende vanskeligheder ved temperatur- og energibegrebet, vil vi se nærmere på betydningen af selve bevarelsesperspektivet i forhold til den indre energi. Ændringer i indre energi udregnes ud fra temperaturændringer. Det er i denne beregning *sammenhængen* mellem temperatur og energi skal findes! Det er denne sammenhæng der er væsentlig forskellig fra de eksisterende (”førvidenskabelige”) mentale billeder. Et billede af energioverførslerne mellem et varmt metallod og vandet i et bæger kan beskrives med følgende beregninger (formler):

$$Q(\text{ind i vand}) = m_{\text{vand}} \cdot c_{\text{vand}} (t_{\text{vandslut}} - t_{\text{vandstart}}) \quad (1)$$

$$Q(\text{ud af metal}) = Q(\text{ind i vand}) \quad (2) \quad (\text{energibevarelse})$$

Her konstaterer vi at energiforøgelsen for vandet kan beregnes ud fra vandets temperaturstigning og at energibevarelse medfører at energiforøgelsen for vandet er lig med energitabet for metallodet.

Da energitabet for loddet desuden kan beregnes ud fra dets temperaturfald (hvis vi kendte metallens specifikke varmekapacitet, c_{metal}), kan vi opstille følgende ligning til bestemmelse af c_{metal} .

$$c_{\text{metal}} = \frac{Q(\text{ud af lod})}{m_{\text{lod}} \cdot (t_{\text{lod}}\text{start} - t_{\text{lod}}\text{slut})} \quad (3)$$

Denne beregning er som sagt baseret på et billede af energimængder der flyttes fra ét system til et andet. Disse tre trin skal forstås sådan at *beregningen* udføres i den rækkefølge. Der er altså ikke tale om en *udledning* af en formel.

Hvis vi går et trin højere op ad abstraktionsstigen, kan vi give afkald på at forestille os energimængder der bevæger sig mellem systemer, og i stedet se på de enkelte systemer: hvordan har systemets energi ændret sig fra ét (indledende) tidspunkt til et andet (afsluttende) tidspunkt? Dette kan udregnes ud fra systemets temperatur på de to tidspunkter, og hvis vi adderer energiforøgelsen (som kan være negativ hvis temperaturen er faldet) for alle systemer i det samlede lukkede system, vil vi kunne sætte summen lig med nul. Og derefter ved ligningsløsning beregne en evt. ukendt størrelse – uanset hvad denne ukendte størrelse måtte være:

$$m_{\text{vand}} \cdot c_{\text{vand}} \cdot (t_{\text{vand}}\text{slut} - t_{\text{vand}}\text{start}) + m_{\text{lod}} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (t_{\text{lod}}\text{slut} - 100^{\circ}\text{C}) = 0$$

Denne mere abstrakte tænkemåde er krævende, men har bl.a. den fordel at proceduren ikke afhænger af om den ukendte størrelse er c_{metal} , som i eksemplet ovenfor, eller f.eks. loddets begyndelsestemperatur eller vands specifikke varmekapacitet c_{vand} . Hvis vi ville bestemme c_{vand} på samme måde som vi ovenfor bestemte c_{metal} , ville regneproceduren blive

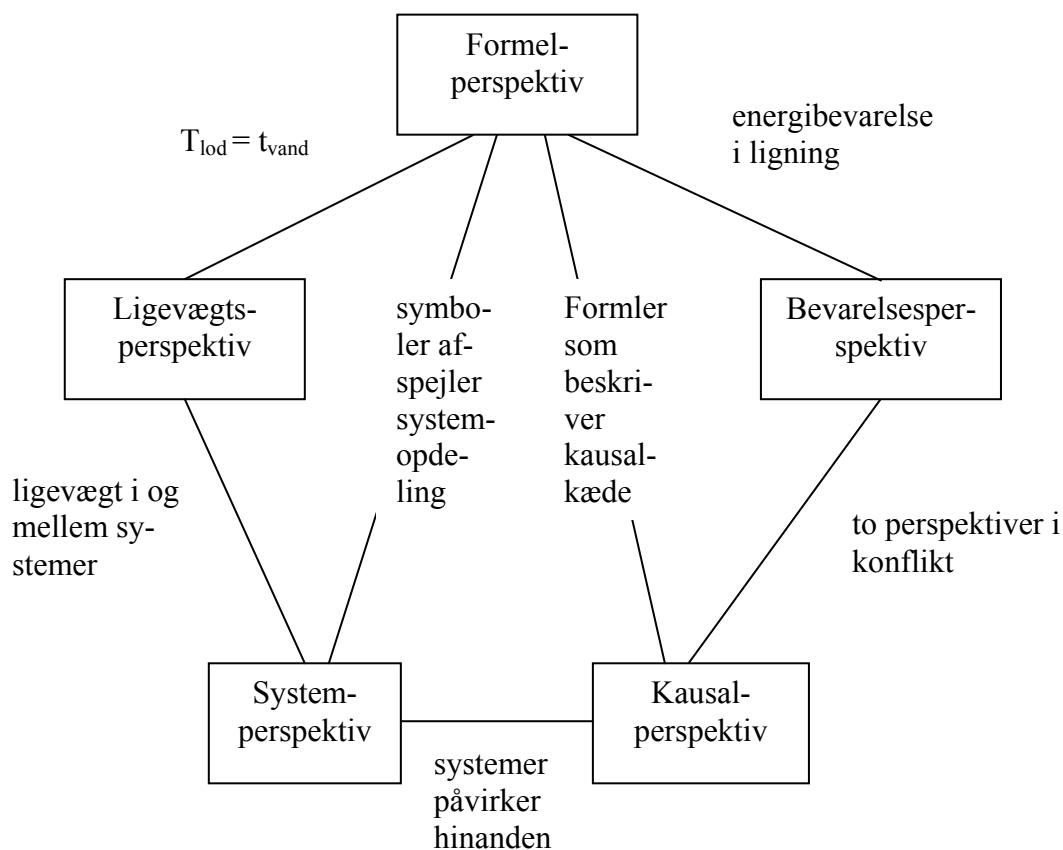
$$Q(\text{ud af metal}) = m_{\text{lod}} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (t_{\text{lod}}\text{start} - t_{\text{lod}}\text{slut}) \quad (1)$$

$$Q(\text{ind i vand}) = Q(\text{ud af metal}) \quad (2)$$

$$c_{\text{vand}} = \frac{Q(\text{ind i vand})}{m_{\text{vand}} \cdot (t_{\text{vand}}\text{slut} - t_{\text{vand}}\text{start})} \quad (3)$$

altså en anden rækkefølge end før i såvel tænkning som beregning. Prisen for at fastholde et mentalt billede af energimængder der flyttes og kan udregnes, er at man muligvis går glip af en forståelse af den *generelle* brug af energibevarelse – og dermed af mulighederne for at løse komplicerede problemer som ellers ville være meget vanskelige at overskue.

14.2 Forbindelser mellem de forskellige perspektiver



Figur 14.1

På figur 14.1 vises de fem perspektiver og de forbindelser mellem dem som det er vigtigt at beherske. Disse forbindelser forklares herunder.

Formel ↔ Ligevægt

En vigtig pointe i opstillingen af de formler og ligninger der skal gøre det muligt at beregne bestemte ukendte størrelser i varmelæreforsøgene, er den at vi kun kan måle visse temperaturer indirekte. F.eks. kan vi ikke direkte måle metalloddets temperatur, men er henvist til at måle temperaturen for noget vand som er i temperaturligevægt med loddet. Når dette skal komme til udtryk i beregningerne, kan det ske på to måder

- man sætter i beregningerne temperaturen for *vandet* ind i stedet for variabelen t_{metal}
- man erstatter i ligningen symbolet t_{lod} med symbolet t_{vand}

Tilsvarende kan man i ismeltningsforsøget erstatte symbolet $t_{\text{smeltevandslut}}$ med symbolet t_{vandslut} . En korrekt brug af ligevægtperspektivet er altså en forudsætning for at kunne reducere det store antal variable i ligningerne.

Formel ↔ Bevarelse

Alle ligninger der skrives op i forbindelse med varmelæreforsøgene er på en eller anden måde baseret på energibevarelse. Enten afspejles energibevarelsen i den måde hvorpå flere formler kombineres (idet forskellige varmemængder der er udregnet på forskellig måde sættes lig hinanden), eller også afspejles den i en eneste ligning hvor f.eks. summen af en lang række led (der står for energitilvækster) sættes lig med nul. Man kan sige at selv om den første måde umiddelbart falder de fleste mere naturligt, er bevarelsesperspektivet her vanskeligere at anvende konsekvent.

Formel ↔ System

Ligningerne der udtrykker energibevarelse, afspejler opdelingen af situationen i delsystemer på to måder: De forskellige *led* i ligningen svarer til de enkelte delsystemer, og hvis man bruger symboler med indices, refererer disse til et bestemt system (f.eks. i leddet $m_{\text{metal}} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (t_{\text{metal}}^{\text{start}} - t_{\text{metal}}^{\text{slut}})$ for systemet "metallod"). Ligningen fremstår som en meget lang og kompliceret ligning med mange sammensatte, og derfor forvirrende, symboler. Det er derfor vanskeligt for elever der ikke har betydelig øvelse i at arbejde med abstrakte formler og symboler, at holde overblikket. En hjælp til at opnå et sådant overblik kan være en sammenknytning af ligningens led med et mentalt billede af de tilsvarende delsystemer.

Formel ↔ Kausal

I valget af den måde hvorpå formlerne sættes op, er det af stor betydning om man vælger den helt generelle anvendelse af energibevarelse som beskrevet ovenfor under gennemgangen af bevarelsesperspektivet (afsnit 14.5), eller om man vælger den trinvis beregning af de "overførte" energimængder. Det sidste vil falde naturligt hvis man ser processerne i et kausalt perspektiv: Vandet bliver varmet op af loddet, dvs. *fordi* loddet afgiver varme til vandet. Man beregner derfor den tilførte energimængde der fremstår som *årsag* til opvarmningen. Den mere generelle brug af energibevarelse forudsætter altså at man kan *frigøre* sig fra en mere kausal tænkning.

System ↔ Kausal

Forbinder vi de to ovenfor beskrevne forbindelser (formelperspektivet med hhv. system- og kausalt perspektivet), ser vi at systemerne kan ses som stående i kausal forbindelse med hinanden på den måde at de "påvirker" hinanden. Igen ser vi at hvor denne forestilling er mere i overensstemmelse med førvidenskabelige billeder, kan den være en barriere i forhold til at opnå et mere abstrakt og generelt billede.

Bevarelse ↔ Kausal

Den afgørende forbindelse mellem disse to perspektiver er i virkeligheden at den kausale tænkning kan siges at stå i vejen for en tænkning der er baseret på bevarelsesperspektivet.

System ↔ Ligevægt

Brugen af systembetragtninger bygger på at hvert system er i termisk ligevægt på de tidspunkter hvor vi fastslår deres temperatur. Ellers giver det ingen mening at tale om systemets temperatur. Dette skal i det mindste *implicit* være klart for eleverne. Er man sig ikke dette forhold bevidst, kan man let blive forvirret af f.eks. temperaturforskelle i vandet, man får vanskeligheder med det *måletekniske* problem, hvor og hvornår en temperatur skal måles.

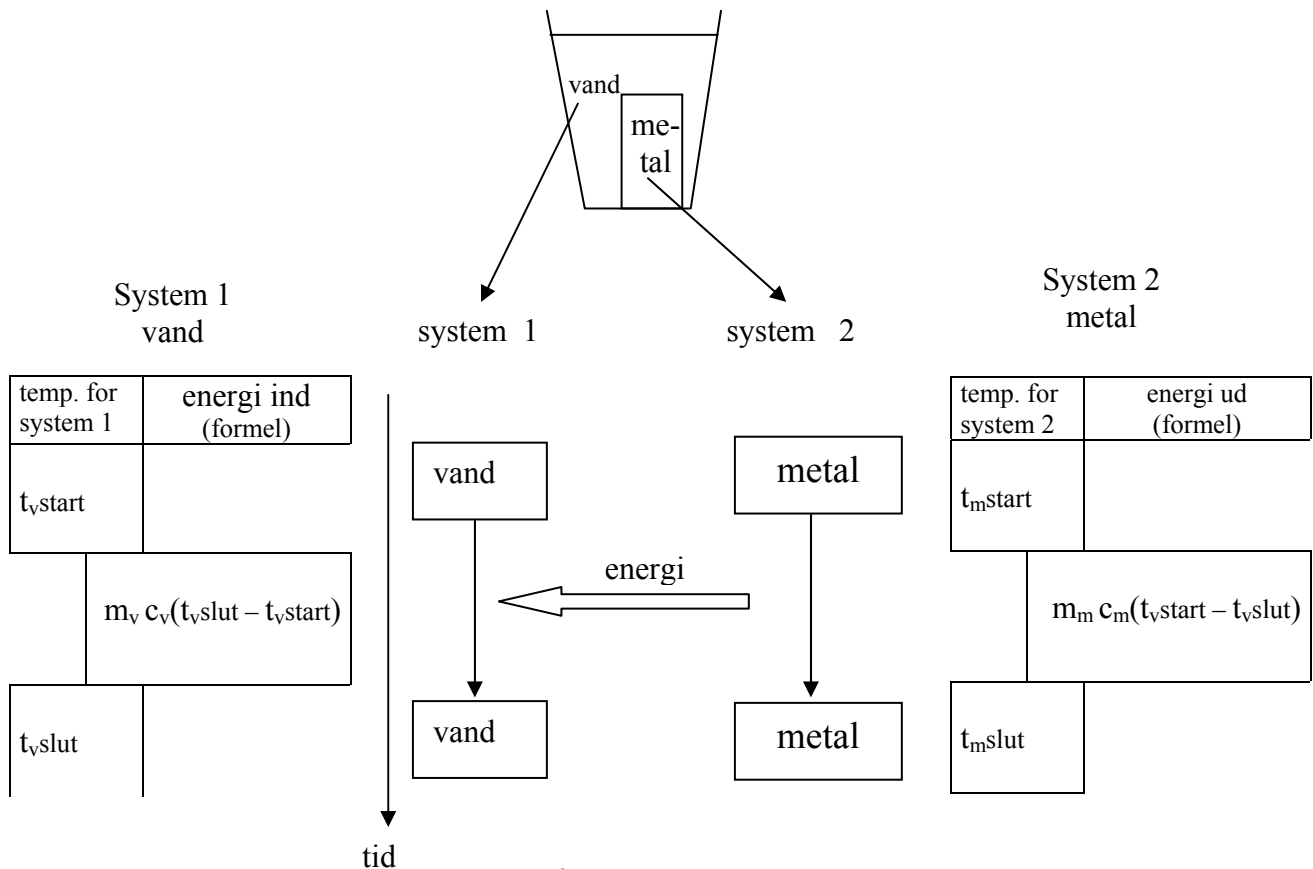
Mens de enkelte systemer skal være i indre termisk ligevægt, både når en proces starter og når den slutter, bygger forsøgene på at de *ikke* er i ligevægt med hinanden når processen *starter*, men er det når den *slutter*. Faktisk defineres processens afslutning ved at der er opnået temperaturligevægt. Dette giver anledning til en ny vanskelighed fordi dette tidspunkt selvfølgelig er meget uklart defineret og temperaturligevægt i det hele taget kun opnås tilnærmelsesvis.

Bevarelse ↔ Ligevægt

Selv om den samlede energi i det lukkede system er den samme til enhver tid, kan princippet kun bruges i forhold til ganske bestemte situationer som vi så kan sammenligne. Disse situationer er dem hvor delsystemerne enten kan betragtes som adskilte og i intern temperaturligevægt, eller hvor de er i indbyrdes temperaturligevægt. Ligevægtperspektivet er altså en forudsætning for overhovedet at kunne anvende bevarelsesperspektivet.

15 Nannas mentale modeller i varmelære

15.1 Analyse af forsøg til bestemmelse af specifik varmekapacitet for et metal



Figur 15.1

Eleverne har fået forsøgsdesignet at vide: Et metallod med opvarmes i kogende vand (bragt i kog ved hjælp af en dyppekoger) til 100°C og overføres derefter til et bæger med vand ved stuetemperatur. Ved hjælp af temperaturmålinger og kendskab til vands specifikke varmekapacitet kan den specifikke varmekapacitet for metallet findes.

Elevernes opgave er nu at *planlægge* og *udføre* et forsøg så de finder metalllets specifikke varmekapacitet. Som hjælp til dannelsen af frugtbare mentale billeder har de fået udleveret ovenstående figur (15.1) *uden* symboler eller formler i kasserne. De skal så selv prøve at fylde kasserne ud. De skal altså kombinere et system- med et formelperspektiv.

Opgaven at bestemme den specifikke varmekapacitet for metallet kan løses på to måder. Begge måder indebærer at man deler det samlede system op i to delsystemer (se figur 15.1). De to delsystemer er

1. det vand der er i bægeret før loddet lægges ned i det
2. metalloddet

Systemperspektivet er altså centralt i denne opgave.

Følgende billeder er mulige:

- a. Det mest abstrakte billede: Vi gør brug af et ligevægtsperspektiv på følgende måde: Vi antager at når loddet har opholdt sig et stykke tid i kogende vand har det en temperatur på 100°C , og at når det har opholdt sig et stykke tid i vandet i bægeret, har det samme temperatur som vandet. Vi skriver derefter energistigningen for de to delsystemer op og bruger energibevarelse.

Energibevarelse betyder at den samlede energistigning er nul:

$$m_{\text{vand}} \cdot c_{\text{vand}} \cdot (t_{\text{vandslut}} - t_{\text{vandstart}}) + m_{\text{lod}} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (t_{\text{lodslut}} - 100^{\circ}\text{C}) = 0 \quad (1)$$

Denne betragtning omfatter et *bevarelsesperspektiv* (energibevarelse) og et *formelperspektiv*.

- b. Det mindre abstrakte billede: Ovenstående ligning indebærer også en forståelse af en fortegnskonvention for energiudtryk: En positiv energitilvækst betyder at systemets indre energi bliver større, en negativ energitilvækst at energien bliver mindre. Dette kan man komme uden om ved (i mere direkte overensstemmelse med figur 15.1) at skrive

$$m_{\text{vand}} \cdot c_{\text{vand}} \cdot (t_{\text{vandslut}} - t_{\text{vandstart}}) = m_{\text{lod}} \cdot c_{\text{metal}} \cdot (100^{\circ}\text{C} - t_{\text{lodslut}}) \quad (2)$$

I det mindre abstrakte billede følges energistrømmene i tankerne, og beregningerne foretages skridtvis i overensstemmelse med dette billede:

Den energi der går ud af vandet er givet ved

$$Q = m_v \cdot c_v \cdot (t_v\text{slut} - t_v\text{start})$$

Metallet modtager altså energien Q som beregnes. Metallets varmekapacitet er nu givet ved

$$C_{\text{lod}} = \frac{Q}{m\Delta T} \quad , \quad \text{hvor } \Delta T = (t_{\text{lodslut}} - t_{\text{lodstart}})$$

15.2 Nannas udvikling af mentale modeller - varmekapacitet

Opgaven for eleverne er at planlægge et forsøg til måling af et metals varmekapacitet.

Nanna diskuterer med S og M. Eleverne diskuterer hvad de skal måle. De slår fast at det er nødvendigt at måle "temperaturstigningen":

Nanna: *OK, så vi skal måle temperatur, ikke. Det er lille t ... eller vi skal måle temperaturstigningen.*

S: *Ja, det må være starttemperaturen minus ...*

Nanna: *Sluttemperatur*

S: *Minus starttemperatur*

Nanna: *Så får vi sådan et delta t ... det trekants t dér*

Spørgsmålet er, hvilken temperaturstigning de tænker på. Den senere dialog tyder på at de i denne fase tænker på en temperaturstigning for loddet. Dette forekommer umiddelbart naturligt da det jo er loddets varmekapacitet der skal findes. I formlerne for varmekapacitet

$$C = \frac{Q}{\Delta T} \quad (1) \quad \text{og} \quad c = \frac{C}{m} \quad (2)$$

indgår også massen:

Nanna: *Mmm, vi skal også måle massen*

M: *Massen af hvad?*

Nanna: *Massen af loddet*

S: *Og vand*

Nanna: *Nej,...*

M: *Det er jo bare for at varme loddet op*

M synes her opmærksom på at massen af det vand der først opvarmer vandet til 100°C, er irrelevant for forsøget i øvrigt. Men dette spørgsmål kommer til at forfølge eleverne.

Den tredje størrelse der indgår i formlerne er energien (Q). Hvordan måler man dén?

Nanna: *Jeg ved ikke, måle altså, vi skal jo også finde ud af Joule, men det er jo mere sådan aflæsning*

[...] *Kan man sige vi skal måle hvor meget energi eller skal vi bare ... skal vi også måle energien eller skal vi bare aflæse ... vi kan jo godt skrive, vi skal jo bruge den i vores beregninger*

S: *Vi aflæser at der står 300 Watt på [dyppekogeren], og så ganger vi den med den tid som vi har ...*

Nanna: *Altså, vi kan skrive varmetilførslen*

M: *Hvad med sådan en øh ... Skal vi ikke også have tid på hvor lang tid vi har gjort det... et stopur eller sådan noget?*

Nanna: *Jo, vi bliver jo nødt til at have et ur ind i det hvis vi skal vide hvor lang tid der [...] Så skal vi vel også måle sekunder ... eller tid, ikke, altså ... tid, det er store T, ikke?*

”Finde ud af Joule”. Her ser vi problemet med at identificere og skelne mellem størrelser der måles direkte og størrelser der ”måles” indirekte, altså beregnes ud fra målte størrelser. Men her synes Nanna at mene at man kan ” aflæse ” energien. Tænker hun på dyppekogeren? S’s bemærkning om de 300 W (dyppekogereffekt), som Nanna ikke protesterer mod, kunne tyde på det.

M og Nanna er enige om at der skal måles en tid. De har tilsyneladende et billede af at loddet får tilført energi, formentlig fra dyppekogeren, og denne energi skal så på en eller anden måde benyttes til at finde varmekapaciteten. Dette bekræftes i den følgende dialog. Nanna prøver at forklare S at hvis formel (1) på forrige side *(definitionen af varmekapacitet) skal bruges til at bestemme varmekapaciteten, så kræver det en uafhængig bestemmelse af Q . Hun har ikke i øjeblikket et samlet billede af forsøget og mener derfor at denne uafhængige bestemmelse må hidrøre fra opvarmningen med dyppekogeren (som selvfølgelig er helt uafhængig af den søgte varmemængde Q).

Nanna: *[...] den hedder Q divideret med delta T er lig med C , [ligning (1)...]. Men hvis vi skal udregne Q , så skal vi finde ud af hvor mange Joule der er tilført, ikke, og hvis vi ved at den bruger 300 W, så betyder det at den får 300 W i sekundet, og så ganger vi det med det antal sekunder den er tændt. Så Q , den udregner vi ved tid i sekunder gange med Watt ... det er effekten, ikke.*

S: *Jeg tror ikke at jeg forstår det*

Nanna: *[...] C det er den vi skal regne ud ved hjælp af Q . Vi kender ikke C endnu. Vi er nødt til at kende Q som tal først.*

S: *Den regner vi ud ved at sige dividere*

Nanna: *Q regner vi ud ved ... C den regner vi ud ved at finde Q . Så vi er nødt til at finde Q på en anden måde. Prøv at se her. Hvis vi har det her: Den dér[C] kender vi ikke, og den dér[Q] kender vi ikke. Det eneste vi kender er denne her[ΔT]. Og så kan vi ikke regne det ud, når vi har to ubekendte. Men [...] ... vi kan finde Q på en anden måde, ved at vi ved, Q det er bare hvor mange Joule vi ligesom propper ind i det.*

S: *Ligesom sidst ... altså ikke nu, men altså når vi har taget tiden*

Nanna: *Ja. Men vi bliver nødt til først at finde Q . Vi kan ikke bruge den der formel til at finde Q med, fordi vi skal først finde Q før vi kan finde C [...]*

Nanna har en klar bevidsthed om at Q både kan findes ud fra varmekapacitet og temperaturstigning og ud fra tilført effekt og tid. Da Q skal være kendt i (1) på forrige side, kan vi ikke bruge (1) til at finde Q . Q skal findes ”på en anden måde”.

Disse forestillinger synes at bygge på ideen om at opvarme metalloddet med en kendt mængde energi. Imidlertid er der en uoverensstemmelse mellem denne ide (som næppe kan realiseres) og forslaget om at varme loddet op til hundrede grader i kogende vand, og derefter sænke det ned i koldt vand. Desuden: En dyppekoger kan jo kun bruges til opvarmning af loddet hvis noget vand, hvori metalloddet befinder sig, varmes op ved hjælp af dyppekogeren.

Problemet er at Nanna har et billede af situationen som er styret af definitionerne (et formelperspektiv), og hun er endnu ikke i stand til at forbinde dette billede med konkrete operationer der kan til-

vejebringe de størrelser hun skal bruge. Hendes fænomenperspektiv, eller forestillinger om den eksperimentelle situation, er ”abstrakt” i den forstand at de blot synes at udgøre en illustration af de teoretiske definitioner eller formler. (1. model).

Nanna opdager nu at ideen er at lade loddet opvarme noget vand – men hun forstår ikke denne ide. Hun sidder fast i forestillingen om at loddet skal have tilført energi:

Nanna: [...] *Vi skal beskrive vand og metal som to-opdelt system, og så skal man forklare hvordan energien kommer fra det ene til det andet. Jeg synes bare, er den der pil ikke forkert? For energien går da ikke fra metallet til vandet*

M: *Det er efter vi har varmet den der op til hundrede grader. Så stiller vi den ind i vandet, ikke. Og så skal metallet varme vandet op.*

[...]

Nanna: *Det er jo ikke meningen. Vi skal jo varme vandet op så metallet bliver hundrede grader*

[...]

S: *Han sagde vi skulle sætte det ned i et bæger med vand*

M: *Det er jo det, vi kan jo ikke varme metallet op på andre måder end at stille det i et bæger med vand, og så koger vandet, ikke, og derfor så er metallet varmt. Så kan vi putte det ned i det andet vand hvor den så varmer vandet op.*

M har forstået pointen: Loddet sættes i kogende vand for at vi kan bruge temperaturen på 100°C som starttemperatur. Men det har Nanna ikke:

Nanna: *Og hvad skulle formålet så være med det?*

M: *Jeg forstod det sådan, i hvert fald.*

Nanna: *Det tror jeg altså ikke ...*

M: *Fordi sådan fører vi energien fra metallet til vandet, ikke*

Nanna: *Jo, men hvorfor skulle vi gøre det? ... Vi skal jo finde metallens varmekapacitet og ikke vandets*

M siger ”energien fra metallet til vandet”. Nanna er bundet af at hun forbinder definitionen af varmekapacitet (”den energi der skal tilføres legemet for at opvarme det én grad”) med et billede af energi der bevæger sig ind i det legeme hvis varmekapacitet skal findes.

Nanna er til sidst nødt til at spørge læreren som bekræfter M’s beskrivelse (2. model):

Nanna: [...] *vi skal gøre sådan som M sagde med at varme metallet op i et glas med vand og så sænke det over i et andet glas med vand og se hvor meget energi det overfører til ...*

[...] *Så det vil sige at først så har man varmet et metal ... altså, et opvarmet metallod sænkes ned i vand, ikke, og ud fra at man så ... så kan man sige..*

[...]

Nanna: *Jamen, det jeg ikke forstår, det er at [...] det dér som hele tiden er problemet, ikke, det er at vi ikke kan finde ud af hvor varmt metallet er, uden at ... bare ved at måle på den, ikke ... altså, vi er nødt til at gøre noget ned i noget vand, eller et eller andet..*

S: *Hvis det har været nede i fem minutter, så er det hundrede grader*

Nanna: *Ja, men vi kan ikke bare måle på metallet som sådan, vel?*

Nu har Nanna imidlertid problemer med temperaturmålingerne. De bygger på ideen om temperatur-ligevægt, og dette ligevægtsperspektiv har hun vanskeligheder med at anlægge. Hun og S har forstået ideen med at bruge 100 grader (vands kogepunkt) som starttemperatur:

Nanna: *[...] Først så koger man vand med metal ned i, sådan så metallet får en vis temperatur, hundrede grader f.eks., og så sænker man det ned i det der vand, og så skal man finde ud af hvor meget energi metallet så overfører til vandet*

S: *Så må temperaturen i starten for metallet være hundrede grader, hvis det er fra vi putter det ned i nyt vand. Bagefter så..*

Nanna: *Men hvordan finder vi så sluttemperaturen?*

S: *Det må være det vi skal måle os til ... det kan vi jo ikke sige endnu*

Nanna: *Nej, men jeg forstår fandeme ikke det dér ...*

Nanna: *Så skal vi finde ud af hvor meget energi der så er overført til vandet ... det finder vi så ud af ved at se ... Nej! ... Jo, det finder vi så ud af ved at se hvor meget er temperaturen steget. Så kender vi vands varmekapacitet, og [...] Så ved vi hvor meget energi der er gået ud af metallet, over et vist tidsrum.*

S: *Og vi bestemmer tidsrummet ...?*

Nanna: *Så kan man så beregne varmekapaciteten ... sådan må det være. Altså ...*

S: *Og vi bestemmer selv tidsrummet ...?*

Nanna har nævnt tiden ("over et vist tidsrum") og det forvirrer tydeligvis S (med god ret). Eleverne har lige diskuteret nødvendigheden af at kende et tidsrum for at beregne hvor meget energi dyppekogeren leverer. Men Nanna hører slet ikke efter, hun er helt opslugt af sit arbejde med at få en sammenhængende forståelse af måleprocessen:

Nanna: *Ja. OK, vi kender metalllets temperatur, vi siger det er hundrede grader, fordi vi har varmet det op et eller andet sted. Så propper vi det ned i her. Så stiger vandets temperatur fra et eller andet – tyve grader måske – til et eller andet, ikke. Så ved vi hvor meget temperaturstigningen er, ikke, det er den dér ... ja. Og vi kender også vands varmekapacitet, ikke. Fordi der står at vi må bruge bogens værdi for varmekapacitet. Den er 4,18 eller sådan noget. Og den ganger vi så med den der temperaturstigning ... nej, det gør vi ikke ... jo, det gør vi. Og så finder vi ud af hvor meget Q er. Så finder vi ud af hvor meget energi er der overført fra metallet til vandet.*

[...]

Nøglen til forståelsen er den indsigt at den energi der går ud af metallet er lig den der er gået ind i vandet. Dette kan i beregninger give nogle problemer med fortegn som Nanna er særlig opmærksom på fordi hun har været fikseret på at energien skulle gå ind i det objekt der skal undersøges:

Og den energi er så gået ud af metallet. Og så må man på en eller anden måde regne med nogle negative værdier eller et eller andet.

[...]

Så ved vi hvor meget Q der er gået ud af metallet. Så det vil sige, det bliver sådan set det omvendte ... eller hvad? I stedet for at finde ud af hvor meget energi der bruges, eller ... der kommer ind i metallet, så finder ud af hvor meget det kan gi' der går ud ... [...] men vi kan i hvert fald regne vands ... altså, vi kan i hvert fald bruge det til et regne ud hvor meget energi der bliver proppet fra metallet over i vandet ... eller hvor meget energi der går ud af metallet.

(3.model)

Nanna er muligvis ikke helt på det rene med at temperaturfald og mistet energi hænger sammen præcis som temperaturstigning og tilført energi. Hun har fået en god forståelse af energibevarelsen, men har svært ved at forbinde denne forståelse sikkert med formlerne.

Nanna: [henvendt til VS:]*Hvordan finder vi ud af ... hvis vi finder ud af hvor meget vandets temperatur stiger, ikke ... eller finder ud af hvor meget energi der er overgået fra metallet til vandet, hvordan skal vi så bruge [den værdi]? ... så bliver det jo en negativ værdi ... kan man godt bruge det tal?*

Et andet problem for eleverne er at de skal skelne mellem C og c (varmekapacitet og specifik varmekapacitet). Det afgørende her er der er tale om en skelnen mellem en ekstensiv og en intensiv variabel: Hvilken størrelse er knyttet til den konkrete genstand, og hvilken er knyttet til stoffet?

S: *Der kan vi jo bare skrive Q er lig med C gange m*

Nanna: *Det er fordi det der er lille c , og det der, det er store C .*

VS: *Og så kan I overveje: Kender I store C ?*

Nanna: *Jamen vi kender store C her fordi, den har vi fået at vide, den [...] slå op i vores bog*

VS: *Nej, det er lille c , ikke, fordi det er den I kan slå op i en bog. Men store C kan du ikke slå op i en bog. Fordi det afhænger af hvor meget vand du har, ikke?*

Nanna: *OK, det er kun den specifikke varmekapacitet for vand, OK*

Eleverne forstår tilsyneladende den afgørende skelnen. Men det giver problemer fordi formlerne bliver så generelle:

S: *Jamen, så er denne her side vel egentlig rigtig nok: Q er lig med c gange m gange delta temperatur. Så er den der side rigtig nok.*

Nanna: *Var den det? OK*

...

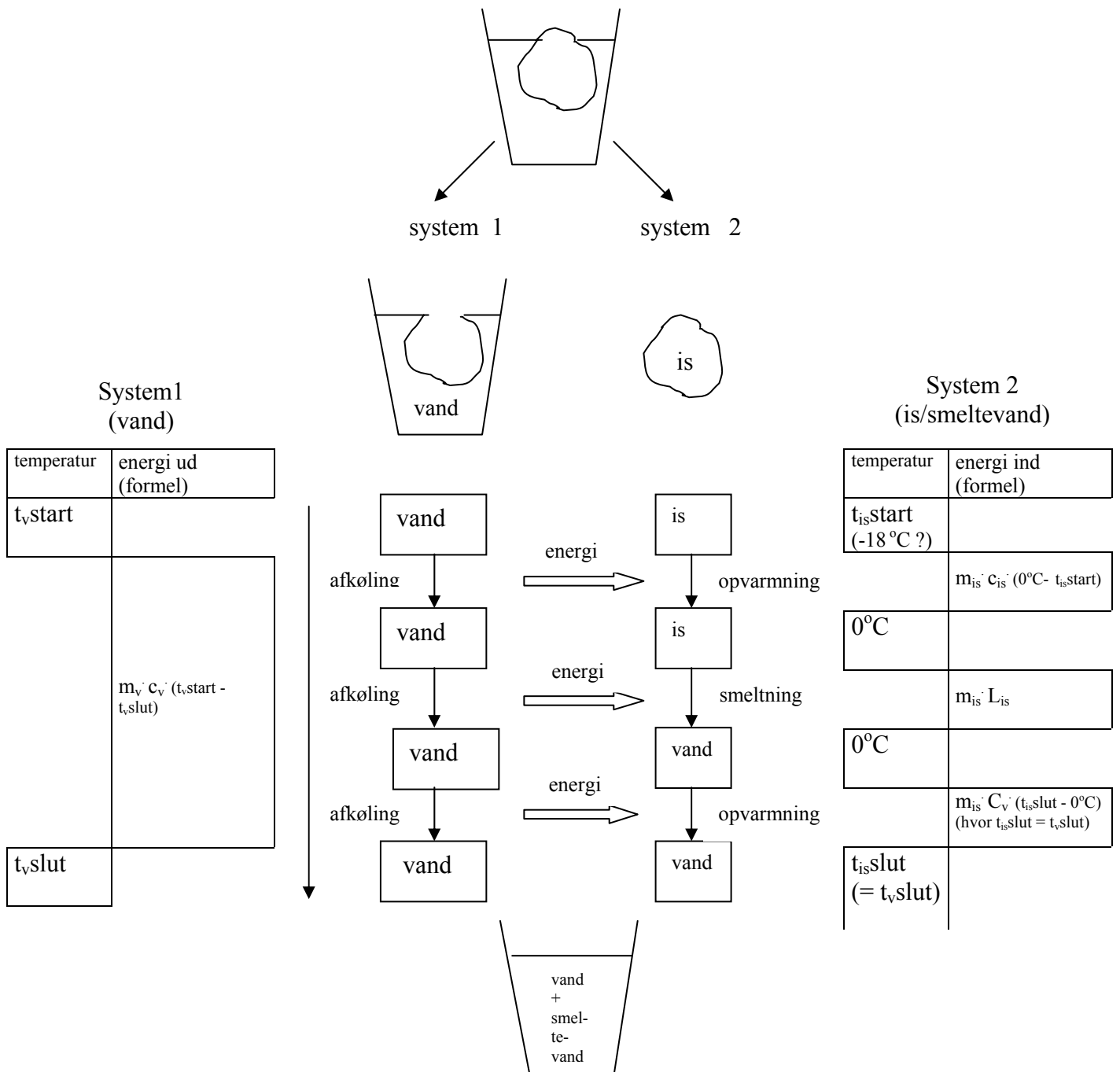
Nanna: *Men herovre, der er det forkert, fordi vi skulle finde ud af energien, og nu regner vi den specifikke varmekapacitet ud, ikke? Så den skal faktisk ændres.*

S: *Ja.*

Nanna: *Men det er bare det, så er det præcis den samme formel som der står derovre.*

Den *generelle* formel for den tilførte energi, $m \cdot c \cdot \Delta T$, er den samme på begge sider af ligningen. Formlen, taget fra bogen, giver *ikke* mulighed for at angive information om hvilket stof vi kigger på. Formlen er altså abstrakt i dobbelt forstand som allerede omtalt i afsnit 14.1: Den består for det første af bogstaver der står for tal (vi kan kalde det abstraktionsniveau 1), men bogstaverne skal også kunne erstattes af forskellige andre symboler med en mere specifik betydning (abstraktionsniveau 2), symboler der så selv repræsenterer abstraktionsniveau 1.

15.3 Analyse af smelteforsøget



Figur 15.2

Eleverne skal i denne opgave planlægge og gennemføre målinger så de kan bestemme smeltevarmen for is. De får igen som hjælp til dannelsen af mentale billeder figur 15.2 uden formler i kasserne og skal selv udfylde kasserne.

Ligesom i tilfældet med metalloddet kan den opgave at bestemme smeltevarmen for vand løses på to måder. Begge måder indebærer at man deler det samlede system op i to delsystemer. De to delsystemer er

1. det vand der er i bægeret før isklumpen lægges ned i det
2. isklumpen

Det er vigtigt her at forstå system som ”en bestemt del af det stof der er i verden”, eller ”en bestemt samling atomer”. Isklumpen udgør altså stadig det samme system efter at den er smeltet, som nævnt i afsnit 14.2. Denne opdeling er nødvendig fordi vi kun kan holde rede på energistrømmene, f.eks. energistrømmen fra det oprindelige vand, hvis vi mentalt fastholder at dette delsystem som adskilt fra resten, også selv om det efterhånden blandes med smeltevandet fra isen. *Systemperspektivet* er ligeså vigtigt som i den forrige opgave, samtidig med at det er vanskeligere at fastholde.

De mulige billeder er:

- a. Det mest abstrakte billede: Vi gør os overhovedet ingen tanker om hvad der sker efter at vi har lagt isklumpen ned i vandet. Vi konstaterer blot at der efter nogen tid er kun vand i bægeret, og at temperaturen er den samme overalt i dette vand. Vi skriver derefter energistigningen for de to delsystemer op og bruger energibevarelse.

Energibevarelse betyder at den samlede energistigning er nul:

$$m_{is} \cdot c_{is} \cdot (0^{\circ}\text{C} - t_{is, \text{start}}) + m_{is} \cdot L_{is} + m_{is} \cdot c_v \cdot (t_{is, \text{slut}} - 0^{\circ}\text{C}) + m_v \cdot c_v \cdot (t_{v, \text{slut}} - t_{v, \text{start}}) = 0 \quad (1)$$

Denne betragtning omfatter et *bevarelsesperspektiv* (energibevarelse) og et *formelperspektiv*. Desuden skal det bemærkes at det er centralt at der er massebevarelse ved smeltning, altså også et *bevarelsesperspektiv*. Dette er ikke uden betydning, fordi begreberne ”stof” og ”masse” ofte blandes sammen og bruges i flæng (Newton selv synes at have gjort det, jvf. afsnit 3.5.2). Formentlig er *dagligsprogets* brug af ordet ”masse” mindre beslægtet med *fysikkens* massebegreb end ordet ”vægt”.

- b. Det mindre abstrakte billede: Ovenstående ligning indebærer ligesom i metallodsopgaven (afsnit 15.1) en forståelse af en fortegnskonvention for energiudtryk: En positiv energitilvækst betyder at systemets indre energi bliver større, en negativ energitilvækst at energien bliver mindre. I mere direkte overensstemmelse med figuren kan vi så skrive

$$m_{is} \cdot c_{is} \cdot (0^{\circ}\text{C} - t_{is, \text{start}}) + m_{is} \cdot L_{is} + m_{is} \cdot c_v \cdot (t_{is, \text{slut}} - 0^{\circ}\text{C}) = m_v \cdot c_v \cdot (t_{v, \text{start}} - t_{v, \text{slut}}) \quad (2)$$

Skjult i den første del af ligning (1) (de tre første led på venstre side) og hele venstre side af ligning (2) ligger der imidlertid et lidt mere konkret (men til gengæld kontraintuitivt) billede af en isklump der først opvarmes til 0 grader, derefter smelter ved konstant temperatur, hvorefter smeltevandet opvarmes fra 0 grader til sluttemperaturen $t_{is, \text{slut}}$. Det sker selvfølgelig ikke i denne rækkefølge i virkeligheden, fordi noget af smeltevandet opvarmes før hele isklumpen er smeltet, men det er nærliggende at danne et billede der afspejler de forskellige led der står i ligningen.

Dette kan muligvis både være en fordel og et problem. Fordelen ligger i at forbinde formel- og systemperspektivet frugtbart til et sammenhængende og brugbart mentalt billede. *Problemet* ligger i at

man tvinges til at danne sig en mental model der i en række henseender er i åbenlys strid med det der faktisk sker. Vi kan jo tydeligt se at der bliver stadig mindre is.

Hvis vi lige vender tilbage til metalloddet (afsnit 15.2), så kunne beregningen for metallet forløbe således: Den energi der går ud i vandet er givet ved

$$Q = m_v \cdot c_v \cdot (t_v\text{slut} - t_v\text{start})$$

Metallet modtager energien Q som beregnes. Metallets varmekapacitet er derefter givet ved

$$C_{\text{lod}} = \frac{Q}{m\Delta T} \quad , \quad \text{hvor } \Delta T = (t_{\text{lodstart}} - t_{\text{lodslut}})$$

Vi kunne altså i hvert skridt beregne en talværdi som i en simpel ligning kan bruges til at regne den næste størrelse ud.

Denne metode – at regne en talstørrelse ud og så bruge denne direkte til at regne en ny størrelse ud – er langt mere kompliceret i tilfældet med smeltevarme, fordi energien fra vandet fordeler sig på tre forskellige ”opgaver”: Opvarme isen til nul grader, smelte isen og opvarme smeltevandet – og vi ved ikke på forhånd hvordan energien fordeler sig på disse opgaver. Vi er nødt til at tænke ”baglæns” i stedet for ”fremad”: Til at opvarme isen og smeltevandet kræves så og så meget energi. Da der var en bestemt mængde energi til rådighed (den der kommer fra det ”oprindelige” vand), kan vi subtrahere og deraf slutte hvad der må have været til rådighed for isen. Vi får altså en lang kæde af beregninger, hvor det andet led kræver en del omtanke at komme frem til:

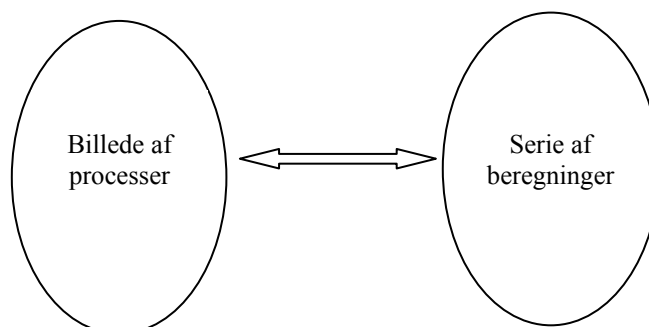
$$Q_1 = m_v \cdot c_v \cdot (t_v\text{slut} - t_v\text{start}) \quad \text{energien fra vandet}$$

$$Q_2 = m_{\text{is}} \cdot c_{\text{is}} \cdot (0^\circ\text{C} - t_{\text{isstart}}) + m_{\text{is}} \cdot C_{\text{vand}} \cdot (t_{\text{is}}\text{slut} - 0^\circ\text{C}) \quad \text{energi til opvarmning af is og smeltevand}$$

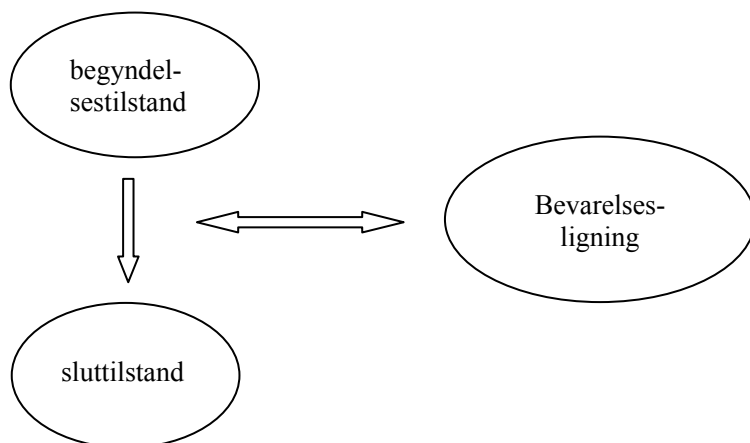
$$Q_3 = Q_1 - Q_2 \quad \text{energi til smeltning af is}$$

$$L_{\text{is}} = \frac{Q_3}{m_{\text{is}}}$$

Den mere abstrakte metode – at skrive den samlede energibevarelsesligning op (ligning (1) eller (2)) og så løse denne ligning med hensyn til den eneste ubekendte, L_{is} , kan altså let blive at foretrække. Det kan imidlertid kræve at man helt giver afkald på at foretage sine *beregninger* på en måde der umiddelbart korresponderer med ens mentale billede af de *processer* man prøver at beskrive. Hvis forestillingen om de enkelte trin i energioverførelsen kan siges at udspringe af et *kausalt perspektiv*, er kravet altså at man i et vist omfang afkobler formelperspektivet fra kausalt perspektivet og i stedet knytter det nært til *bevarelsesperspektivet*. Man går altså fra en tænkning der kan illustreres ved



til en mere overordnet (mere abstrakt) betragtningsmåde:



15.4 Nannas udvikling af mentale modeller - smeltevarme

Nanna diskuterer forsøget hvor de skal måle smeltevarmen for is med S. De gennemfører først et pilotforsøg for at få en fornemmelse af hvad der sker og hvad de skal måle.

Nanna har på et meget tidligt tidspunkt i processen en fornemmelse for de delsystemer og for de delprocesser der indgår i problemet:

Nanna: ... ”det er det dér system, eller det er den dér afdeling og det dér den afdeling, og de tre afdelinger de skal plusses ... og L, den ved vi sådan set ikke hvad er”

Hun er bl.a. helt på det rene med at L (smeltevarmen) er den ubekendte i problemet.

I deres pilotforsøg støder eleverne hurtigt på nogle praktiske (måletekniske) problemer. For det første: Hvad er egentlig ”sluttemperatur”? Når isen er smeltet begynder temperaturen at stige, så de skal følge temperaturen og vælge den laveste værdi:

Nanna: *Nej, hvorfor begynder temperaturen pludselig at stige?*

S: *Det er fordi vi lige har rørt rundt..*

Nanna: *Ja, det er det... nu falder den igen*

Senere stiger temperaturen igen, og Nanna er klar over at det er ”fordi der begynder vel at komme energi fra omgivelserne”, men forholdet volder lidt problemer.

For det andet: Hvordan kan vi fastslå isterningens masse? Elevernes forslag er at man vejer den direkte.

S: *Ja .. mål isterningen, måske*

Nanna: *Vej isterningen, jah ...Vej isterningen og put den straks derefter i vandet, ikke.*

S: *Mål temperatur...*

Nanna: *Vent til isterningen er smeltet...eller hvad ... notér den lav.. eller observer, hvad hedder det, hold øje med temperaturen, noter den mindste temperatur indtil ... som forekommer mens isen smelter, ikke?*

Nanna overfører sine indsigter fra forsøget med bestemmelse af varmekapaciteten for metalloddet til situationen med is:

Nanna: *Nej, men prøv at se her, sådan som jeg ser det, så er det at vi skal lave præcis det samme som vi gjorde med det andet [metalloddet], ikke? Altså, vi skal finde ud af hvor meget energi det koster at få det her til at smelte, ikke. [...] Vi har to systemer. Vi putter noget is ned i her, og så finder vi ud af hvor meget temperaturen er her inden vi putter det ned i, og så finder vi ud af hvor meget temperaturen så er, når alt, når det hele er smeltet, ikke, og så ganger vi det så med varmekapaciteten for vand, og vi ganger med massen af det vand vi har puttet ned i. Så finder vi ud af Q, ikke, det er den der formel dér. [...] som med metal, ikke*

Her kommer så en indvending. Der er en forskel i forhold til metalforsøget: Nu falder vandets temperatur nemlig i stedet for at stige:

S: *Jamen, hvorfor skal det ikke være omvendt, når det nu er at vi er i det ... nu går det jo bare nedad, nu bliver temperaturen jo mindre.*

Nanna: *Jo, jo, men det gør jo ikke noget, for vi tager bare altid den numeriske værdi af det der temperatur, altså, det der delta t, det er bare den numeriske værdi, lige meget om det er plus eller minus.*

Nanna svarer at man bruger numerisk værdi af temperaturstigningen. Det er rigtigt, men viser at hun ikke bruger fortegn til at holde styr på energistrømmene!

Nanna har en klar fornemmelse af energibevarelse og forstår at den energi vandet har mistet, må være modtaget af isklumpen:

Nanna: *Den energi, det må jo så være den som er gået ind i isen på en eller anden måde, ikke*

Nu kommer imidlertid den store vanskelighed: Hvordan skal den energi isen modtager, skrives op? Hvad er det for noget med at smeltevandet fra isen *adskilles* fra det vand der var der i forvejen? Nannas mentale billede af processen er endnu ikke tilstrækkeligt til at være brugbart når energiregnskabet skal skrives op.

Nanna: *... jeg forstår ikke denne her deling ... opdeling*

Analogien til forsøget med metalloddet begynder at bryde sammen, bl.a. fordi smeltning (en faseovergang) er noget andet end opvarmning:

Nanna: *... vent lidt, hvordan er det nu med smelteformel ... er det ikke det samme som varmekapacitet [kigger i bogen] Nej, det er det jo ikke helt. [...] Det er L vi skal finde. L_{is} . Men så er det måske ikke helt det samme vi kan gøre der.*

Nanna er usikker på om hun direkte kan anvende metoden fra forrige forsøg – eller om der er en forskel. Der *er* transfer af ideer – dog ikke på en måde så de operationer der skal udføres, anvendes direkte. Hun kan bruge de samme grundlæggende principper til at finde ud af hvor meget energi vandet i bægeret har mistet, og dette informerer hende så om hvad ”issystemet” (i den samlede proces) modtager. Det nye, og dermed vanskeligheden, ligger i at forstå udviklingen af ”issystemet” i dets forskellige faser.

Nanna finder ud af at formlen for den energi der bruges til smeltning adskiller sig fra formlen for opvarmning. Men forsøget på direkte at overføre metoden fra forrige forsøg til den smeltende isklump fører til at hun vil bruge den energi vandet i bægeret har mistet, til at beregne smeltevarmen – uden at tage hensyn til at der bruges energi, først til opvarmning af isen og så til opvarmning af smeltevandet.

Nanna: *[...] herovre, dér bruger vi massen her til at finde ud af ... dér ganger vi den med vands varmekapacitet. ... OK, dér bruger vi varmekapaciteten og massen og temperaturforandringen til at finde ud af hvor meget energi der ligesom er gået ud af, ikke.*

S: *Og så har vi allerede fundet ud af ... så skal vi dividere den med massen ... hvilken masse?*

Nanna: *Det må så være isens masse, jo. Fordi det er isen der smelter.*

S: *Ja, men det smelter ud i alt det andet*

Nanna: *[...] Altså fordi isens smeltevarme, det er et mål for hvor meget energi det koster at smelte ét kilo, ikke, af det her vi nu skal smelte. Det er is vi skal smelte.*

Eleverne bliver gjort opmærksomme på at der i beregningerne skal indgå et led hvori isens masse og specifikke varmekapacitet indgår (svarende til opvarmning af isen til smeltepunktet), men de forstår ikke hvorfor.

Nanna: *Men hvorfor den der, det forstår jeg ikke helt ...*

S: *Gange c af is*

Nanna: *Det er den specifikke varmekapacitet af is. Kender vi den? Det gør vi da ikke..*

S: *Det kan være vi skal regne den så*

Nanna: *Jo, den har vi her ... Men jeg forstår ikke hvad vi skal bruge den til, [...] egentlig*

S: *Vi ganger massen af is...*

Nanna: *Jeg kan ikke rigtig se at vi skal bruge den der til noget, egentlig. ... Eller også gør vi bare det hele forkert ... det ved jeg ikke. Har vi overset noget?*

Nannas mentale billede er på dette stadi følgende: Isen smelter, det kræver energi. Denne energi overføres fra vandet som derfor får en lavere temperatur. Hun ser altså to processer: smeltning af is og afkøling af vand. Hun adskiller nok de to systemer, is og vand, men hun ser tilsyneladende ikke smeltevandet som en vandmængde hvis skæbne vi kan reflektere over – den kan f.eks. opvarmes. Når isen er smeltet er den smeltet. Det er usikkert om hun opfatter isen som ”forsvundet” (i den betydning, at nu er der ikke mere ”isklump”, og det delsystem som var isklumpen, figurerer derfor ikke mere), eller om den er ”smeltet ud i vandet” (som eleverne formulerer det) og derfor skal behandles som en del af det vand der var der i forvejen. Det bliver i hvert fald i den følgende dialog mere og mere tydeligt at Nannas systemperspektiv er mangelfuldt.

Nanna: *[...] vi putter en klump is ned i noget vand, ikke? Så sker der det at vandet varmer isen op, fordi vandet er varmere [...] Så der går energi fra vandet over til isen. Og energien fra vandet, og energien fra vandet, den må vi regne ud som, som sådan der, ikke?*

S: *Ja*

Nanna: *Ja. Og det må så være den samme som der er gået over i isen. Men hvis vi ved hvor meget der er gået over i isen for at få det til at smelte, så kan vi vel bruge den der formel til at regne ud hvor meget ...*

Nannas billede synes altså at være dette: Hun kan se at vandet mister energi. Ligesom i forsøget med metalloddet, hvor denne energi bruges til at opvarme loddet så hun kan finde varmekapaciteten, bruges den her til at smelte isen så hun kan beregne smeltevarmen.

Hun har ikke endnu et billede af hele den komplicerede proces fra isen lægges i vandet og til smeltevandet er varmet op til fællestemperaturen. Hun tænker måske slet ikke på at isen kun kan smelte ved en bestemt temperatur. Billedet af temperaturkurven for isen der opvarmes og derefter smelter ved konstant temperatur (den kurve hun har set i en tidligere fysiktime!), skal pludselig aktiveres i forhold til en situation hvor den *observerede* temperatur af vandet i bægeret ikke på noget tidspunkt er konstant. Det er hun ikke i stand til.

Læreren hjælper nu eleverne til at danne billedet af processen som sammensat af flere adskilte trin. Han prøver så at sige at plante et bestemt mentalt billede hos eleverne. Dette er som tidligere diskuteret et helt abstrakt billede, der adskiller sig meget fra den faktiske proces, og som kun kan bruges fordi *energiændringerne* i den ”virtuelle” abstrakte proces og i den ”virkelige” proces antages at være ens. Læreren forklarer sammenhængen, og Nanna går nu i gang med at opbygge det mentale billede af en proces i tre faser. Det er ikke helt let:

Nanna: *Ja. Men hvad ... ja. Det sidste led er vel egentlig lige meget hvis vi bare skal finde smeltevarmen. Eller vi kan jo nøjes med at slutte forsøget når vandet er smeltet ... eller, når isen er smeltet.*

Tages billedet alvorligt er det jo rigtigt, som Nanna bemærker, at den sidste del af processen (hvor smeltevandet opvarmes) er irrelevant i forhold til det problem at finde isens smeltevarme. Det kræver bare at hun kan fastslå det *tidspunkt* hvor isen er smeltet – og så måle vandets temperatur på dette tidspunkt. Hun har ikke gjort sig klart at processerne er tidsligt ”blandet sammen”. Og hun forstår endnu heller ikke at det vand hvis temperaturhun ønsker at måle slet ikke er i temperaturligevægt, så ”temperatur” her slet ikke giver mening. Nu har hun altså brug for *både* at have et billede af den ”virtuelle” proces i tre faser *og* et (mindre detaljeret) billede der er nærmere ved den faktiske proces. Og hun skal så kunne *forbinde* de to billeder.

Tankegangen bag brugen af bevarelseslove: at vi ikke kender processerne i detaljer, men kan sammenligne en simpel starttilstand med en simpel sluttilstand, er svær for Nanna at forstå og blive fortrolig med.

Men hendes spørgsmål viser til gengæld at hun nu, i modsætning til hvad der før var tilfældet, har fået en forestilling om flere separate faser i processen, nemlig en smeltefase og en opvarmningsfase (for smeltevandet). I arbejdet med at opbygge et brugbart mentalt billede bliver denne forestilling imidlertid en hæmsko. Efter en længere forklaring hvor læreren bl.a. siger:

Lærer: [...] *Noget af det smelter og bliver til smeltevand og begynder at varme op, mens der er noget andet der slet ikke er smeltet endnu*

siger Nanna stadig:

Nanna: *Kan man ikke bare vente til man kan se at al isen er smeltet?* [dvs. (må man formode at Nanna mener): ”endnu ikke opvarmet”]

Hvor Nanna tidligere opfattede smeltningen som én elementær proces (fra isklump til opvarmet smeltevand), har hun fået delt den op i delprocesser, og har nu stort besvær med at forstå hvor *sammenfiltrede* og *sammenhængende* de delprocesser der skal beskrive fænomenet, er.

Lærer: *Det er lige meget hvordan det sker i detaljer. Vi ved bare at det sker og hvor meget energi det koster.*

Nanna: *Jo men, hvordan ... hvis vi så ikke ved det, hvordan kan vi så udlede smeltevarmen for det, hvis vi ikke kan ...*

Lærer: *Det kan I sagtens. I ved bare hvor meget energi der gik ... ikke. Hvis I også kan skrive den der formel op dér.*

Nanna: *Hm*

Nanna kan endnu ikke i sine tanker gå fra det trinvisse billede til den overordnede betragtning hvor vi kun ser på et energiregnskab der sammenligner start- og sluttilstand. Derfor må hun prøve at bestemme den varmeenergi der overføres i de enkelte faser – og det volder problemer.

Nanna: *Altså: Vi kan finde ud af hvor meget energi der går ud af vandet. Men jeg forstår bare ikke hvordan vi skal kunne afgøre hvad der går til hvad, altså ... Men det er måske lige meget?*

[der tænkes]

S: *Jeg tror ikke jeg forstår hvad du mener ...*

Nanna: *... fordi, man snakker om at der ligesom sker tre forskellige former for opvarmn... eller former for energi overførsel: En opvarmning, en smeltning og en opvarmning*

S: *Ja*

Nanna: *Den eneste vi skal finde er denne her [Lm]. Men hvordan kan vi afgøre lige præcis hvad det er for en energimængde der er gået ud ... eller der er gået ind i isen lige præcis i smeltningen? Fordi den her energi herovre, den dækker jo hele, altså al energien her, ikke, både den der er gået ind da det blev opvarmet til nul grader, og da det smeltede, og da det blev opvarmet fra nul og så videre, ikke.*

S: *Ja*

Nanna: *Så jeg kan ikke rigtig se hvordan vi skal finde lige præcis den der*

S: *Det gør vi ved at sige at L er lig med Q divideret med m*

Nanna: *Ja, men hvad for en Q?*

Nanna kæmper stadig med de mentale billeder. Hvis der ikke er én, men tre faser i processen: opvarmning af is, smeltning af is og opvarmning af smeltevand, og energien til disse processer kommer fra vandet der afkøles, hvordan skiller vi så den energi ud der går til smeltning? Forskellen mellem denne situation og situationen med metallodet er at i den sidste er (den ubekendte) energi der forlader metallodet, lig den (kendte) energi der tilføres vandet. I den første er der kendte størrelser på ”begge sider” af energiregnskabet. Derfor er det her nødvendigt at se regnskabet som en helhed, hvor man i situationen med metallodet lettere kunne betragte hvert enkelt delsystem for sig. Nanna vil gerne regne de enkelte energimængder ud, i stedet for at skrive hele den abstrakte ligning op. At regne delstørrelser ud kan være lettere når situationen er simpel. Men jo mere kompliceret den er, desto mere fordelagtig bliver det at skrive hele energibalanceligningen op med abstrakte symboler.

Der er mange forskellige ”Q’er”, altså varmemængder, i regnestykket: Varmen der overføres ved opvarmning af is, varmen der bruges til smeltning og varmen til opvarmning af smeltevandet. Her ligger der en abstraktion i at skulle bruge en generel formel (med Q) i specielle tilfælde – hvor størrelserne stadig er angivet med bogstaver.

Nanna: *Eller også kan vi sige at den der plus den der plus den der, det skal være den der, ikke. Fordi det er dét energi som er gået ind i alt, ikke. Det er alle de Q’er der sammen, ikke. Det skal være det samme som det der.*

Nu har Nanna fået delt processerne og de tilhørende energioverførsler op. Men hun har stadig problemer med sit billede fordi hun ikke kender størrelsen af de enkelte overførsler. I og med at energimodtagelsen for isklumpen er delt op i tre, er også den energi vandet afleverer naturligvis delt op. Da dette i Nannas nuværende mentale billede sker i en klar tidsfølge, hører det med til billedet at koble de tre energi-”portioner” som vandet afgiver, direkte med de tre ”portioner” isklumpen modtager. Og derfor føler hun at hun kun kan løse opgaven hvis hun kender størrelsen af den energiportion der går til smeltningen. Og for at finde den må hun kende bl.a. kende vandets temperatur når smeltningen begynder og når den er afsluttet.

[..]

S: *... den der kan vi godt regne ud. Så, når vi lægger de to sammen ... trækker dem fra, så har vi den der Q, ikke. Så kan vi godt regne L ud.*

Nanna: *Jo, men hvordan finder vi den her... Det er det ... Fordi vi ved ikke hvordan ... øh ... hvordan skal vi finde temperaturen for isen?*

S: *Den er minus atten grader når den kommer ud.*

Nanna: *Ja, men hvordan skal vi finde ud af den hér?*

[...]

Nanna: [...] *Fordi hvordan kan vi finde ud af ... hvad hedder det ... hvordan kan vi se, nu begynder det at smelte? Altså, hvordan kan vi se på det, nu er det blevet nul grader?*

Nanna ved at det eneste hun kan *se*, er at *al* isen er smeltet. Men ud fra hendes billede af situationen har hun brug for at kende temperaturer for is, vand og smeltevand som hun ikke kan komme til at måle. Hun føler hun har behov for at vide præcis *hvornår* tingene sker fordi hun ellers ikke har mulighed for at foretage nødvendige målinger på det rigtige tidspunkt.

Hun har sandsynligvis endnu ikke gennemtænkt præcis *hvad* hun skal vide, og hvorfor. Men følelsen af at mangle en masse information synes at blokere for hendes videre analyse. Hun synes at tænke lineært ("først regner vi det ud, så det, osv.") snarere end "globalt". Man kan også sige at hun søger at lægge et kausalt perspektiv på situationen. Vanskeligheden ligger bl.a. i at kunne gennemtænke (skrive symbolsk op) nogle sammenhænge på et abstrakt niveau, og så senere konkretisere dele af symbolerne (indsætte kendte værdier). Der er et tydeligt slægtskab med forskellige former for abstrakt analyse af et problem ("hvis vi nu havde en løsning, hvad ville der så gælde om den?"), altså et element af hypotetisk tænkning.

At denne abstrakte hypotetiske tænkning også omfatter et omhyggeligt og meget bevidst valg af symboler, ser vi her.

Nanna spurgte

Nanna: ... *hvordan kan vi se, nu begynder det at smelte? Altså, hvordan kan vi se på det, nu er det blevet nul grader?*

Og S svarer hertil:

S: *Det kan vi se når det er smeltet ...*

Nanna: *Men vi kan jo ikke se på det når det begynder at smelte. Det er jo ikke til at se. ... Nu er det ... hvordan kan vi se at nu er det nul ... Ok, vi kan godt se når alt vandet[!] er smeltet, det er rigtig nok. Men stadigvæk, hvordan kan vi måle temperaturen på det?*

Her sker der tilsyneladende et skift (og en udvikling) i Nannas tanker. Det ser ud som om hun kommer i tanker om at isen faktisk smelter ved nul grader – så problemet er ikke mere at vide hvornår isen *begynder* at smelte (for at finde temperaturen på det tidspunkt), men at finde temperaturen når *hele* isklumpen er smeltet. Om det er temperaturen for isvandet eller for det øvrige vand, er uklart her, men under alle omstændigheder mangler der i hendes perspektiv informationer.

Nanna tænker videre og forstår pludselig at hun måske *har* informationer nok til at finde den energi der går til opvarmning af smeltevandet – for den begynder jo ved nul grader og slutter ved den temperatur som det øvrige vand også får til sidst:

Nanna: *Men det skal jo nok være nul grader der så er ... altså, det skal så være ... massen af is ... gange ... det må så være det der T_{vis} .*

S: T_{vis} ?

Nanna: *Ja, for det skulle så være temperaturen for både vandet og isen til sidst, der har vand og is jo fået samme temperatur, ikke? Er du ...*

S: *Numerisk*

Nanna: *Ja. Og så minus ... hvad hedder det, det må så være minus nul grader, ikke? Fordi at vandet, det er når det er nul grader at det begynder at opvarme. Så der er faktisk præcis den samme som heroppe, bare ligesom omvendt [...] Mmm?*

Men næppe har Nanna haft denne indsigt før hun støder ind i et nyt problem: Hvilke masser skal der stå i de formler hun skal bruge? Det burde selvfølgelig ikke være noget problem hvis hun havde et klart billede af de to systemer ("vandsystem" og "issystem") som systemer der ganske vist ændrer sig i løbet af forsøget, men som alligevel mentalt kan holdes klart adskilte, og hvis *masser* er konstante. Dette klare billede er der imidlertid en del der tyder på at hun *ikke* har:

Nanna: *Heroppe, der må det faktisk også hedde $T_{vis}(slut)$, ikke, fordi det er jo stadigvæk vand og is sammen til sidst. Fordi til sidst kan vi jo ikke måle vandets temperatur for sig. ... Jamen det er sgu da et problem, fordi vi måler jo vandets masse ... Det kan vi sgu da ikke gøre når der... fordi vandet det bliver jo ... Vi kan jo ikke måle ... denne her formel forudsætter ligesom at vi bruger vandets [...?] ikke. Men til sidst så måler vi ... og temperaturen, det skulle så også ligesom være vandets temperatur ... ud fra den formel der. Men det er jo et problem, fordi til sidst så er det jo både temperatur af vand og is, og massen er jo så også vokset. Er det ikke et problem?*

Nanna spørger vist dels: Hvordan kan vi bruge en formel for vandets energitab der omfatter massen (som vi kender) og temperaturen, når vi ikke kan måle den temperatur? Og dels: Hvilken masse skal vi overhovedet bruge? Hun indser ganske vist at vand og is (dvs. smeltevand!) nu har samme temperatur – men nu glemmer hun at isen er forvandlet til vand, og synes det er et problem at vandets masse er vokset (og dermed ukendt?) At tænke på isen og smeltevandet som samme stofmængde med konstant masse er tilsyneladende et af problemerne her.

S: *Jeg tror ikke det gør så meget.*

Nanna: *Det kan godt være ... [tænker] ... Hvis nu man skriver det her op, ikke, så vil det være c gange ... altså c_v gange m_v gange den der, er lig med det der plus det der plus det der. Vi kan prøve at skrive det op, og så se om vi kan ... sådan som det er nu, ikke, det kan godt være der er nogen fejl i det ... og så se om vi kan få noget fornuftigt ud af det. Altså finde ud af hvad for nogen ubekendte vi har.*

Det Nanna siger nu, er: Vandet (det "oprindelige") mister energi – og den energi er lig med summen af de andre indgående energier. Og nu siger hun for første gang: lad os skrive det op og så *bagefter* se hvad vi kender og hvad vi ikke kender.

S: *Ja. Den der er ubekendt, ikke?*

Nanna: *Øhm, nej det er den vil egentlig ikke ...*

S: *[...?] det synes jeg du sagde før.*

Nanna: *Det er L vi skal finde. Det er den som er den store ubekendte.*

"Den store ubekendte". Nanna accepterer nu "midlertidige ubekendte", og kan holde rede på hvad der er det endelige mål.

S: *Ja, den største. Men så ... ja ...*

Nanna: *Vi kan prøve at skrive det op, så kan vi se ...*

S: *Men hvis vi nu skriver L er lig med Q divideret med m , så er det Q der er den ubekendte. Vi ved jo ikke hvad Q er endnu, før vi har regnet de der to ud.*

S tænker stadig i skridt: først finde Q , så L . Hvis udregningen af Q kræver andre ubekendte, skal de regnes ud først. "Den store ubekendte" giver ikke megen mening for hende, fordi det jo egentlig er den *første* ubekendte der er det største problem. Har vi den, følger resten af sig selv.

Nanna: *Det er rigtig nok. Men hvis nu vi skriver det op sådan her: c gange v ... altså denne her er lig med den der plus den der plus den der. Så kan vi prøve at se om vi kan samle det sammen til måske ..*

S: *Skal vi prøve at gå i gang med ... [..?] vi bare skal gå i gang med noget, og så se om det bliver det samme ...*

Nanna: *Jeg synes slet ikke jeg kan overskue at skulle ... fordi jeg ved ikke hvad der, altså ... De her masser her, om de kan være det samme, fordi, vi kan jo ikke veje det midt i det hele.*

S: *Massen af is den vejer [..?]*

Nanna: *Jo, men massen [af is] bliver jo mindre – i og med isen smelter. På samme måde, massen [af vandet] herovre bliver større.*

Det lyder som om Nanna ikke er i stand til at se ”isen” (dvs. den oprindelige isklump, som efterhånden går over i væskefase) og ”vandet” (dvs. det vand der var i bægeret i forvejen) som afgrænsede systemer med bevaret masse. Isens masse bliver altså mindre. Det er S der gør opmærksom på forskellen mellem densitet og masse:

S: *De vejer det samme, den fylder bare mindre.*

Nanna: *Ja, det er selvfølgelig rigtig nok... Altså det bliver bare til vand. Nå, men jeg prøver lige at skrive det der op der.*

S: *Er det det lille c du har skrevet?*

S har gjort opmærksom på massebevarelse (og at der ikke er rumfangsbevarelse). Nanna er udmærket klar over dette når hun bliver mindet om det, men synes at have haft svært ved at frigøre sig fra andre ideer. Måske har hun ikke andre ideer (som at masse ændrer sig ved smeltning), men kan bare ikke fastholde billedet af is/vand som ét system fordi der så bliver for mange systemer i hendes bevidsthed til at problemet kan løses. Systemperspektivet kræver systemafgrænsninger, og det er afgørende hvordan disse foretages.

Eleverne har nu skrevet ligningen korrekt op. Men Nanna er stadig usikker. Hun kan ikke få tingene til at stemme:

Nanna: *Jeg synes bare der er et eller andet galt et eller andet sted. Men det ...*

[...]

Nanna: *Men det jeg ikke helt forstår, det er hér, ikke, dér ganger vi med ... med sluttemperaturen for både is og vand, ikke?*

VS: *Ja*

Nanna: *Men det vi ellers bruger her, det er kun for vand, altså det er kun den specifikke varmekapacitet for vand, og det er kun massen for vandet. Men massen, den er jo blevet større i og med isen er smeltet. Altså den der temperatur vi måler her, der er ligesom både is og vand indeholdt i den, ikke. Hvorimod det andet, det er kun vand.*

Nanna har stadig ikke fuldt overvundet sine vanskeligheder. Vi har en formel for energiændringen af vand. Men vandmængden, altså massen, er ikke konstant. Hun kan ikke holde den oprindelige vandmængde mentalt adskilt fra det smeltevand der er kommet til. Dette problem synes at være forbundet med et andet problem, nemlig at forstå temperaturen som en intensiv variabel der kan have samme værdi for de to vandmængder, uden at den i øvrigt er knyttet til masserne. Hun siger: ”den der temperatur vi måler her, der er ligesom både is og vand indeholdt i den”. Det tyder på at

hun ikke helt ser temperaturen som en intensiv variabel. Her kan det være en kilde til vanskeligheder at vi (også eleverne) taler om temperaturen *af* en bestemt mængde vand og ikke af temperaturen *i* vandet, eller temperaturen *på* forskellige steder i vandet. Den sidste formulering ville tvinge eleverne til at eksplicitere en vigtig forudsætning for at tale om temperaturen for et helt system (eller delsystem), nemlig at der er temperaturligevægt, altså samme temperatur overalt.

Nanna synes ikke man kan adskille to systemer der har samme temperatur. Vi skal her huske at man ikke foretager *to* temperaturmålinger og konstaterer at de giver den samme værdi. Systemerne skal adskilles *mentalt*, og så forvirrer det at man kan bestemme den fælles temperatur med én måling. Det ville man jo f.eks. ikke kunne gøre med massen (der er en ekstensiv variabel)!

Endnu værre end for vandet, som der bliver mere af (og hvis *masse* altså ændrer sig, hvis vi ikke adskiller de to delsystemer), forholder det sig med isen, der simpelthen forsvinder, så isens masse ”forsvinder” altså. Problemet der her igen kommer op til overfladen, er at ”masse” og ”stof” ofte opfattes som synonyme:

Nanna: *Det er også lidt det samme her fordi isens masse, den forsvinder også. Hvordan kan vi så finde massen, f.eks...*

VS: *Nej, den forsvinder ikke. Den er bare blevet til vand, som vejer det samme.*

At massen er uændret ved faseovergange er selvfølgelig ikke givet på forhånd – men Nanna får at vide at sådan forholder det sig og skal bare have sine eksisterende forestillinger om stof, masse og massefylde til at passe sammen med dette:

Nanna: *Men massefylden, den ændrer sig jo ...*

VS: *Ja, men massen, altså den samlede masse. Hvis man nu har noget is der ligger på en vægt i et bæger, ikke, og så står den på et eller andet.*

Nanna: *Ja*

VS: *Og så går man ud af rummet, og så venter man nogle timer, og så er skidt smeltet, ikke. Så går man ind igen. Står vægten så på det samme, eller på noget andet? [...]*

Nanna: *Det kan den jo ikke gøre, for atomerne kan jo ikke ændre vægt.*

VS: *Nej. Sådan kan du tænke [...]*

15.5 Udviklingen af Nannas mentale modeller

15.5.1 Varmefyldeforsøget

1. billede

Nannas første mentale model er styret af formelperspektivet og et kausalperspektiv (loddet bliver opvarmet *fordi* det modtager energi), nemlig *definitionerne* på varmfylde og varmekapacitet. Hun fokuserer på at loddet skal modtage energi, men kan ikke forbinde dette billede med et systemperspektiv på hele forsøgsopstillingen. Hun har heller ikke endnu erkendt at opstillingen indebærer at loddet *afleverer* energi. I hendes første billede er den fase hvor loddet *opvarmes* i kogende vand det centrale.

2. billede

I Nannas anden mentale model har hun fået et billede af de involverede systemer og energioverførsler: Loddet får tilført energi i kogende vand og afleverer derefter energi til en anden portion vand. Men hun kan stadig ikke bruge dette til at afgøre hvad hun skal måle (hvad hun skal bruge målingerne til) fordi hun mangler en klar forståelse af et ligevægtsperspektiv.

3. billede

I Nannas tredje mentale model har hun forbundet opvarmningen af loddet med et ligevægtsperspektiv, men mangler stadig at forbinde ligevægtsperspektivet med formelperspektivet for loddets opvarmning af vand. Hendes formelbillede består af en trinvis række af udregninger: Først måles vandets temperaturstigning, så beregnes den tilførte energi. Og nu kommer bevarelsesperspektivet ind: Den tilførte energi er den samme som den der er gået ud af metallet. Men forbindelsen til formelperspektivet er vanskelig: Hvordan bruger vi denne værdi for energien?

4. billede

I Nannas fjerde mentale model får hun styr på *hvilke* formler hun skal anvende for at forbinde målingerne med varmfylde. Men der mangler en abstraktion: Da energien fra loddet er lig energien der tilføres vandet, og da de to størrelser begge udtrykkes ved formlen $m \cdot c \cdot \Delta T$ bliver ligningen intetsigende. Først når det bliver klart hvad formlerne *specifikt* står for i denne situation kan hun beregne den *ubekendte* varmfylde.

Den fuldt udbyggede mentale model er nødvendig for at Nanna forstår *hvilke* størrelser hun skal måle, *hvordan* hun kan måle dem, og *hvordan* hun skal bruge målingerne til at løse den stillede opgave (at bestemme metallens varmfylde).

15.5.2 Smelteforsøget

1. billede

I sin første mentale model har Nanna et delvist brugbart systemperspektiv og bevarelsesperspektiv: Hun forstår at isen modtager energi fra vandet. Hun kan imidlertid slet ikke forbinde dette med formelperspektivet – hun ved ikke hvordan den energi som isen modtager, skal skrives op ved hjælp af relevante størrelser. Hun trækker en parallel til forsøget med metalloddet, men har ikke et billede af hvad energien bliver brugt til.

2. billede

I Nannas anden mentale model har hun forbundet energitilførslen med smelteprocessen. Men hun har endnu ikke udskilt smelteprocessen fra opvarmningen af loddet. Hendes billede er stadig meget analogt til metallodsforsøget.

3.billede

I Nannas tredje mentale model har hun fået delt energioverførslen op i faser (opvarmning, smeltning, opvarmning af smeltevand). Men hun kan ikke se hvordan man kan vide hvor meget energi der ”bruges” i hver af delprocesserne. Hun kan ikke få dette systemperspektiv forbundet med formelperspektivet, og hun møder de vanskeligheder der følger af at hendes formelbillede stadig består af en række beregninger efter hinanden, i stedet for en overordnet ligning styret af et bevarelsesperspektiv.

Hun har endnu ikke bygget to parallelle model op: et virtuelt af en *trinvis* proces og en virkelighedsnær model hvor de enkelte trin i processen sker delvist samtidig. Derfor kan hun ikke finde ud af hvad hun skal måle – hvordan måler man temperaturen *lige* når isen er smeltet?

4.billede

I den fjerde mentale model får Nanna forbundet de trinvis processer korrekt med formlerne. Men hendes model er stadig ikke tilstrækkelig udbygget til at forstå hvordan smeltevarmen kan beregnes. Den mest graverende mangel ligger i systemperspektivet. Hun forstår at hun skal se isen og vandet som forskellige systemer (som i tilfældet med lod og vand), men at is og smeltevand skal betragtes som ét system har hun svært ved at se. Når, i Nannas mentale billede, isen smelter, så ”forsvinder” den. Hun mangler så at sige systemforståelse på stofniveau.

5.billede

I den femte mentale model ser vi tegn på en overgang til en samlet forståelse i et bevarelsesperspektiv (skrive formler op og så *bagefter* se hvad vi ikke kender): Energi til smeltning = energien fra vand – (energi til opvarmning af is + energi til opvarmning af smeltevand). Men der stadig problemer med denne model: Hun kan ikke fastholde is og smeltevand som ét system med samme masse. Og, forbundet med denne vanskelighed, ser hun temperaturbegrebet som knyttet til en bestemt stofmængde hvilket giver vanskeligheder med at adskille to mængder vand (smeltevandet og det ”oprindelige” vand) når deres temperatur er blevet ens. Her mangler en kobling af system- og ligevægtsperspektivet.

6. billede

I det sjette mentale billede får Nanna forståelsen for ”stofbevarelse” under faseovergange og er i stand til at forbinde dette med det i øvrigt udviklede mentale billede til en fuld forståelse af det eksperimentelle problem og hvordan det løses.

15.6 Opsummering

Gennemgangen af elevernes diskussion af forsøgene med varmfylde og smeltevarme har givet anledning til følgende indsigter:

- En tilsyneladende simpel måling som en temperaturmåling kan nemt blive svær at forstå, nemlig det forhold at temperaturmålinger bygger på temperaturligevægt bliver vigtigt.
- Mange abstrakte størrelser er vanskelige at indpasse i et mentalt billede, en særlig vanskelighed udgøres af skellet mellem ekstensive variable (C , Q) og intensive variable (c , T). Intensive variable er meget vanskelige for elever at forstå.
- Elever skal opbygge en mental model der ikke bare er baseret på usynlige, fiktive størrelser, men som også er i direkte strid med hvad der faktisk sker. Det er tilfældet med smeltning af is, hvor man på et meget abstrakt niveau skal bruge energibevarelse og prøve at abstrahere fra de processer der faktisk finder sted i situationen. Hvis eleverne skal knytte billeder til denne procedure, skal de forestille sig smeltet is ved nul grader omgivet af vand ved en højere temperatur. De skal altså forbinde et virtuelt billede med billedet af hvad der faktisk sker. Det er en meget vanskelig mental konstruktionsopgave.
- Det kan ofte være nødvendigt direkte at ”plante” en mentalt model hos eleven. Faren ved dette er at den ”plantede” model kan blive opfattet konkret og ikke som en repræsentation af en virkelig situation.

16 Sammenfatning og konklusion

Resultatet af det arbejde der ligger til grund for denne afhandling falder i to hoveddele. Den første del bygger på en teoretisk udredning af det praktiske arbejde i skolen og dets sammenhæng med fysikkens teori. (Afhandlingens del I). Den anden del består af opbygningen og afprøvningen af et analyseapparat eller en analytisk tilgang til beskrivelse af elevers mentale modeller i forbindelse med eksperimentelle problemstillinger. (Afhandlingens del II og del III).

Afhandlingen er baseret på 3 præmisser der angår fysikfagets kernefaglighed:

Præmis 1 : Skolefaget skal afspejle det væsentlige i videnskabsfagets erkendelsestradition.

Præmis 2 : En forståelse af eksperimentelle problemstillinger er en forudsætning for forståelse af fysikkens erkendelsestradition

Præmis 3 : Elevernes mentale modeller er afgørende for deres forståelse af eksperimentelle problemstillinger

De tre præmisser kan sammenfattes således: Et centralt element i fysikfagets kernefaglighed er en forståelse af eksperimentelle problemstillinger karakteristiske for fysik. Og i forhold til denne kernefaglighed er elevernes mentale billeder af afgørende betydning.

Afhandlingens teoretiske del har haft to formål: For det første at forsøge en begrebsafklaring i forhold til det praktiske arbejde og dets placering i fysikfaget. Og for det andet at vise konsistensen i de opstillede præmisser og demonstrere hvordan de naturligt leder frem til det centrale spørgsmål:

Hvordan påvirker elevernes mentale modeller deres forståelse af eksperimentelle problemer i fysik?

16.1 DEL I: Teoretisk analyse

Den første præmis (skolefaget skal afspejle det væsentlige i videnskabsfagets erkendelsestradition) er udtryk for et valg. **Kapitel 1** er en oversigt over hvad dette valg omfatter.

De to andre præmisser – præmis 2 og 3 – følger i et vist omfang af den første.

Den første præmis afføder spørgsmålet:

Spørgsmål 1: *Hvad kan siges at være kernen i fysikkens erkendelsestradition?*

Dette spørgsmål er søgt besvaret med redegørelsen i **kapitel 3**, som bygger på **kapitel 2**. Kort sammenfattet er svaret følgende: Det karakteristiske ved videnskabsfaget fysik er at det konstruerer idealiserede repræsentationer af dele af virkeligheden, og derefter skaber matematisk-symbolske beskrivelser (modeller) af dem. Det opstiller hypoteser og afprøver dem eksperimentelt.

Det er de symbolske idealiseringer der er bestemmende for de hypoteser der opstilles og de eksperimenter der planlægges og udføres, ligesom observationer i almindelighed fortolkes i overensstemmelse med de teoretiske modeller.

Fysikken betragter altså verden gennem en abstrakt-teoretisk optik som bestemmer hvad der er et fysisk fænomen og hvad der er et fysisk problem.

Et centralt resultat af denne udredning er at et fænomen opstår ved mødet mellem virkelighed og teori, og at genstanden for en fysisk undersøgelse – et *fysikfænomen* – altså delvist er bestemt af fysikteori.

Svaret på spørgsmål 1 afføder sammen med præmis 1

Spørgsmål 2: *Hvordan kan fysikundervisningen komme til at afspejle fysikkens erkendelsestradition?*

Svaret som er beskrevet i kapitel 3 og 5 bliver: Ved at undervisningen søger at give eleverne ”fysikbriller” på, dvs. prøver at lære dem at se verden gennem den ovenfor nævnte teoretiske optik.

Kombinationen af udgangspunktet – at skolefaget skal afspejle kernen i videnskabsfagets erkendelsestradition – med den pointe at fysikkens erkendelsestradition indebærer en forståelse af hvad der er et fysikfænomen, følger det at eleverne i skolefaget skal sættes istand til at erkende og undersøge fysikfænomener.

Desuden: Forståelse af fysikken (erkendelsestraditionen) forudsætter at eleverne har erfaret denne som skaber af fænomener, altså har erfaret fysikkens sammenhæng med eksperimentelle situationer.

En *fysisk* eksperimentel problemstilling repræsenterer en for fysikfaget karakteristisk måde at stille spørgsmål til naturen, hvilket fører til

Præmis 2: *En forståelse af eksperimentelle problemstillinger er en af forudsætningerne for forståelse af fysikkens erkendelsestradition*

Denne præmis fører til spørgsmålet:

Spørgsmål 3: *Hvordan kan eleverne få en forståelse af eksperimentelle problemstillinger?*

Dette er naturligvis et omfattende spørgsmål. Efter en diskussion af filosofiske aspekter af læreprocessen i **kapitel 4**, søger redegørelsen i **kapitel 5** at tilvejebringe nogle af forudsætningerne for at kunne belyse spørgsmålet. Dette kapitel er en gennemgang af det eksperimentelle arbejdes forskellige muligheder.

I **kapitel 5** bliver det vist at der i den eksperimentelle undersøgelse kombineres en lang række kompetencer som hver især er yderst krævende, og som er hinandens gensidige forudsætninger. Der kræves både *færdigheder* og *teoretisk viden* for at kunne gennemføre en eksperimentel undersøgelse.

Der er tale om kompetencer i forbindelse med observation og måling der går langt ud over simple færdigheder i forbindelse med anvendelse af måleapparater og repræsentation og behandling af data (”den eksperimentelle undersøgelses begreber”). Men der er også tale om kompetencer i forbindelse med forståelse og anvendelse af teori.

Disse kompetencer går ud over en simpel gengivelse og anvendelse af love og formler. Da forståelsen af observationer og målinger forudsætter teori, og da selve det teoretiske problem også altid udspringer af teori, er forståelsen af selv tilsyneladende simple eksperimentelle situationer afhængig af en ret dyb teoriforståelse.

I denne sammenhæng bliver valget af teoretisk model til beskrivelse af et fænomen og valget af eksperimentelt problem i forbindelse med et fænomen til et afgørende didaktisk valg.

Sammen med den mere overordnede redegørelse i kapitel 4 fører dette os, i forhold til relationen mellem teorien og eksperimentet i fysikundervisningen, frem til følgende afgørende

Konklusion 1: *Det er i forbindelse med det eksperimentelle arbejde i skolen muligt at betragte fysikkens teori som et middel snarere end som et mål.*

Sammen med ”den eksperimentelle undersøgelses begreber” er fysikkens teori (eller bestemte dele deraf) en afgørende forudsætning eller et afgørende *hjælpemiddel* i forbindelse med gennemførelsen af den helt centrale aktivitet: Eksperimentel undersøgelse. Det er derfor ikke muligt at opretholde forestillingen om de eksperimentelle aktiviteter i fysikundervisningen alene som et pædagogisk middel til at opnå bestemte mål i forbindelse med det at lære ”fysik”.

Når fysikkens teori betragtes som et hjælpemiddel eller værktøj i forbindelse med arbejdet med eksperimentelle problemer, betyder det at elevernes teoretiske forestillinger eller mentale modeller i forhold til et givet fænomen bliver af central betydning. Det er arten af deres mentale billeder der afgør hvilket billede de ser, og i hvilken grad det kan kaldes et *fysikfænomen* i den betydning der er udviklet i **kapitel 3**. Ligesom eksperimentelle problemer er baseret på teori, er de problemer som elever kan forstå eller selv formulere baseret på de mentale billeder af teoretisk eller anden art, som de har i forbindelse med en mulig eksperimentel situation. Dette fører os til

Præmis 3: *Elevernes mentale modeller er afgørende for deres forståelse af eksperimentelle problemstillinger*

Denne præmis afføder følgende spørgsmål, der er projektets hovedspørgsmål:

Hvordan påvirker elevernes mentale modeller deres forståelse af eksperimentelle problemer i fysik?

Dette spørgsmål kan undersøges på to måder. Dels på det begrebslogiske plan: Hvilke teoretiske forudsætninger *nødvendige* for at en bestemt eksperimentel situation giver mening i en fysiksammenhæng? Dels ved en mere empirisk tilgang hvor man undersøger hvordan konkrete elevers mentale modeller påvirker deres forståelse af bestemte eksperimentelle situationer.

Her er valgt en kombination af de to måder. En fysikteoretisk analyse af eksperimentelle situationer bruges som matrix eller filter til at beskrive elevers mentale modeller og deres forståelse det pågældende problem. Denne beskrivelse benyttes så til at forfine den teoretiske analyse og dermed forståelsen af hvordan arten af elevernes mentale modeller bestemmer deres forståelse af det givne fænomen.

16.2 DEL II: Opbygning af analyseapparat til beskrivelse af elevernes mentale modeller

Kapitel 6 er en redegørelse, dels for modelbegrebet i fysikken, dels for den kognitive psykologis forståelse af mentale modeller. Der er her tale om arten af elevers mentale modeller og om hvordan de udvikler deres mentale modeller i retning af stadig større overensstemmelse med fysikkens accepterede modeller.

Dermed er der etableret en baggrund for at beskrive elevernes mentale modeller og disse modellers betydning for elevernes eksperimentelle arbejde.

På denne baggrund udvikles i **kapitel 7** et *analyseapparat* til beskrivelse af elevers mentale modeller i forbindelse med konkrete fysiske problemer.

16.3 DEL III: Analyse af empiriske cases

Afhandlingens tredje del er en detaljeret analyse af elevers arbejde med eksperimentelle situationer i en række cases. I analysen er brugt det ovenfor nævnte analyseapparat. Her har vi kunnet følge hvordan eleverne majsommeligt har opbygget mentale billeder i forhold til de konkrete opgaver de

var stillet overfor. Det har de gjort i et samspil mellem den konkrete situation, deres eksisterende forestillinger og deres forståelse af fysikteori.

Den afgørende konklusion på denne del er at det har vist sig muligt at anvende analysemetoden på disse cases på en frugtbar måde. Dette viser sig på flere måder:

- 1. Den forudgående teoretiske analyse har vist sig at muliggøre en beskrivelse af elevernes mentale modeller der giver *sammenhængende mening* i forhold til deres dialog.**
- 2. Rekonstruktionen af elevernes mentale modeller kan kaste lys på *årsagen* den enkelte elevs vanskeligheder med at forstå en bestemt eksperimentel situation og et bestemt eksperimentelt problem.**
- 3. Beskrivelsen af udviklingen af elevernes mentale modeller giver mulighed for tydeligt at illustrere *generelle* vanskeligheder i forbindelse med konkrete fysiske problemstillinger.**

I **kapitel 8** analyseres et mekanisk problem (bevægelse med modstand) med henblik på rekonstruktion af konkrete elevs mentale modeller i arbejdet med eksperimentelle fysiske problemer. Analysen danner baggrund for casene om skibsmodellen og de faldende kageforme.

Skibsmodellen

I **kapitel 9** er problemet elevernes forståelse af en hastighedsgraf og de tilhørende accelerationsværdier. Spørgsmålet er: Er acceleration et matematisk eller et fysisk begreb? Dette fører til en diskussion af overførsel af viden fra ét område til et andet, inspireret af elevernes dialog.

Konklusionen er at de to aspekter ikke kan adskilles. Elevernes mentale modeller er ufuldstændige når de to aspekter ikke er forbundne.

De begreber der læres i fysik og som er forudsætningen for det eksperimentelle arbejde, er ikke bare kontekstafhængige i forhold til den ydre situation i hvilken de skal anvendes. Denne case illustrerer at almene begreber (som f.eks. acceleration) tilsyneladende ikke læres som almene, men hos den enkelte er knyttet til bestemte mentale billeder som begrænser mulighederne for begrebets anvendelse.

I **kapitel 10** diskuteres, igen med udgangspunkt i elevernes dialog, forholdet mellem en kinematisk og dynamisk synsvinkel i forhold til det givne problem. Elevernes dialog illustrerer en begrebsudvikling hvor to begreber (kraft og acceleration) der i en elevs mentale billede optræder som ét, må udskilles som to separate begreber.

I **kapitel 11** fokuseres i elevdialogen på elevernes kausale model.

Den afgørende indsigt er her at ideen om *sammenhæng* eller *afhængighed* (hvilke andre størrelser afhænger en bestemt fysisk størrelse af, hvordan afhænger en fysisk størrelse af en anden) er meget vanskelig at forstå for eleverne. I betragtning af hvor mange eksperimentelle opgaver der er baseret på denne ide, er det en væsentlig pointe. Forståelsen af kausal afhængighed forudsætter kausale mentale modeller som det tager lang tid at opbygge.

I **kapitel 12** ser vi på de enkelte elevs mentale modeller. Det bliver tydeligt at mangler i bestemte aspekter i deres mentale modeller og manglende forbindelser mellem disse aspekter er afgørende for deres evne til at forstå den problemstilling de undersøger. Forskellige elever har forskellige mangler og møder derfor forskellige vanskeligheder i forhold til problemet. Vi kan altså for den enkelte elev se hvilke ”huller” der skal fyldes ud for at de kan opnå en meningsfyldt forståelse.

Kageformene

I kageformseksemplet (**kapitel 13**) ser vi meget tydeligt illustreret på hvilken måde arten af en elevs mentale modeller bestemmer hvilke spørgsmål hun kan stille til en eksperimentel situation. Forudsætningen for at kunne forstå og undersøge spørgsmålet om luftmodstandens afhængighed af faldhastigheden er et sofistikeret mentalt billede af fænomenet omfatter såvel abstrakte usynlige størrelser som tyngdekraft og luftmodstand (forstået som kraft) som en kausal model der omfatter en tilbagekoblingsmekanisme hvor bevægelsen virker tilbage på den kraft der forårsager bevægelsen.

Det bliver tydeligt hvordan den kausale model gradvist udvikler sig hos eleven, og hvordan opfattelsen af den eksperimentelle problemstilling ændrer sig. I sidste ende bliver eleven på baggrund af den udviklede mentale model i stand til at stille nye eksperimentelle spørgsmål i forbindelse med fænomenet.

Varmelære

I **kapitel 14** analyseres to problemer i varmelæren (bestemmelse af varmfylden for et metal og bestemmelse af smeltevarmen for is) med henblik på rekonstruktion en elevs mentale modeller.

Kapitel 15 beskriver en elevs gradvise udvikling af mentale modeller under planlægning af varmelæreforsøgene. En række forhold bliver tydelige her:

Først og fremmest er de mentale modeller eleven skal opbygge for at forstå den eksperimentelle problemstilling, især i forbindelse med smelteforsøget, stærkt kontraintuitive, de skal endda bygges op i strid med hvad man rent faktisk ser. For at kunne forstå hvad der skal *måles* i den konkrete opstilling for at kunne bestemme varmfylde og smeltevarme, må eleven opbygge en mental model hvis struktur fundamentalt strider mod en detaljeret beskrivelse af det betragtede system. De to modelsystemer (det mere virkelighedsnære og det der skal bruges) stemmer kun overens på den måde at bestemte udvalgte målinger og beregninger giver samme resultat.

Det kræves altså af eleven at hun skal forstå en begrænset, men afgørende strukturel analogi mellem en virkelighedsnær model og en fiktiv abstrakt model. Dette fællestræk ved mange fysiske problemstillinger bliver særlig tydelig i denne case.

16.4 Perspektivering og pædagogiske konsekvenser

Naturligvis kan lærere ikke i det daglige (eller nogensinde) foretage så detaljeret og dybtgående en analyse som der er foretaget her. Men det er heller ikke nødvendigt. Blot det at være opmærksom på og spørge til elevernes mentale modeller og at gennemtænke relevant teori med det fokus at teorien skal danne grundlag for udvikling af elevernes mentale modeller, kan muliggøre en undervisning hvor elevernes udbytte af eksperimentelle aktiviteter bliver væsentligt forøget.

Som konsekvens af de ovennævnte indsigter kan man sige at det er vigtigt i fysikundervisningen at være opmærksom på følgende:

I forbindelse med eksperimenter bør man nøje gennemtænke *hvilken* teori der er nødvendig for at kunne forstå de relevante eksperimentelle spørgsmål. Desuden bør man overveje *hvordan* denne teori præsenteres for eleverne.

Ved udvælgelsen af eksperimentelle opgaver skal man overveje sværhedsgraden af opgaven, ikke bare i forhold til nødvendige eksperimentelle færdigheder, men i forhold til hvor abstrakte de nødvendige mentale modeller er. Opgaven at finde isens smeltevarme (eller at forudsige hvor kold whiskyen bliver når isklumpen er smeltet) er en meget *vanskelig* opgave af netop denne grund.

Iagttagelserne i disse cases gør det også nærliggende at indføre ”brobygningsøvelser”. En vanskelighed ved både skibsmodelopgaven og kageformsprojektet er at der er tale om en dynamisk situation hvor de relevante variable (hastighed og modstand) ændrer sig uden at man har nogen indflydelse på det – indtil skib eller kageform når terminalhastigheden. Det gør situationen langt vanskeligere at analysere end et eksperiment hvor hastighed og modstand er konstant, og hvor man kan måle modstanden direkte. Hvis eleverne først udførte et sådant eksperiment (f.eks. med en papplade og en kraftmåler på en cykel) hvor de selv kunne ændre de variable, ville de måske have lettere ved at opbygge en mental model for den dynamiske situation.

Da opbygningen af teoretiske mentale modeller er så møjsommelig en proces for eleverne, virker det rimeligt at begrænse den teoretiske undervisning til det der er nødvendigt for at kunne udføre de eksperimentelle undersøgelser man vil sætte eleverne til. (Naturligvis kan der være andre eksempler på at teori er *nødvendig* for at nå et læringsmål, f.eks. at forstå en sammenhæng i universet). På den måde gør vi teorien til et middel snarere end et mål – i smuk overensstemmelse med fysikteoriens historiske funktion.

Litteratur:

- Adey, P. (1988): Cognitive acceleration: Review and prospects. *International Journal of Science Education*, 10 (2): 121-34
- Adey, P. (1992): The CASE results: Implications for science teaching. *International Journal of Science Education*, 14 (2): 137-46
- Adey, P. (1997): It All Depends on the Context, Doesn't It? Searching for General, Educable Dragons *Studies in Science Education*, 29 (1997) 45-92
- Aday, P. & Shayer, M. (1990): Accelerating the development of formal thinking in middle and high school pupils. *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (6): 553-74
- Aday, P. & Shayer, M. (1994): *Really raising standards: cognitive intervention and academic achievement*. London: Routledge
- Andersson, B. (1992): På vej mod et konstruktivistisk syn på læring og viden i Nielsen, H. & Paulsen, A. (red.): *Undervisning i fysik – den konstruktivistiske ide*. Gyldendal 1992
- Aristoteles' Forelæsning over Fysik, Gyldendal, 1999
- Assessment of Performance Unit (1985). *Assessing Investigation at ages 13 and 15*. Science Report for Teachers: 9. London, HSMO
- Assessment of Performance Unit (1987). *Science in Schools: Ages 13 and 15*. Research Report No. 3. London, HSMO
- Assessment of Performance Unit (1989). *National Assessment: The APU Science Approach*. London, HSMO
- Ausubel, D.P. (1968): *Educational Psychology: A Cognitive View*, Holt, Rinehart and Winston, New York
- Atkinson, E.P. (1990): Learning Scientific Knowledge in the Student Laboratory. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- von Aufschnaiter, S. Development of complexity through Dealing with Physical Qualities: One type of Conceptual Change? In Behrendt, H. et al. (Eds.) *Research in Science Education – Past, Present, and Future*. Kluwer 2001
- von Aufschnaiter, S. & Welzel, M. (1999). Individual learning processes – a research program with focus on the complexity of situated cognition. In M. Bandiera et al., (Eds), *Research in Science Education in Europe* (pp.209-215). Kluwer 1999
- Baird, J.R. (1990): Metacognition, Purposeful Enquiry and Conceptual Change. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Beyer, K. (1992): Det er ikke tænkning det hele. I Nielsen, H. & Paulsen, A. (red.) (1992) *Undervisning i fysik – den konstruktivistiske ide*. Gyldendal 1992
- Beyer, K. (1996): *Fysiske øvelser – det store fremskridt eller den store illusion*. I Fysiklærerforeningen 1921 – 1996, Budolfi Tryk, Aalborg
- Bleichroth, Dahncke, Jung, Kuhn, Merzyn, Weltner (1991): *Fachdidaktik Physik*, Aulis Verlag Deubner & Co., Köln

- Bloom, B.S., Engelhart, M.D., Furst, E.J., Hill, W.H. and Krathwohl, D.R. (1956): *Taxonomy of Educational Objectives: The Cognitive Domain*. New York, Longmans, Green.
- Bohr, N. (1961): *Atomfysik og menneskelig erkendelse II*, J.H.Schultz Forlag, København 1964
- de Corte, E. (1993): *Voksenpædagogisk teoriudvikling*. Arbejdstekster nr. 7, RUC
- Clement, J. (1993): Using bridging analogies and anchoring intuitions to deal with students' preconceptions in physics i *Journal of Research in Science Teaching*, 30(10), 1241-1257.
- Clement, J., Brown, D., and Zietsman, A. (1989): Not all preconceptions are misconceptions: Finding anchoring conceptions for grounding instruction on students' intuitions i *International Journal of Science Education*, 11: 554-565.
- Cohen, B.(1962): *Fysikkens gennembrud*. Gyldendal
- Collin, F. (1999): Socialkonstruktivisme – et erkendelsesteoretisk og ontologisk standpunkt. *Kvan19* (54), p.7-18
- diSessa, A. (1983): Phenomenology and the evolution of intuition. In Gentner, D, and Stevens, A.S (eds.): *Mental Models*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1983
- diSessa, A. (1993): Towards an epistemology of physics. *Cognition and Instruction* 10,2-3, 105-225
- Dolin, J.(2002): *Fysikfaget i forandring. Læring og undervisning i fysik i gymnasiet med fokus på dialogiske processer, autenticitet og kompetenceudvikling*. Ph.d.-afhandling, RUC, 2002
- Dolin, J., Krogh, L.B., Troelsen, R.(2003): En kompetencebeskrivelse af naturfagene i Busch, Horst og Troelsen (red.) *Inspiration til fremtidens naturfaglige uddannelser, Uddannelsesstyrelsenstemahæfteserie nr.8-2003*
- Dolin J. og Schilling, V. (red.): *At Lære Fysik. Et studium i gymnasieelevers læreprocesser i fysik*. Uddannelsesstyrelsens temahæfte nr.19 – 2001. Undervisningsministeriet 2001
- Driver, R. (1983): *The Pupil as Scientist?* Milton Keynes. Open University Press.
- Driver and Easley (1978): Pupils and Paradigms: a review of the litterature related to concept development in adolescent science students. *Studies in Science Education*, 10, 37-60
- Duit (1991). Students' Conceptual Frameworks: Consequences for Learning Science In Glynn, Yeany, Britton (Eds.)(1991). *The Psychology of learning Science*. Lawrence Erlbaum
- Duit, R. & Glynn, S. (1995): Mental modelling i Welford, Osborne, Scott: *Research in Science Education in Europe. Current Issues and themes*. Falmer Press 1996
- Einstein, A., Infeld, I. (1939): *Det moderne verdensbillede - Fysikkens udvikling fra Galilei og Newton til relativitetsteori og kvantemekanik*, Schultz, København
- Engeström, Y. (1998): Den nærmeste udviklingszone som den basale kategori i pædagogisk psykologi. I Mads Hermansen (red.) *Fra læringens horisont - en antologi*, Forlaget Klim
- Fensham, P.J. (1990): Practical Work and the Laboratory in Science for All. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Feyerabend: *Realism, Rationalism, and Scientific Method: Philosophical Papers, Volume 1* Cambridge: Cambridge University Press,1981

- Foulds, K., Gott, R. and Feasy, R. (1992): *Investigative Work in Science*. Durham, University of Durham, 1992
- Fysikopgaver, Obligatorisk niveau*, Fysikforlaget 1994.
- Gadamer, H.-G. (2004): *Sandhed og metode - grundtræk af en filosofisk hermeneutik*, Systime
- Gentner, D, and Stevens, A.S (eds.)(1983): *Mental Models*, Erlbaum, Hillsdale, NJ, 1983
- Gilbert, J., Boulter, C. (1998): Learning Science through Models and Modelling. In Fraser and Tobin (Eds.) *International Handbook of Science Education*, Kluwer 1998
- von Glasersfeld, Ernst (1995): *Radical Constructivism. A Way of Knowing and Learning*. The Falmer Press, London 1995
- Glynn, S. (1991): Explaining Science Concepts: A Teaching-with-Analogies Model. In In Glynn, Yeany, Britton (Eds.)(1991). *The Psychology of learning Science*. Lawrence Erlbaum
- Glynn, S. & Duit, R. (1995): Learning Science meaningfully: Constructing conceptual models. In Glynn, S. & Duit, R. (Eds.), *Learning Science in School: Research reforming Practice*. Hillsdale, N.J.:Lawrence Erlbaum
- Glynn, Shawn M. , Yeany, Russel H. and Britton, Bruce K. (1991): A Constructive View of Learning Science, i: Glynn, Yeany and Britton: *The Psychology of Learning Science*, pp.3-21. Lawrence Erlbaum Ass., Inc., 1991
- Goldbech, Touborg, Würtz (1992): Eksperimentets rolle i Nielsen og Paulsen (eds.) *Undervisning i fysik - den konstruktivistiske ide*”, Gyldendal (1992)
- Gott, R., and Duggan, S.(1995): *Investigative Work in the Science Curriculum*. Open University Press.
- Gott, R. and Mashiter, J. (1991): Practical work in science – a task based approach? I Woolnough, B. (Ed.) *Practical Science. The role and reality of practical work in school science*. Open University Press, Milton Keynes
- Gott, R., Welford, G. and Foulds, K. (1988): *The Assessment of Practical Work in Science*, Oxford, Blackwell
- Gunstone, R. (1994): The importance of specific science content in the enhancement of metacognition. In Fensham, P.J., Gunstone, R.F., White, R.T. (eds.) *The content of Science: A Constructivist Approach to its Teaching and Learning*. London: Falmer Press.
- Gunstone, R. (1991): Reconstructing theory from practical experience. In Woolnough, B. (Ed.) *Practical Science. The role and reality of practical work in school science*.Open University Press, Milton Keynes
- Gunstone, R. and Champagne, A. (1990): Promoting conceptual change in the laboratory. In Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Gunstone, R. and Champagne, A. (1990): Promoting conceptual change in the laboratory. In Hegarty-Hazel, E. (Ed) *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge London
- Gunstone, R.,F.&White, R.,T. (1981): Understanding gravity. *Science Education*, 65, 291-299

- Haller, Niedderer, von Aufschnaiter (1999): *Talking about physics during labwork activities*, i Proceedings of the Second International Conference of ESERA
- Hegarty-Hazel, E. (1990a): The student Laboratory and the Science Curriculum: An overview. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Hegarty-Hazel, E. (1990b): The student Laboratory and the Science Curriculum: A model. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Hegarty-Hazel, E. (1990c): Learning Technical Skills in the Student Laboratory. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Hennesy, S. (1993), Situated cognition and cognitive apprenticeship: Implications for classroom learning. *Studies in Science Education* 22, 1-41
- Hodson, D. (1993): Rethinking old ways: towards a more critical approach to practical work in school science, *Studies in Science Education*, 22: 85-142
- Hodson, D. (1998a): *Teaching and Learning Science. Towards a personalized approach*. Open University Press.
- Hodson, D. (1998b): Is this really what scientists do? Seeking a more authentic science in and beyond the school laboratory. I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge
- Hofstein, Avi (1988) “Practical Work and Science Education II” in Peter Fensham (ed.): *Development and Dilemmas in Science Education*
- Howe, C. and Smith, P. (1998): Experimentation and conceptual understanding in school science: can hypothesis testing play a role? I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge
- Hume, David (1975) *Enquiries Concerning Human Understanding and Concerning the Principles of Morals* Clarendon Press, Oxford 1975
- Jenkins, E. (1998): The schooling of laboratory science. I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge
- Jenkins, E.W. (1999) Practical work in School Science – some questions to be answered i Leach & Paulsen (eds.) *Practical work in Science Education*, Kluwer & Roskilde University Press, 1999
- Johnson-Laird (1983): *Mental Models*. Cambridge University Press, Cambridge 1983.
- Kempa, R.(1986): *Assessment in Science*. Cambridge University Press, Cambridge 1986.
- Klopfer, L.E. (1990): Learning Scientific Enquiry in the Student Laboratory. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Kragh, H. (1998): Social Constructivism, the Gospel of Science, and the teaching of Physics in Science Education in Matthews, M. (ed.) *Constructivism in Science Education*, Kluwer, 1998
- Kragh, H. (1999a): Videnskab og virkelighed i *Aktuel naturvidenskab nr.1 1999*, Aarhus Universitet
- Kragh, H. (1999b): *Videnskabens væsen*, Fremad
- Kragh, H. & Pedersen, S.A. (1981): *Naturvidenskabsteori*. Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck

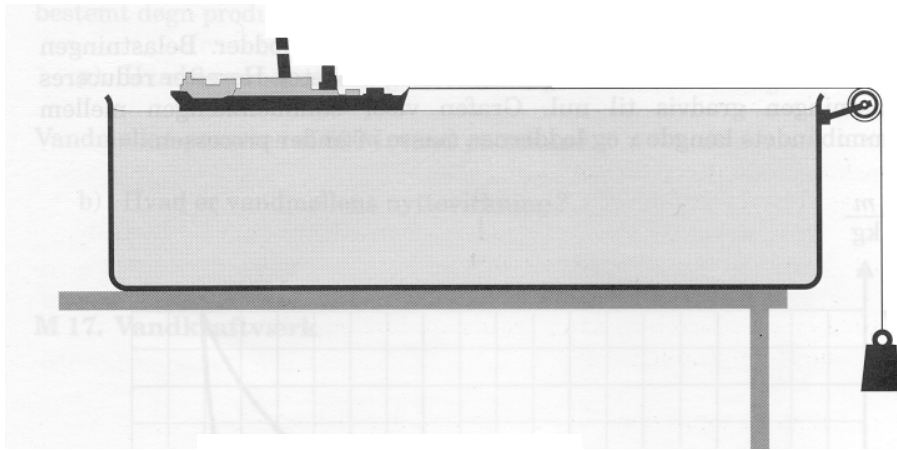
- Kuhn, T. (1962): *The Structure of Scientific Revolutions* The Chicago University Press
- Kuhn, T. (1970): *The structure of scientific revolutions*. (2nd ed.). University of Chicago Press
- Kuhn, T. (1977): Value Judgements and Theory Choice i Brown, Fauvel, Finnegan (eds.) *Concepts of Inquiry*, Open University Press, 1981
- Lakatos, I. (1970): Falsification and the methodology of scientific research programmes in Lakatos, I. and Musgrave, A.E. (eds.) *Criticism and the growth of knowledge*, Cambridge University Press, Cambridge
- Lapointe, Askew, Mead (1992): *Learning Science. International Assessment of Educational Progress Report No. 22-CAEP-02*
- Latour, B. & Wolgar, S. (1986): *Laboratory life: The construction of scientific fact*. Princeton University Press, Princeton 1986
- Layton, D. (1990): Student Laboratory Practice and the History and Philosophy of Science. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Leach, Paulsen (eds.) (1999): *Practical Work in Science Education: Recent Research Studies*, Roskilde University Press, 1999
- Le Marechal, J.-F. (1999): Modelling students' cognitive activity during the resolution of problems based on experimental facts in chemical education. In Leach & Paulsen (Eds.) *Practical Work in Science Education – Recent Research studies*, Roskilde University Press
- Locke, John (1965): *Et essay om den menneskelige forstand* Berlingske Forlag, København 1965
- Lunetta, V. & Hofstein, A.(1991): Simulation and laboratory practical activity. I Woolnough, B. (Ed.) *Practical Science. The role and reality of practical work in school science*. Open University Press, Milton Keynes 1991
- Madsen, K.B.(1986): *Psykologiens historie i videnskabsteoretisk perspektiv*. Gyldendal 1986
- Masters, R. and Nott, M. (1998): Implicit knowledge and science practical work in schools. I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge
- Matthews, Michael (1994): *Science Teaching. The Role of History and the Philosophy of Science* Routledge, New York 1994
- Matthews, M.R. (1998): Introductory Comments on Philosophy and Constructivism in Science Education. In Matthews, M. (ed.) *Constructivism in Science Education*, Kluwer, 1998
- Millar, R. (1991): A means to an end: the role of processes in science education. In Woolnough, B. (Ed.) *Practical Science. The role and reality of practical work in school science*. Open University Press, Milton Keynes
- Millar, R., Lubben, F. Gott, R. and Duggan, S. (1994): Investigating in the school science laboratory: conceptual and procedural knowledge and their influence on performance, *Research Papers in Education*, 9,2, 207-48
- Millar, R. (1998): Rhetoric and reality: what practical work in science education is *really* for. I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge

- Millar, R.H., Le Marechal, J.-F. and Tiberghien, A. (1999): Mapping the domain – varieties of practical work. In Leach, J. & Paulsen, A.C. (eds.): *Practical work in Science Education*, Kluwer & Roskilde University Press
- Monk, M., Dillon, J.: The nature of scientific knowledge in Osborne and Monk (Eds.) *Good Practice in Science Teaching: What Does Research Have to Say?* Open University Press
- Nersessian, N. (1992): Constructing and Instructing: The Role of "Abstraction Techniques" in Creating and Learning Physics. In Duschl & Hamilton (Eds.) *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*, University of New York press, 1992
- Newton, I. (1934): *Principia*, University of California Press
- Niedderer, H., Goldberg, F. (1995): *Lernprozesse beim elektrischen Stromkreis. Zeitschrift für Didaktik der Naturwissenschaften*. In: ZfDN 1, Heft 1, S. 73 - 86 (1995)
- Nielsen, K, Nielsen, H, Jensen, H.S.: *Skruen uden ende*, Gyldendal 1990
- Nielsen, H. & Paulsen, A. (red.) (1992): *Undervisning i fysik – den konstruktivistiske ide*. Gyldendal 1992
- Norman, D.A. (1983): Some observations on mental models. In D. Gentner & A.L.Stevens (Eds.), *Mental models* (pp. 7-14). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum
- Olson, J.K. (1990): Teachers Conceptions of their subject and laboratory Work in Science. I Hegarty-Hazel, E. (ed): *The Student Laboratory and the Science Curriculum*. Routledge, London
- Olsen, T., P., Hewson, P., W., Lyons, L. (1996): Preordained science and student autonomy: The nature of laboratory tasks in physics classrooms. *Int. J. Sci. Ed.*, 1996, 18,7, 775-790
- Osborne, J. (1998): Science education without a laboratory? I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge
- Pedersen, O. (1996): *Natureerkendelse og Theologi I historisk belysning*, Poul Kristensens forlag, 1996
- Platon (1985): *Staten*, Museum Tusulanum
- Polanyi, M. (1958): *Personal Knowledge*. London, Routledge and Kegan Paul 1958
- Popper, Karl R. (1959): *The Logic of Scientific Discovery* New York 1959
- Popper, Karl R. (1972): *Conjectures and Refutations* Routledge and Kegan Paul, London 1972
- Posner, G.J., Strike, K.A., Hewson, P.W., & Gertzog, W.A. (1982): Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66, 211-227
- W.-M. Roth (1995): *"Authentic school Science, Knowing and Learning in Open-Inquiry Science Laboratories"*, Kluwer 1995
- Schoster, A. & von Aufschnaiter, S., (1999). The influence of learning environments on cognitive processes. In Leach & Paulsen (Eds.) *Practical Work in Science Education – Recent Research studies*, Roskilde University Press
- Sikjær m.fl. (red.): *Fysik*, Gyldendal 1964
- Sjøberg, S. (1998): *Naturfag som almindannelse – en kritisk fagdidaktik*, Ad Notam, Gyldendal

- Sfard, A.(1991): On the dual nature of mathematical conceptions: reflections on processes and objects as different sides of the same coin. *Educational Studies in Mathematics*, 22, 1-36.
- Solomon, J. (1998): 'Imaging' or 'Envisionment' in practical work: developing the link between action, thought and image. I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge
- Smith, E. L.(1986): A conceptual change model of learning science in Glynn, Yeany, Britton (Eds.)(1991). *The Psychology of learning Science*. Lawrence Erlbaum
- Steinberg, M. and Clement, J. (2001): Evolving mental models of electric circuits. In Behrendt, H. et al. (eds.), *Research in science education—Past, present, and Future*, 235-240. Dordrecht: Kluwer.
- Staffansson m.fl. (1972): *Fysik i grundtræk*, Munksgaard, 1972
- Strike, K.A. & Posner G.J.. (1992): A revisionist theory of conceptual change. In Duschl & Hamilton (Eds.) *Philosophy of science, cognitive psychology, and educational theory and practice*, University of New York press, 1992
- Suchting, W.A.(1998): Constructivism Deconstructed in Science Education in Matthews, M. (ed.) *Constructivism in Science Education*, Kluwer, 1998
- Teichmann, J. (1988): *Verdensbilledet I forvandling*, Teknisk Forlag
- Tiberghien, A. (1997): Learning and teaching: Differentiation and relation. *Research in Science Education*, 27(3), 359-382
- Tiberghien, A. (1999): Labwork activity and learning physics – an approach based on modelling. In Leach & Paulsen (Eds.) *Practical Work in Science Education – Recent Research studies*, Roskilde University Press
- Thomsen, P. V. (1992): Videnskabsfilosofiske smuler i Nielsen, H. & Paulsen, A. (red.): *Undervisning i fysik – den konstruktivistiske ide*. Gyldendal 1992
- Thomsen, P. V. (red.) (1993) "Eksperimentets rolle i fysikundervisningen", Institut for Fysik og Astronomi, Aarhus Universitet
- Tobin, K. (Ed.) (1993): *The Practice of Constructivism in Science Education*, Lawrence Erlbaum
- Toulmin, S., Goodfield, J.: *Verdensbilledet. Astronomiens idehistorie*. Hasselbach, 1964.
- Viennot, L. (1995): A multidimensional approach to characterise a conceptual 'state' in students: The role played by questions. In: Psillos, D.: *European Research in Science Education II*. Thessaloniki. 178-187
- Wellington, J.J. (1981): "What's supposed to happen, sir?" – some problems with discovery learning, *School Science Review*, 63(222): 167-73
- Wellington J. (1998): Practical work in science: time for a reappraisal. I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge
- Welzel, M. (1998) "The emergence of complex cognition during a unit on static electricity" *Int. J. Sci. Educ.*, 1998, vol. 20, no.9
- Welzel, M., von Aufschaier, C., Schoster, A. (1999): How to interact with students? The role of teachers in a learning situation i Leach & Paulsen (eds.) *Practical work in Science Education*, Kluwer & Roskilde University Press

- White, R. T. (1996) "The Link between Laboratory and Learning" *Int. J. Sci. Educ.*, 1996, vol.18 no. 7
- Wilbers, J. & Duit, R.(2001): On the Microstructure of Analogical Reasoning: The Case of Understanding Chaotic Systems. In Behrendt, H. et al. (Eds.) *Research in Science Education – Past, Present, and Future*. Kluwer 2001
- Witt-Hansen, J. (1985) *Filosofi* Gyldendal 1985
- Wood, D. (1994): *How children think and learn: the social contexts of cognitive development* Blackwell
- Wagenschein, M. (1990). *Kinder auf dem Wege zur Physik*. Weinheim, 1990
- Woolnough, B. (1983): "Exercises, Investigations and experiences" *Physics Education*, 18, 60-63
- Woolnough, B.(1994): *Effective Science Teaching*. Open University Press, 1994
- Woolnough, B.(1998): Authentic science in schools, to develop personal knowledge. I J. Wellington (ed.): *Practical Work in School Science – which way now*. Routledge, 1998

Appendiks 1



Figur 9-2. Skibsmodellen

Figuren viser en opstilling hvor en skibsmodel trækkes gennem vand ved hjælp af en snor der over en trisse er forbundet med et lille lod. Massen af skibsmodellen kaldes M , massen af det lille lod m .

Vi antager først at modstandskraften fra vandet på skibet er 0 N og at der ikke i øvrigt er modstand eller gnidning andre steder i systemet (f.eks. i trissen). Vi antager også at snoren er uelastisk.

1) Udfyld skemaet nedenfor med bogstavudtryk (snorekraften kaldes F_{snor})

System	Resulterende kraft F_{res} = sum af kræfter	Masse	Acceleration	Newtons 2. lov
Skibsmodel				
Lod				
Skibsmodel + lod				

2) Opstil ud fra skemaet et udtryk for skibsmodellens acceleration. Skibsmodellens masse er 54 g og loddets masse er 2 g . Beregn skibsmodellens acceleration.

Der udføres nu et eksperiment med den viste forsøgsopstilling. Tabellen nedenfor viser skibsmodellens fart v som funktion af tiden t efter starten. (De øvrige rækker i tabellen forklares senere).

t (s)	0,00	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20	1,40
v (m/s)	0,000	0,069	0,131	0,181	0,220	0,247	0,266	0,278
a (m/s ²)								

$F_{\text{mod}} \text{ (N)}$								
v^2 $\text{((m/s)}^2\text{)}$								

- 3) Tegn en (t,v)-graf for bevægelsen og udfyld rækken med værdier for accelerationen a i skemaet.
- 4) Hvilke accelerationsværdier ville vi forvente at få ud fra teorien i punkt 1 og 2?
Er afvigelsen tilfældig eller systematisk?
Hvad kan være grunden til afvigelsen?
Vi antager nu at der er en modstandskraft fra vandet på skibsmodellen, F_{mod} .
- 5) Efter et stykke tid får skibet en konstant hastighed på 0,30 m/s. Hvor stor er da modstandskraften på skibet?
- 6) Udfyld skemaet nedenfor under den antagelse at der er en modstandskraft F_{mod} . Angiv desuden med pile retning og relativ størrelse af de kræfter der virker på skibsmodellen, på lodet og på systemet skibsmodel + lod.

System	Resulterende kraft F_{res} = sum af kræfter	Masse	Acceleration	Newton's 2. lov
Skibsmodel				
Lod				
Skibsmodel + lod				

- 7) Find en formel for modstandskraften så den udtrykkes ved g, a og masserne. Udfyld ved beregning rækken for F_{mod} i tabellen.
- 8) Det ses af punkt 7 at modstandskraften ikke er konstant under bevægelsen. Hvilke størrelser kan modstandskraften tænkes at afhænge af?
- 9) Vi antager nu at modstandskraften afhænger af farten v og undersøger to gæt (såkaldte hypoteser):

a) $F_{\text{mod}} = k \cdot v$, hvor k er en konstant (F_{mod} er proportional med v)

b) $F_{\text{mod}} = k \cdot v^2$, hvor k er en konstant (F_{mod} er proportional med v^2)

Prøv nu, ved at tegne passende grafer, at afgøre hvilken af de to hypoteser der passer bedst med de givne data. Bestem konstanten k i formlen hørende til den bedste hypotese.

Appendiks 2

Kageforme i frit fald

ØVELSE NR. 11

Forsøget

I denne øvelse skal I undersøge hvordan luftmodstanden afhænger af hastigheden (en sammenhæng, der gælder for alle legemer i bevægelse). Legemet som I skal undersøge er papirskageforme som I kender dem fra bageren, men hvordan forsøget skal udføres og hvilke variable der skal styres må I selv prøve at hitte ud af.

Et tip om luftmodstand: Luftmodstanden er en kraft. Denne kraft kan I ikke måle direkte, men for en del af faldet kan I alligevel regne ud hvad den må være, og det skal I udnytte.

Lidt teori om **tyngdekraft**: Alle legemer ved jordoverfladen er påvirket af tyngdekraften. Tyngdekraften på en genstand er proportional med legemets masse. Dvs. at tyngdekraften er større jo større legemets masse er.
Formlen for tyngdekraft på et legeme med masse m :

$$F_{\text{tyn}} = m \cdot 9,82 \text{ N/kg}$$

Konstanten 9,82 N/kg kaldes g , så formelen skrives normalt $F_{\text{tyn}} = m \cdot g$.

Bl.a. fordi Jorden ikke er en perfekt kugle, er g er ikke fuldstændig ens forskellige steder på Jorden. I Danmark er $g = 9,82 \text{ N/kg}$.

Eksempel: En genstand med massen 20g er påvirket af tyngdekraften

$$F_{\text{tyn}} = m \cdot g = 0,020\text{kg} \cdot 9,82 \text{ N/kg} = 0,1964 \text{ N} \approx 0,20 \text{ N}$$

CBR (Caculator Based Ranger)

CBR'en er et godt redskab til undersøgelsen. I kan fx lægge den på gulvet og lade kageformene falde ned på den. Husk at starte i en passende højde da CBR'en kun kan måle indtil kageformen er ca. 0,5 meter over den.

Brug programmet Ranger som I kender.

I menuen "Setup/sample" kan tiden sættes til et passende antal sekunder når "Realtime" er sat til "No".


Tit får man "grimme" grafer som ofte skyldes at de sidste målinger er forkerte når fx kageformene rammer CBR'en. Derfor må man gå ind i menuen "Plot Menu" og "Plot Tools" og vælge "Select Domain". Her kan man vælge det "gode" område og de resterende data slettes. Man kan blive nødt til at gøre det flere gange eller ved visning af forskellige grafer.

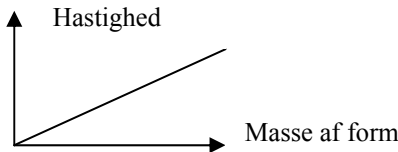
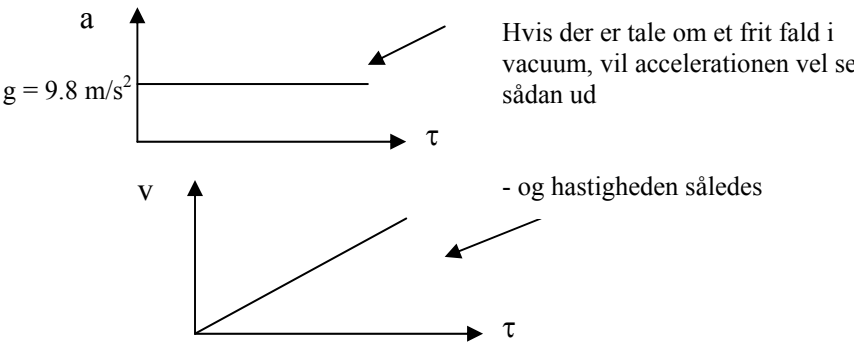
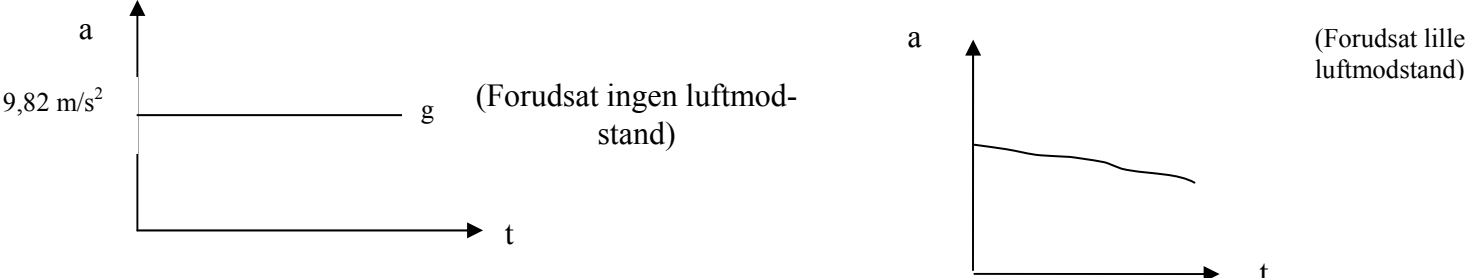
Data

Husk at skrive alle relevante værdier ned – også dem I finder på graferne da listerne bliver overskrevet hver gang I udfører et nyt forsøg. Gør også flittig brug af LinkKablerne så I kan få graferne over i Word.

Nynne

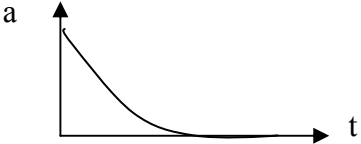
Spørgsmål	Efter 1.lektion	Efter 2.lektion	Efter 3.lektion
Hvad vi har lært i dag	Hastighed \leftrightarrow fart (fart = $ v $) Øjeblikshastighed ($v = s'$) At hastighed kan være negativ	om accelerationen $a = \Delta v / \Delta \tau$ enh. m/s^2 om at integrere (dog ikke rigtig integration, men via at se på grafen for den funktion, der skulle integreres) at tyngde-accelerationen er en konstant – dvs. at accelerationen er konstant for det frie fald ($g = 9.8 m/s^2$) i vacuum	Om stedfunktionen i fht. Hastighedsfunktionen i fht. Accelerationsfunktionen (konstant hastighed/konstant acceleration) $s'(t) = v(t)$ $v'(t) = a(t)$ $s''(t) = a(t)$
Hvilke variable kan indgå i undersøgelsen?	størrelse af formen (areal) + dens masse temp. I omgivelserne (spiller den en rolle for hvor hurtigt formen falder?) tryk, hastighed + acceleration	overflade areal, rumfang, masse af formen hastighed tryk (med mindre vi går ud fra, at forsøget foregår i vacuum)	Kraft? Gnidningsmodstand, luftmodstand Formens masse, rumfang, overfladeareal
Hvilke konkrete forsøg kunne I tænke jer at gennemføre?			Undersøge en variabel ad gangen - dvs. kun ændre f.eks. formens masse, mens de andre variable ikke forandres muligt forsøg: hvor lang tid går der, fra formen slippes til den rammer gulvet - varieres m. forsk. Formstørrelser (slippes fra samme højde)
Hvilke variable kan/vil I måle?	størrelse + masse af formen hastighed	formens egenskaber hastigheden tryk	Formens egenskaber Hastighed til start- og sluttidspunkt

			acceleration
Spørgsmål	Efter 1.lektion	Efter 2.lektion	Efter 3.lektion
Hvad tror I luftmodstandskraften på kageformene afhænger af?			Rumfang/ overfladeareal af formene Formens hastighed/ acceleration
Hvilke variable er uafhængige, hvilke er afhængige?	uafhængige: formens egenskaber afhængige: hastighed	uaf. = formens egenskaber afh. = hastighed	
Har I nogen mulighed for at måle eller på anden måde vide noget om hvor stor luftmodstandskraften er?			Hvis man kan lave et tilsvarende forsøg i vacuum kan man måske undersøge den Man kan udregne den teoretiske hastighed/tid faldet ville tage hvis det var et frit fald u. luftmodstand
Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable? Se næste tabel			
Andet			

<p>Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable?</p> <p>1)</p>	
<p>Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable?</p> <p>2)</p>	 <p>Hvis der er tale om et frit fald i vacuum, vil accelerationen vel se sådan ud</p> <p>- og hastigheden således</p>
<p>Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable?</p> <p>3)</p>	 <p>(Forudsat ingen luftmodstand)</p> <p>(Forudsat lille luftmodstand)</p> <p>Accelerationen er nok konstant = g til alle tidspunkter Hastigheden øges konstant</p>

Spørgsmål	Efter 1.lektion	Efter 2.lektion	Efter 3.lektion
Hvad vi har lært i dag	Middelhastighed og formlen dertil: $v_{\text{middel}} = \Delta s / \Delta t$ Kinematik: bevægelse (kun 1 dimension – kun 1 dimensionelt)	Acceleration, hastighed, tid: $v = g \tau$	Kraft ~ hastighedsændring. – jo større kraft, jo større hastighedsændring (acceleration) Kraft: F – måles i Newton (N)
Hvilke variable kan indgå i undersøgelsen?	Grundfladediameter og højden og ”bøjningen” – dvs. antal grader den vinkel	[samme]	[samme]
Hvilke konkrete forsøg kunne I tænke jer at gennemføre?			
Hvilke variable kan/vil I måle?	De ovenstående	Acceleration, hastighed	Hastigheden når kageformen rammer gulvet Se på tiden i forhold til hastighed og acceleration

Spørgsmål	Efter 1.lektion	Efter 2.lektion	Efter 3.lektion
Hvad tror I luftmodstandskraften på kageformene afhænger af?			Starthastigheden: v_0
Hvilke variable er uafhængige, hvilke er afhængige?	?	Hastigheden er afhængig af accelerationen	
Har I nogen mulighed for at måle eller på anden måde vide noget om hvor stor luftmodstandskraften er?			Den kan vi [...?] beregne ud fra tyngdekraftens træk hastighed og kraft. Og tiden.
Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable? Se næste tabel			
Andet			

<p>Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable?</p> <p>1)</p>	
<p>Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable?</p> <p>2)</p>	<p>-høj acceleration som bliver mindre og mindre, for til sidst at blive konstant...</p> <p>- accelerationen falder mere og mere, for at blive konstant, og så bremse, hvor accelerationen bliver mindre og mindre for til sidst at standse helt</p> 
<p>Forventer I bestemte sammenhænge mellem de variable?</p> <p>3)</p>	<p>...tiden afhænger af hastigheden. Og starthastigheden påvirker hastigheden Accelerationen afhænger af starthastigheden ...startkraften</p>

Appendiks 3 (Varmefylde)

Navn:

(Skriv navn på alle ark)

Øvrige gruppemedlemmer:

Hvor meget energi skal der til for at varme et stykke metal op? (Et fast stofs specifikke varmekapacitet)

Kommentarer eller spørgsmål – til læreren eller til jer selv

1. Problemet er at bestemme den specifikke varmekapacitet for et metal, som I får udleveret. I må bruge bogens værdi for vands specifikke varmekapacitet. Jeres opgave er:
 - a. Lav en opskrift der kan bruges som grundlag for at programmere en robot der skal gennemføre målinger og beregninger.
 - b. Foretag målingerne og finde en værdi for den specifikke varmekapacitet for metallet

Disse ark skal afleveres efter timen. I får dem tilbage, så de kan danne grundlag for en rapport som I afleverer senere.

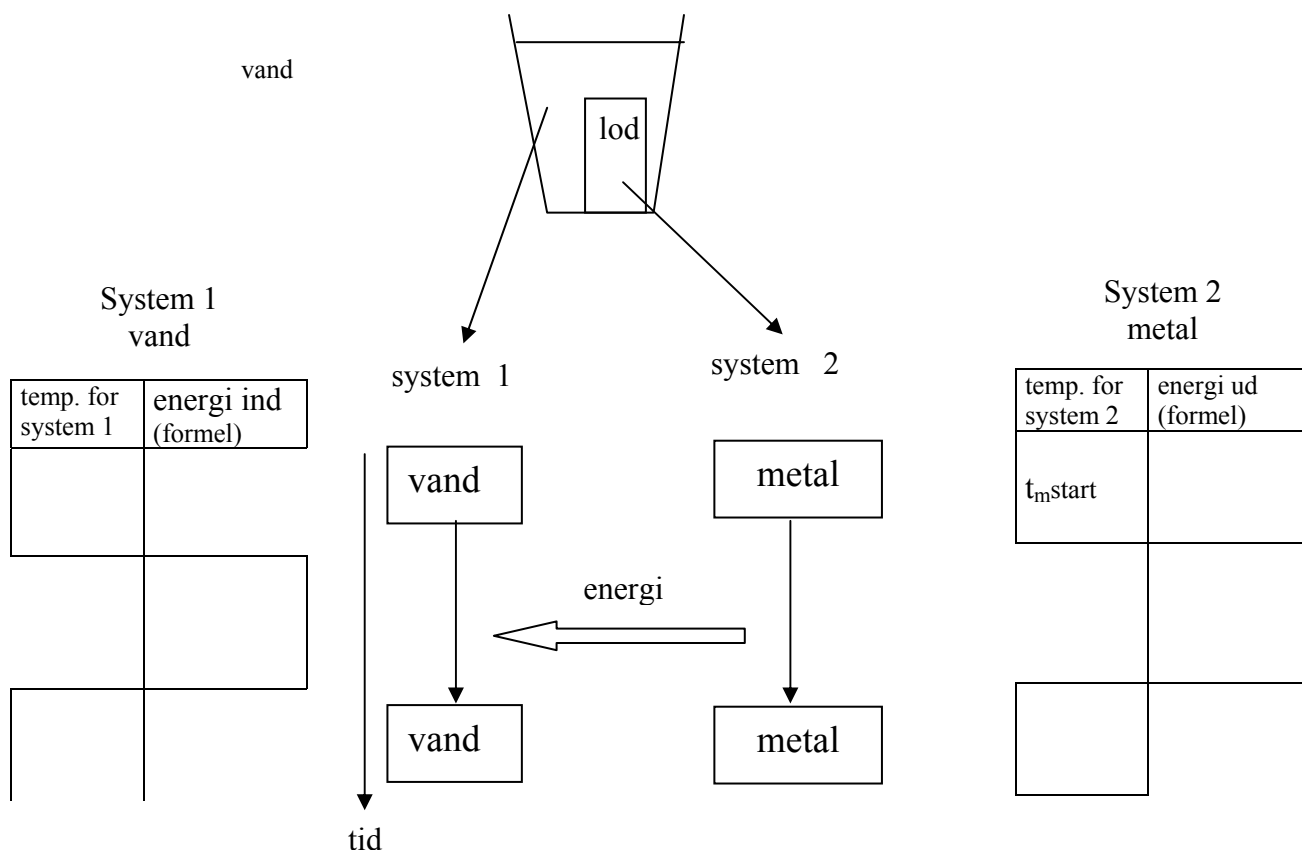
2. I skal prøve at planlægge målinger, så I kan bestemme den specifikke varmekapacitet for et metal. Det nemmeste er at opvarme et metalstykke, lægge det ned i et bæger med vand og lade det opvarme vandet - og holde styr på hvad der sker. Prøv at beskrive hvordan I vil gøre: Hvilke målinger, hvilke beregninger. De næste spørgsmål på denne side angår hvad I skal måle. Hvis I har vanskeligheder her, så gå til pkt.5 og se på diagrammet på næste side.

I må gerne gå i gang med at måle før I har skrevet jeres opskrift. Hvis I går i gang med at udføre eksperimentet (eller noget af det) før I helt præcist ved hvad I skal gøre med resultaterne (det er OK), skal I bare huske at *i sidste ende* skal I have løst opgaven: Find en værdi for metallets specifikke varmekapacitet, og lav en måleopskrift.

3. Hvilke materialer skal I bruge?

4. Hvilke størrelser vil I måle? Opfind bogstavudtryk for dem.

5. Situationen, når vi lægger et stykke metal ned i et bæger med vand og lader metallet opvarme vandet, er altså at vi har to delsystemer som bringes i kontakt med hinanden: system 1 (vand) og system 2 (metal). Herunder er der tegnet et diagram der illustrerer tankegangen. Ved hjælp af det kan I danne jer et overblik over hvad der sker, så I kan opstille en ligning til beregning af den specifikke varmekapacitet.



6. Beskriv i ord indholdet af det ovenstående diagram ("Først sker der det, og så...").

Kommentarer eller spørgsmål – til læreren eller til jer selv

7. To ting ved diagrammet kan forvirre:

- Systemerne behandles som to systemer – også efter at isen er blevet til vand og har blandet sig med det oprindelige vand.
- Det fremstår i diagrammet som om al isen smelter før smeltevandet begynder at blive varmet op.

Prøv også at skrive lidt om hvorfor man godt kan tillade sig at tænke på den måde.

8. Udfyld felterne i diagrammet med symboler for temperaturer og energiformler. Det er allerede gjort et sted så I kan se ideen. (Det kan være I bliver nødt til at gå tilbage til pkt. 4 og tilføje flere størrelser). Når det er gjort, kan I opstille en ligning hvori de forskellige størrelser (herunder den specifikke varmekapacitet for metallet, som I jo ikke kender og ikke kan måle direkte) indgår. Ideen til opstillingen af sådan en ligning er: Den energi der går ud af system 1 er lig med den samlede energi der går ind i system 2.

9. Hvad synes I vil være en passende starttemperatur for vandet? (Begrund)

10. Er der nogen fejlkilder i jeres eksperiment? Hvilken indflydelse har de på slutresultatet, den beregnede specifikke varmekapacitet? (Dvs. resulterer en eller anden bestemt fejlkilde, som I nævner, en for *høj* eller en for *lav* værdi for den specifikke varmekapacitet?)

11. Lav et skema til de størrelser I vil måle, som I kan sætte tal ind i når I senere går i gang.

12. Skriv en skridt-for-skridt instruktion til at bestemme den specifikke varmekapacitet for et metal. (Instruktionen skal kunne bruges som grundlag for at programmere en robot. Det vil bl.a. sige at formler og ligninger skal være skrevet op så man bare kan sætte de målte tal ind, sådan at det bliver rent rutineregneri at finde tallet).

Skriv kort hvad du synes du har lært af denne øvelse:

Appendiks 4 (Smeltevarme)

Navn:

(Skriv navn på alle ark)

Øvrige gruppemedlemmer:

Hvor meget energi skal der til for at få is til at smelte? Den specifikke smeltevarme for vand

Kommentarer eller spørgsmål – til læreren eller til jer selv

6. Problemet er at bestemme den specifikke smeltevarme for vand. Jeres opgave er:
 - c. Lav en opskrift der kan bruges som grundlag for at programmere en robot der skal gennemføre målinger og beregninger.
 - d. Foretag målingerne og finde en værdi for den specifikke smeltevarme for vand.

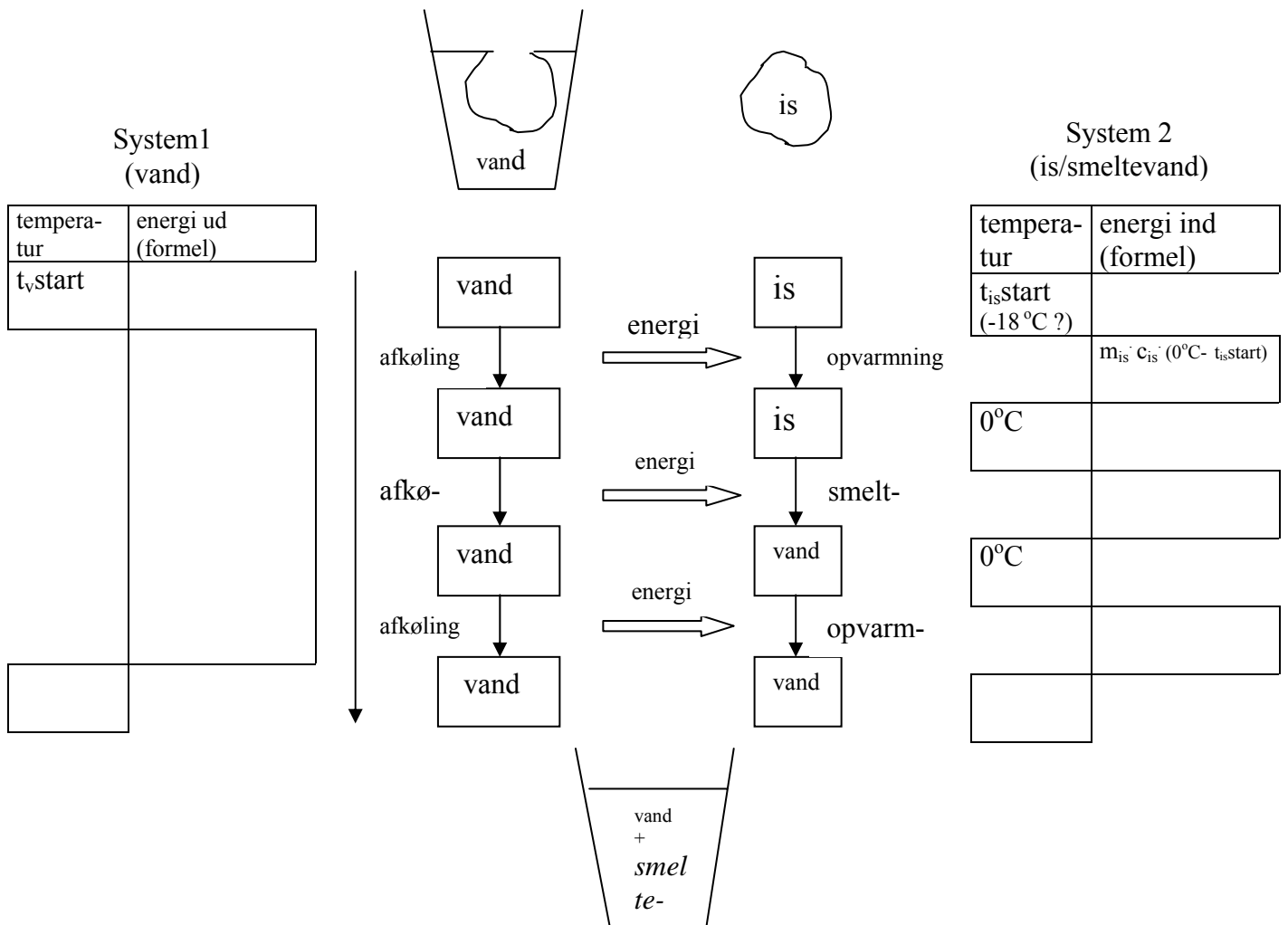
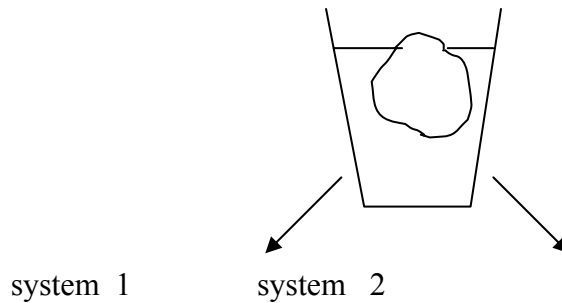
Disse ark skal afleveres efter timen. I får dem tilbage, så de kan danne grundlag for en rapport som I afleverer senere.

NB! Opskriften *skal* laves *før* I går i gang med at måle!

7. I skal prøve at planlægge målinger, så I kan bestemme den specifikke smeltevarme for vand. Det nemmeste er at lægge noget is ned i et bæger med vand og lade det smelte - og holde styr på hvad der sker. Prøv at beskrive hvordan I vil gøre: Hvilke målinger, hvilke beregninger. De næste spørgsmål på denne side angår hvad I skal måle. Hvis I har vanskeligheder her, så gå til pkt.5 og se på diagrammet på næste side.
8. Hvilke materialer skal I bruge?
9. Hvilke størrelser vil I måle? Opfind bogstavudtryk for dem.

10. Situationen, når vi lægger et stykke is (eller flere) ned i et bæger med

vand og lader isen smelte, er altså at vi har to delsystemer som bringes i kontakt med hinanden: system 1 (vand) og system 2 (is). På næste side er der tegnet et diagram der illustrerer tankegangen. Ved hjælp af det kan I danne jer et overblik over hvad der sker, så I kan opstille en ligning til beregning af smeltevarmen.



8. Beskriv i ord indholdet af det ovenstående diagram ("Først sker der det, og så..."). (Der står flere kommentarer og spørgsmål til dette diagram på næste side).

Kommentarer eller spørgsmål – til læreren eller til jer selv

9. To ting ved diagrammet kan forvirre:

- Systemerne behandles som to systemer – også efter at isen er blevet til vand og har blandet sig med det oprindelige vand.
- Det fremstår i diagrammet som om al isen smelter før smeltevandet begynder at blive varmet op.

Prøv også at skrive lidt om hvorfor man godt kan tillade sig at tænke på den måde.

Kommentarer eller spørgsmål –
til læreren eller til jer selv

9. Udfyld felterne i diagrammet med symboler for temperaturer og energiformler. Det er allerede gjort et par steder så I kan se ideen. (Det kan være I bliver nødt til at gå tilbage til pkt. 4 og tilføje flere størrelser). Når det er gjort, kan I opstille en ligning hvori de forskellige størrelser (herunder smeltevarmen, som I jo ikke kender og ikke kan måle direkte) indgår. Ideen til opstillingen af sådan en ligning er: Den energi der går ud af system 1 er lig med den samlede energi der går ind i system 2.

13. Hvad synes I vil være en passende starttemperatur for vandet? (Begrund)

14. Hvordan kan I måle/kende starttemperaturen for isklumpen?

15. Er der nogen fejlkilder i jeres eksperiment? Hvilken indflydelse har de på slutresultatet, den beregnede smeltevarme? (Dvs. resulterer en eller anden bestemt fejlkilde, som I nævner, en for *høj* eller en for *lav* værdi for smeltevarmen?)

16. Lav et skema til de størrelser I vil måle, som I kan sætte tal ind i når I senere går i gang.

17. Skriv en skridt-for-skridt instruktion til at bestemme den specifikke fordampningsvarme for vand. (Instruktionen skal kunne bruges som grundlag for at programmere en robot. Det vil bl.a. sige at formler og ligninger skal være skrevet op så man bare kan sætte de målte tal ind, sådan at det bliver rent rutineregneri at finde tallet).

Skriv kort hvad du synes du har lært af denne øvelse:

