

TEKST NR 425

2003

**Fysiske forklaringer
i undervisning**

Specialrapport af: Kirsten Ringgaard Jensen

Vejleder: Jens Højgaard Jensen

TEKSTER fra

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER

INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES
FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA – Roskilde Universitetscenter – Postboks 260 – DK 4000 Roskilde
Tlf.: 46742263 – Fax: 46743020 – Mail: imfufa@ruc.dk
Kirsten Ringgaard Jensen
“Fysiske forklaringer i undervisning”
IMFUFA tekst 425 – 84 sider – ISBN 0106-6242

Resume

Nærværende speciale handler om fysiske forklaringer og undervisning. Det har været min intention at påpege nogle særlige aspekter af fysiske forklaringer, som er væsentlige i en diskussion af, hvorfor man bør undervise i fysik. For at gøre dette har jeg arbejdet indgående med tre forskellige videnskabsteoretikere og deres forståelse af videnskabelige forklaringer. Jeg har behandlet Carl G. Hempels, Bas van Fraassens og Nancy Cartwrights opfattelser af videnskabelige forklaringer. Gennem dette arbejde er jeg stødt på to distinktioner mht. forklaringer, som, jeg mener, er væsentlige i undervisningssammenhænge og i forbindelse med begrundelsesdiskussionen af fysikundervisning generelt. Det drejer sig om en distinktion mellem nomologiske og kausale forklaringer og en distinktion mellem modelrelaterede og teoriafledte forklaringer. Betegnelserne på disse forskellige forklaringstyper har jeg valgt på baggrund af de forskellige betegnelser, der anvendes af de tre videnskabsteoretikere.

Distinktionen mellem nomologiske og kausale forklaringer refererer til, at nogle forklaringer opererer på et meget højt abstraktionsniveau (nomologiske forklaringer), mens andre er tæt koblet til det betragtede fænomens struktur og mekanismer (kausale forklaringer). Distinktionen mellem modelrelaterede og teoriafledte forklaringer refererer til, at der for nogle forklaringer gælder, at sammenhængen mellem teori og fænomen er meget tæt og deduktiv (teoriafledte forklaringer), mens der for andre forklaringer gælder, at sammenhængen mellem teori og fænomen er mere fjern og kræver anvendelsen af en model af fænomenet.

Det er min opfattelse, at opmærksomhed på disse forskellige forklaringstyper er af stor betydning, dels for selve undervisningen, dels for at kunne begrunde undervisningen i fysik. En skelnen mellem nomologiske og kausale forklaringer giver mulighed for på mere fordelagtig vis at tilskynde de studerende til at arbejde med en abstrakt og lov-mæssighedsbaseret måde at løse problemer på. Ved at skelne mellem modelrelaterede og teoriafledte forklaringer bliver det muligt at styre undervisningen mellem forskellige yderligtgående opfattelser af forholdet mellem natur og teori. Disse distinktioner har således også betydning for debatten angående fysikundervisningens begrundelse. Opmærksomhed omkring, hvad man kan lære i forbindelse med arbejdet med fysiske forklaringer, bevirker, at f.eks. muligheden for at flytte de studerende fra at have kompetencer inden for kausale forklaringer til at opnå kompetencer inden for nomologiske forklaringer bliver tydelig. Tilsvarende gælder det, at distinktionen mellem modelrelaterede og teoriafledte forklaringer sætter fokus på muligheden for gennem fysikundervisningen, at give de studerende et mere nuanceret billede af forholdet mellem teori og natur generelt.

Indhold

1	Indledning	1
1.1	Emneområdet	8
1.2	Metode	9
1.3	Læsevejledning	11
1.4	Terminologi	12
2	Den didaktiske ramme	13
2.1	Didaktik	13
2.2	Hvorfor?	15
2.3	Konstruktivisme	19
2.4	Opsamling	26
3	Forklaringsmodeller	27
3.1	Deduktiv-nomologisk forklaringsmodel	28
3.2	Hvorfor-spørgsmål	39
3.3	Cartwrights forklaringsmodel	46
3.4	Opsamling	56
4	Diskussion	59
4.1	Nomologiske forklaringer	59
4.2	Natur og teori	72
5	Konklusion	79
	Summary	81
	Litteratur	83

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

10/10/10

1 Indledning

Dette speciale handler om fysikopgaver. I forhold til undervisning i fysik er det væsentligt at se, at fysikopgaver ikke bare er en og samme ting i forskellige forklædninger. Jeg mener, der er væsentlige kvalitative forskelle på fysikopgaver, og at dette kan give anledning til mange overvejelser i forbindelse med fysikundervisning.

Jeg vil gennem rapporten etablere to distinktioner i forhold til fysikopgaver. Jeg vil skelne mellem opgavebesvarelser der bygger på, hvad jeg kalder, nomologiske forklaringer og opgavebesvarelser, der bygger på kausale forklaringer. Denne distinktion handler om i hvor høj grad og på hvilken måde, der abstraheres fra det betragtede systems indre mekanismer. Den anden distinktion handler om, hvor tæt en forbindelse, der er mellem teorien og fænomenet. Om et fænomen, der har en tæt forbindelse til teorien, vil jeg benytte ordet 'laboratoriefænomen', den tilknyttede forklaring vil jeg kalde en teoriafledt forklaring. Jeg mener, at man også kan finde eksempler på fænomener, hvis tilknytning til teorien går over flere trin. De forklaringer, der forbinder sådanne mere naturlige fænomener med teorien, vil jeg betegne som modelrelaterede forklaringer. Disse to distinktioner er ikke i særlig grad knyttet til hinanden, men udgør hver især væsentlige input til en didaktisk diskussion angående fysikundervisning. En uddybende redegørelse for disse distinktioner og betegnelser udgør projektets kerne. Her vil jeg eksemplificere distinktionerne for at angive retning og formål med denne rapport.

Den første opgavebesvarelse er et eksempel på en nomologisk forklaring.

Cykling

Hvor stor er kraften mellem fod og pedal i forhold til gnidningskraften mellem vej og dæk ved cykling? Begrund svaret. [Imfufa, 2003, (Juni 1999, 1. prøve, opgave 1)]

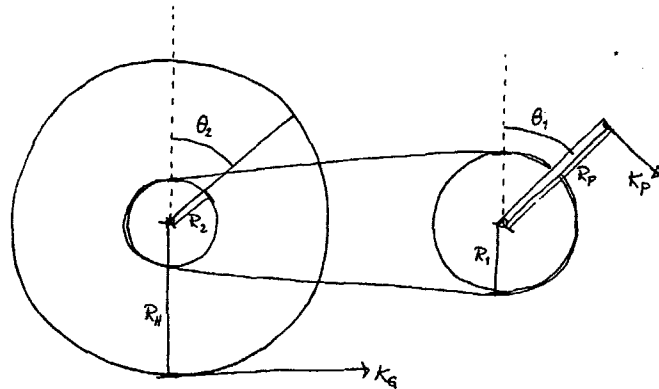
En nomologisk forklaring

Uanset om gnidningskraften mellem vej og dæk overvinder luftmodstand, accelererer eller løfter op ad bakke, må arbejdet den udfører på cykel plus person af energibevarelsesgrunde være omtrent det samme som det arbejde personen udfører ved at trampe i pedalen. Redegørelse for betegnelserne findes på figur 1.1:

$$\begin{aligned} A_P &= A_G & (1.1) \\ K_P R_P \Delta\theta_1 &= K_G R_H \Delta\theta_2 \\ \Rightarrow \frac{K_P}{K_G} &= \frac{R_H \Delta\theta_2}{R_P \Delta\theta_1} \end{aligned}$$

Forreste og bagerste tandhjul er forbundet via kæden, bevægelserne er dermed også forbundne på følgende måde:

$$\begin{aligned} R_1 \Delta\theta_1 &= R_2 \Delta\theta_2 \\ \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} &= \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1} \end{aligned}$$



Figur 1.1 Denne figur viser en skitse over cyklen i forbindelse med den nomologiske besvarelse af cykelopgaven.

Dermed fåes følgende forhold mellem de to kræfter:

$$\frac{K_P}{K_G} = \frac{R_H R_1}{R_P R_2}$$

[Jensen, 2000, s. 24 og 26]

Jeg kalder denne forklaring nomologisk, pga. den måde hvorpå cyklen betragtes som et samlet system. Den måde hvorpå lovmæssighed 1.1 benyttes afspejler denne overordnede systembetragtning. Forklaringen vidner om en evne hos opgaveløseren til at abstrahere fra cyklens mekanismer mht. hvordan pedal, tandhjul og kæde griber ind i hinanden. Netop disse mekanismer er centrale i forbindelse med følgende eksempel og er grunden til, at jeg vil kalde forklaringer af denne type for kausale.

Cykling; en kausal forklaring

Den kraft foden trykker på pedalen med (K_P) afstedkommer et kraftmoment (τ_1) på det system, der består af pedal og det forreste tandhjul. Se figur 1.2A.

$$\tau_1 = K_P R_P$$

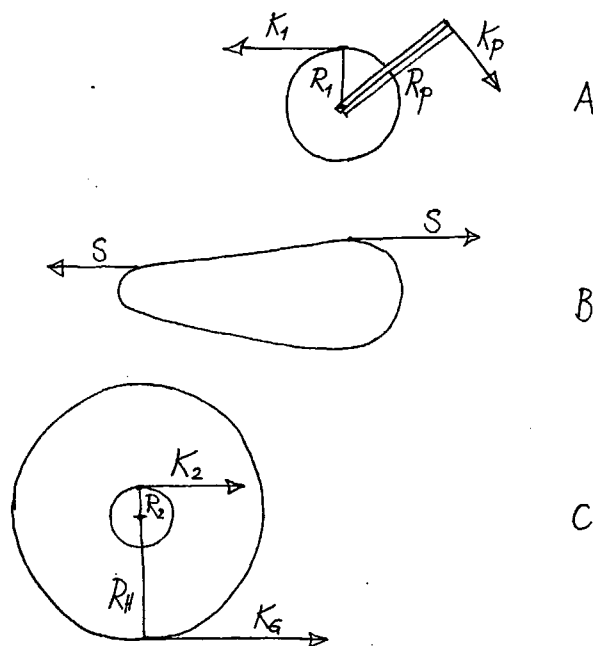
Pedalen og dermed tandhjulet bevæges rundt med konstant hastighed. Det betyder at impulsmomentet er konstant for dette system. For en sådan bevægelse gælder at det samlede kraftmoment på systemet er nul. Det isolerede system bestående af pedal og tandhjul påvirkes udelukkende af fodens kraft på pedalen og af kædens træk i tandhjulet. Kædens påvirkning af tandhjulet må altså afstedkomme et kraftmoment ($K_1 R_1$) af samme størrelse som τ_1 . Dermed opnåes følgende ligning:

$$\begin{aligned} K_P R_P &= K_1 R_1 \\ \Rightarrow K_1 &= K_P \frac{R_P}{R_1} \end{aligned} \quad (1.2)$$

Da aktion er lig reaktion må det gælde at kædens træk i tandhjulet er lig tandhjulets træk i kæden. Altså:

$$K_1 = S$$

Hvor S er spændingen i kæden.



Figur 1.2 Denne figur viser en skitse over tre delsystemer af cyklen i forbindelse med den kausale besvarelse af cykelopgaven.

Det antages at spændingen er den samme overalt i kæden. Se figur 1.2B.

Spændingen i kæden kan sættes lig kraften på det bagerste tandhjul igen på baggrund af et argument baseret på at aktion er lig reaktion.

$$S = K_2$$

Således opnåes en sammenhæng mellem kraften på det forreste tandhjul og kraften på det bagerste tandhjul:

$$K_1 = K_2$$

Betragtes systemet bestående af det bagerste tandhjul og hjulet (se figur 1.2C), ses det at kraften (K_2) på tandhjulet forårsager et kraftmoment (τ_2):

$$\tau_2 = K_2 R_2$$

Igen er der tale om en bevægelse med konstant impulsmoment. Det samlede kraftmoment skal altså også her være nul, og vi får at kraftmomentet fra tandhjulet skal modsvares af kraftmomentet forårsaget af gnidningskraften fra vejen på hjulet:

$$K_2 R_2 = K_G R_H$$

Da $K_1 = K_2$ kan udtrykket fra ligning 1.2 indsættes, og forholdet mellem kraften på pedalen og kraften på hjulet bliver:

$$\begin{aligned} K_P \frac{R_P}{R_1} R_2 &= K_G R_H \\ \Rightarrow \frac{K_P}{K_G} &= \frac{R_H R_1}{R_P R_2} \end{aligned}$$

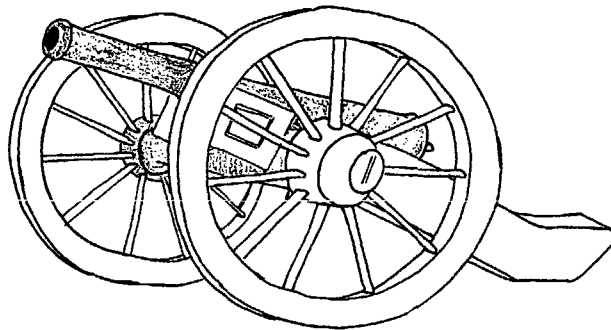
I denne kausale forklaring inddeles systemet i mindre delsystemer, som vha. teorien behandles hver for sig og siden sættes i forbindelse med hinanden. Således opnåes de samme resultater som i den nomologiske forklaring, men fremgangsmåden er altså ganske anderledes. Forskellen består som nævnt i måden, hvorpå systemet betragtes, og måden, hvorpå lovmæssigheder benyttes på dette system.

Det er min opfattelse, at mens den kausale forklaring er den umiddelbare fremgangsmåde for den mindre trænede opgaveløser, så kræver den nomologiske forklaring opøvelse af en særlig måde at betragte problemer på. Bladrer man lidt i lærebøger i fysik, vil det ligeledes være tydeligt, at der er et ønske om at formidle de nomologiske forklaringer. Jeg er interesseret i, hvorvidt der er nogen fornuft i dette set ud fra betragtninger om undervisningen som dannelse og set ud fra, hvad faget har at byde på. Jeg vil altså beskæftige mig med spørgsmål som: Hvorfor er det ikke godt nok, at eleverne kan benytte kausale forklaringer? Og ikke mindst vil jeg mere detaljeret besvare spørgsmålet: Hvad er forskellen på de to typer forklaringer? Jeg mener, at man gennem arbejdet med nomologiske forklaringer vil kunne optræne en måde at betragte problemer og fænomener på, som i høj grad er anvendelig i forbindelse med stillingtagen til mange samfundsproblemer og hverdagsproblemer. I kapitel 4 vil jeg vende tilbage til netop denne cykelopgave og forskellene i disse besvarelser.

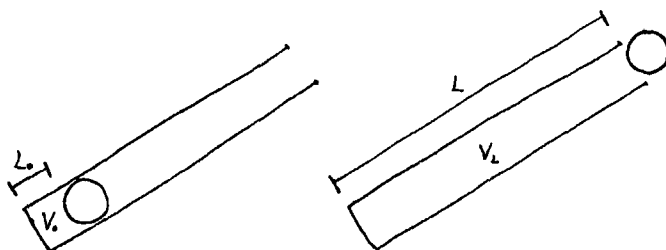
Distinktionen mellem teoriafledte og modelrelaterede forklaringer handler om forholdet mellem naturen og fysikkens beskrivelse af naturen. Jeg mener det ofte er svært at få øje på, hvad fysikken har med naturen at gøre, og jeg mener dette er et problem for fysikundervisningen. Følgende to opgaver illustrerer, hvordan denne forbindelse mellem natur og teori kan foranstaltes på forskellig vis:

Ildkraften af en kanon

Hvordan afhænger ildkraften af en kanon af kanonløbets længde? [Imfufa, 2003, (Juni 1998, 1. prøve, opgave 2)] En velkendt type kanon ses illustreret på figur 1.3



Figur 1.3 Figuren viser en tegning af en kanon.



Figur 1.4 Denne figur viser en skitse af en kanon før og efter eksplosionen. Betegnelserne der benyttes i kanonopgaven er indtegnet.

En modelrelateret forklaring

Ildkraft tolkes som den bevægelsesenergi, som kanonen tilfører kanonkuglen. Dernæst antages det, at kanonaffyringen sker ved, at der først sker en eksplosion af krudtet i et begrænset volumen (V_0) bag kuglen, hvorefter eksplosionsgassen presser kuglen ud af kanonen ved at udvide sit volumen til kanonløbsvolumet (V_L), uden at gassen når at afgive varme til eller modtage varme fra kanonløbet. Dvs. der er tale om en adiabatisk ekspansion. For skitse og betegnelser se figur 1.4.

Ildkraften er så det samme som arbejdet udført af eksplosionsgassen på kanonkuglen ved denne adiabatiske ekspansion:

$$\text{Ildkraft} = \Delta W = \int_{V_0}^{V_L} P dV$$

For adiabatiske processer gælder ligningen: $PV^\gamma = \text{konstant}$, hvor γ er forholdet mellem gassens varmekapacitet ved konstant tryk og varmekapaciteten ved konstant volumen ($\gamma = \frac{c_p}{c_v}$). Ifølge den adiabatiske ligning kan ligningen $V^\gamma P = V_0^\gamma P_0$ benyttes til en substitution af P i udtrykket for ildkraften:

$$\begin{aligned} \text{Ildkraft} &= V_0^\gamma P_0 \int_{V_0}^{V_L} V^{-\gamma} dV \\ &= V_0^\gamma P_0 \left[\frac{1}{-\gamma+1} V^{(-\gamma+1)} \right]_{V_0}^{V_L} \\ &= \frac{V_0^\gamma P_0}{-\gamma+1} \left(\frac{1}{V_L^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_0^{\gamma-1}} \right) \\ &= \frac{V_0^\gamma P_0}{\gamma-1} \left(\frac{1}{V_0^{\gamma-1}} - \frac{1}{V_L^{\gamma-1}} \right) \\ &= \frac{V_0^\gamma P_0}{\gamma-1} \left(1 - \frac{V_0^{\gamma-1}}{V_L^{\gamma-1}} \right) \\ &= \frac{V_0^\gamma P_0}{\gamma-1} \left(1 - \left(\frac{V_0}{V_L} \right)^{\gamma-1} \right) \end{aligned}$$

Forholdet mellem volumet bag kanonkuglen inden eksplosionen og hele kanonløbsvolumen (V_0/V_L) kan substitueres med forholdet mellem længden af kanonløbet før eksplo-

sionen (L_0) og længden af hele kanonløbet (L), (L_0/L). Dermed fåes følgende udtryk:

$$\text{Ildkraft} = \frac{V_0^\gamma P_0}{\gamma - 1} \left(1 - \left(\frac{L_0}{L} \right)^{\gamma-1} \right)$$

$\frac{V_0^\gamma P_0}{\gamma - 1}$ identificeres som gassens indre energi efter eksplosionen (U_0). Indkraften af en kanon kan da udtrykkes som følgende:

$$\text{Ildkraft} = U_0 \left(1 - \left(\frac{L_0}{L} \right)^{\gamma-1} \right)$$

[Jensen, 2003, s. 21] ¹

Satelliters omløbstid

Hvad er omløbstiden omkring jorden af en satellit? Begrund svaret. [Imfufa, 2003, (Opgave 53)]

En teoriafledt forklaring

Omløbstiden (T) for et legeme der roterer i en cirkelbane er:

$$T = \frac{O}{v} \quad (1.3)$$

Hvor O er cirkelbanens omkreds, og v er legemets hastighed. I dette tilfælde er der tale om satellittens hastighed. Se figur 1.5. Jeg vil antage, at der i opgaven hentydes til observationssatellitter, der kredser forholdsvis tæt på jordens overflade og omtrent i en cirkelformet bane. I dette tilfælde vil satellittens baneradius være omtrent lig jordens radius (R_j). Banens omkreds er altså lig jordens omkreds. På figur 1.5 ses en skitse af satellittens bane omkring jorden.

Det antages, at den eneste kraftpåvirkning satellitten oplever er tyngdekraften fra jorden. Tyngdekraften udgør centripetalkraften, der holder satellitten fast i sin bane. For et sådant system kan satellittens hastighed udtrykkes vha. banens radius og centripetalaccelerationen:

$$v = \sqrt{a_{cent} R_j}$$

Da centripetalkraften er lig tyngdekraften, er centripetalaccelerationen lig tyngdeaccelerationen (g):

$$g = a_{cent}$$

Satellitens hastighed kan da udtrykkes som:

$$v = \sqrt{g R_j} \quad (1.4)$$

Omkredsen af en cirkel med jordens radius er:

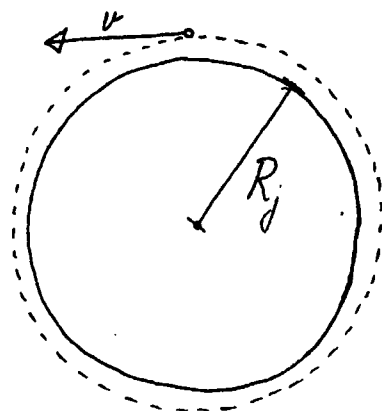
$$O = 2\pi R_j \quad (1.5)$$

Ved at indsætte udtryk 1.4 og 1.5 i ligning 1.3 får vi følgende udtryk for omløbstiden:

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi R_j}{\sqrt{g R_j}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{R_j}{g}} \end{aligned}$$

Jorden radius er $6,37 \cdot 10^6$ m. Tyngdeaccelerationen er $9,81$ m/s². Satellittens omløbstid bliver da:

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{6,37 \cdot 10^6 \text{ m}}{9,81 \text{ m/s}^2}} \\ &= 5063,1 \text{ s} = 1,41 \text{ timer} \end{aligned}$$



Figur 1.5 Denne figur viser en skitse af en observationssatellits bane omkring jorden.

Jeg mener, disse to opgaver adskiller sig fra hinanden ved, at der i besvarelsen af kanonopgaven sker en oversættelse af opgaveformuleringen. Der er tale om en oversættelse fra hverdags sproget til fysiske begreber samtidig med, at der skabes en ny skitse eller model af fænomenet i overensstemmelse med fysikkens begreber. Se figur 1.3 og 1.4. Dette finder ikke sted i den teoriafledte satellitopgave. Her er systemet og alle relevante begreber allerede givet. F.eks. er det indlysende, at der er tale om en cirkelbevægelse, der direkte kan relateres til en matematisk beskrivelse. Desuden er de antagelser, der her gøres mht. satellittens bane og afstand til jordens centrum, overskuelige, dvs. at det i princippet er muligt at inddrage en mere præcis afstand fra jordens centrum til satellitten, og det er i princippet muligt at inddrage en mere præcis baneform for satellitten, man kan altså beregne, hvor stor en afvigelse fra virkeligheden opgavens antagelser bevirker. Dette er ikke tilfælde i forbindelse med kanonopgaven. Her er antagelserne ikke overskuelige, forstået på den måde, at det ikke er kendt, hvorvidt man kan betragte fænomenet således, at der først sker en eksplosion og herefter en udvidelse af gassen medfølgende en bevægelse af kuglen. Den afvigelse fra virkeligheden, som en sådan antagelse bevirker, kan ikke umiddelbart beregnes, det ville kræve empiriske forsøg at vurdere dette. I satellitopgaven er forbindelsen mellem fænomen og lovmæssighed altså mere umiddelbar end i kanonopgaven. Som i forbindelse med cykelopgaven er jeg også her interesseret i at kunne besvare spørgsmål som: Hvad kan eleverne få ud af at arbejde med disse typer forklaringer? Hvordan påvirker sådanne opgaver forståelsen af forholdet mellem fænomen og lovmæssighed? Hvordan bidrager dette til elevernes dannelse? Jeg vil gennem arbejdet med dette projekt især interessere mig for nærmere at besvare spørgsmålet: Hvori består forskellen på disse to forklaringer? Jeg mener, at en større

1 Jeg har dog ændret lidt på besvarelsen udformning, f.eks. tilføjet et par ekstra mellemregninger.

bevidsthed omkring disse to typer forklaringer kan bibringe eleverne en dybere og mere nuanceret forståelse af fysikkens forhold til naturen.

Mit arbejde med dette projekt har særligt rettet mit fokus mod netop disse to distinktioner, som jeg her har givet eksempler på. Jeg vil i løbet af dette projekt nærmere udrede disse forskellige forklaringstyper, og jeg vil diskutere, hvorfor disse er interessante i undervisningssammenhæng.

1.1 Emneområdet

Emnet for dette projekt er således fysikundervisning og forklaringer. Jeg er nærmere bestemt interesseret i, hvordan man kan begrunde fysikundervisning generelt og undervisning i forskellige forklaringstyper specielt. Jeg er interesseret i, hvordan overordnede didaktiske overvejelser kan forenes med en forståelse af faget i sig selv, og tilsammen munde ud i en sammenhængende begrundelse af hvilke aspekter af faget man bør lægge vægt på i fysikundervisning.

Når jeg således fokuserer på begrundelser for fysikundervisningen, kan jeg angribe emnet fra to sider, dels kan jeg stille spørgsmålet: Hvorfor skal der overhovedet undervises i fysik? Eller: Hvorfor er det vigtigt at lære fysik. Man kan sagtens stille spørgsmålstegn ved, hvem der har interesse i at lære faget. Måske kunne man nøjes med at undervise de få, der skal virke som ingeniører eller fysikvidenskabelige forskere. Dels kan jeg undersøge emnet ved at stille spørgsmålet: Hvad er fysik? Gennem de didaktiske overvejelser angående, hvorfor der skal undervises i fysik, er det naturligvis elevens og samfundets behov, der søges tilgodeset. Det er i den forbindelse mindre interessant, hvorvidt det, der undervises i, er i overensstemmelse med fysik set som videnskabeligt fag. Men hvis overensstemmelsen kun er meget lille, hvorfor så overhovedet kalde faget for fysik? Hvad er det ved faget selv, som gør det interessant i undervisningssammenhæng?

Det er klart, at disse to spørgsmål er gensidigt afhængige. Det er ikke muligt, at svare velovervejede på, hvorfor der skal undervises i fysik, hvis ikke man har et kendskab til indholdet i faget, og hvilke færdigheder man kan opøve vha. faget. Samtidig er forståelsen af fysikfaget afhængig af, i hvilken sammenhæng man betragter faget. Hvad fysik er afhænger af, hvad man ønsker at bruge det til, hvordan man ønsker at bruge faget. Der er mange muligheder.

Jeg ønsker altså at undersøge, hvordan didaktiske overvejelser og faglige anskuelser af faget kan mødes og begrunde fysikundervisningen. Jeg er naturligvis også interesseret i hvilket indhold, der kan begrundes på denne måde. Det er min opfattelse, at denne dobbelte tilgang til problemstillingen ikke medfører kompromisløsninger, men at der faktisk er en overensstemmelse mellem interessante og relevante færdigheder og helt centrale elementer i fysikfaget. Hvis ikke jeg havde en formening om, at disse overvejelser ville kunne mødes og forenes, ville hele projektet være mindre interessant.

Som udgangspunkt har jeg valgt at beskæftige mig med forholdet mellem de fænomener, der betragtes i fysikken, og vores viden om disse fænomener, dvs. forholdet mellem teori og fænomen. Det er min opfattelse, at en nuanceret forståelse af dette forhold er en fordelagtig indfaldsvinkel til faget, fordi det er helt centralt både i forbindelse med det at kunne løse problemer og i forbindelse med det eksperimentelle arbejde. Forholdet mellem teori og fænomen er vigtigt for at forstå indholdet i et fag som fysik.

Jeg vil altså gerne diskutere karakteren af fagets indhold, hvilket oplagt foregår vha. videnskabsteorien.

Problemformulering

Hvordan kan videnskabsteoriens opfattelser af fysiske forklaringer bidrage til refleksioner angående fysikundervisning?

Jeg har søgt at begrænse mit projekt ved at koncentrere mig om en del af fysikfaget. I stedet for f.eks. at koncentrere mig om en særligt teoribygning, har jeg valgt at koncentrere mig om forklaringer. Som sagt mener jeg, forholdet mellem teori og fænomen er en central indfaldsvinkel til faget, og denne forbindelse mellem teori og fænomen udgøres netop af forklaringer. Forklaringer er centrale for fysik både som skolefag og som videnskabeligt fag. Skolefaget fysik består af flere forskellige aktiviteter, dels forsøg, dels opgaveregning, dels oplysninger om f.eks. naturlovene, og hvad stoffet består af. Uanset hvordan man anskuer forklaringer, så indgår de både i forbindelse med opstillingen af forsøg og forståelsen af forsøgene, i forbindelse med, hvorledes opgaverne gribes an, og i forbindelse med fremstillingen af fagets teoribygninger.

Der er ingen tvivl om, at forklaringer også relaterer sig til mange forskellige aspekter af det videnskabelige fag fysik. Forklaringer kan f.eks. spille en rolle både i forbindelse med udtænkningen af eksperimenter såvel som i forbindelse med fortolkningen af nye fænomener og etableringen af sammenhænge mellem forskellige teoribygninger. Det er derimod diskutabelt, *hvilken* rolle forklaringer spiller, og hvad det er for en type forklaringer, der spiller en rolle. Dette er centrale spørgsmål i mit projekt.

Forklaringen er det, der etablerer en forbindelse mellem teorien og fænomenet. Dette gælder, hvadenten man mener, at forklaringen består af en deduktiv udledning af fænomenet fra teorien, eller man mener, at forklaringen består af en kausal sammenhæng, dvs. forudgående hændelser eller mekanismer. Nogle videnskabsteoretikere vil mene, at forholdet mellem teori og fænomen ikke indeholder eller er afhængigt af en forklaring, men under alle omstændigheder sætter forklaringer fokus på dette forhold således, at også videnskabsteoretiske positioner, der afviser, at forklaringer har nogen egentlig betydning for videnskaben, kan inddrages i diskussionen.

Jeg har søgt forskellige videnskabsteoretiske opfattelser af fysikken for på den måde at kunne diskutere fagets karakter. Jeg vil gerne diskutere hvilke aspekter af fysikfagets forklaringer, der er interessante i forbindelse med undervisning. Jeg vil gerne diskutere på hvilken måde, fysiske forklaringer kan bidrage til uddannelse. Dette mener jeg gøres bedst ved at se på, hvad faget indeholder i forbindelse med forklaringer, og dernæst vurdere relevansen i forbindelse med undervisningen.

1.2 Metode

Som allerede nævnt vil jeg angribe problemstillingen fra to sider, dels gennem didaktiske overvejelser og dels gennem videnskabsteoretiske overvejelser. Dette har forårsaget, at jeg under arbejdet med dette projekt har bevæget mig rundt i spiral-agtige overvejelser. Diskussionerne i senere kapitler har haft betydning for diskussioner i tidligere kapitler og omvendt, dvs. betydning for, hvilke diskussioner det har været interessant at inddrage, og hvilken vægt de forskellige diskussioner har fået. Jeg har dog valgt en fremstilling, der bruger de didaktiske og videnskabsteoretiske overvejelser som grundlag

for en afsluttende og sammenhængende diskussion af forklaringer i fysikfaget og deres brug i forbindelse med begrundelser for faget. De videnskabssteoretiske diskussioner og overvejelser har fået den overvejende vægt, fordi jeg netop gerne vil inddrage de videnskabssteoretiske argumenter i den didaktiske diskussion og ikke omvendt. Dette, mener jeg, kræver fokus på videnskabssteorien. Jeg mener, at videnskabssteorien netop kan bidrage til den didaktiske diskussion med argumenter, der ikke er farvet alt for meget af interesser internt i faget selv eller særlige samfundsmæssige interesser.

Projektet indeholder altså en kortere diskussion af generelle didaktiske emner. Jeg vil forsøge at skabe et overblik over centrale dele af den nutidige didaktiske debat. Denne diskussion har til formål dels at give nogle forslag til begrundelser for fysikfagets tilstedeværelse i uddannelsessammenhænge overhovedet. Dels har den til formål at introducere nogle centrale didaktiske begreber og ideer.

I den videnskabssteoretiske diskussion har jeg valgt at inddrage tre forskellige videnskabssteoretiske modeller angående forklaringer. Disse forklaringsmodeller diskuteres i forhold til hinanden med det formål at vise, hvor forskelligt synet på forklaringer kan være og vurdere de forskellige forklaringsmodellers fordele og ulemper. Vha. denne diskussion vil jeg forsøge at tage stilling til hvilke forklaringsmodeller, der kan bruges til at give et billede af forskellige typer forklaringer.

Jeg håber, at jeg på baggrund af et overblik over de forskellige forklaringsmodeller vil kunne diskutere på hvilken måde, de forskellige forklaringsmodeller er relevante i forhold til fysik som undervisningsfag. Dvs. jeg vil diskutere hvilke træk ved forklaringer, som de forskellige forklaringsmodeller indfanger, og hvilke af disse træk der er væsentlige i en diskussion af undervisningens kvaliteter.

Det har i mit specialearbejde været et projekt i sig selv at finde ud af, hvad man mener, når man henviser til forklaringer. Gennem mit studie har jeg opdaget, at det er mange forskellige ting, der efterspørges, når man f.eks. spørger: Hvorfor forholder det sig sådan og sådan? Nogle vil gerne have indsigt i de mekanismer og den struktur, der på en eller anden måde resulterer i det betragtede fænomen, mens andre gerne vil kende sammenhængen mellem fænomenet og de anerkendte naturlove. Der er altså en forskel i hvordan ens personlige behov for forklaring tilfredsstilles. Ofte er det dog tilfældet, at der i videnskaben i det videnskabelige samfund er enighed om hvilke forklaringer der accepteres, og hvilke der må forkastes, således at nogle forklaringer betragtes som bedre end andre. Man kan dog ikke generelt sige, at f.eks. forklaringer, der henviser til mekanismer og strukturer, er bedre end forklaringer, der henviser til naturlove. Ofte vil den samme forklaring indeholde elementer af flere forskellige typer forklaringer. En forklaring kan f.eks. både have en matematisk udledt sammenhæng til naturlove og en kausal del, der giver indblik i fænomenets indre struktur og mekanismer. Når man bruger ordet 'forklaring', kan man altså henvise til både den ene og den anden af disse elementer.

Ordet 'forklaring' dækker altså meget bredt. Gennem diskussionen af forklaringsmodeller håber jeg, det bliver mere tydeligt, hvad ordet dækker over, og hvad det ikke dækker over. Som udgangspunkt vil jeg bruge ordet både om forholdet mellem teori og fænomen og om kausale forklaringer.

Den didaktiske diskussion er som sagt kort og generel i modsætning til den videnskabssteoretiske diskussion, der er detaljeret. At den videnskabssteoretiske diskussion er meget detaljeret hænger sammen med, at rapporten også afspejler den arbejdsproces,

der ligger bag specialet. Her har det været nødvendigt for mig at arbejde grundigt med videnskabsteorien for at kunne pege på de interessante distinktioner.

Analyse af forskellige typer forklaringer i forbindelse med didaktiske overvejelser angående fysikundervisningens begrundelse vil være emnet for den afsluttende diskussion. Jeg vil således her vende tilbage til problemformuleringen.

Det har været vigtigt for mig, at kunne illustrere de tre videnskabsteoretiske forklaringsmodeller gennem overskuelige og tydelige eksempler, idet jeg mener, at netop konkrete eksempler fra de enkelte fag ofte er en mangelvare i videnskabsteoretiske diskussioner. Ligeledes har jeg i forbindelse med den afsluttende diskussion bestræbt mig på at illustrere og konkretisere diskussionen gennem tydelige eksempler. Eksemplerne er i begge tilfælde hovedsagligt studieopgaver taget fra opgavesamlingen til det kursus på RUCs fysikoverbygning, der kaldes 'breddekurset'. [Imfufa, 2003]. Eksemplerne er udvalgt således, at de bedst muligt illustrere de pointer, jeg ønsker at fremhæve. Det har således ingen betydning for projektets konklusioner, hvorvidt breddeopgaverne er udformet med et særligt pædagogisk formål for øje.

Projektets formål er at etablere et grundlag på hvilket, det er muligt at diskutere mere konkrete didaktiske spørgsmål. Selve de meget konkrete didaktiske diskussioner betragter jeg som liggende uden for mit projekt. Det er ikke min bestræbelse at give gode råd om, hvorledes man bør undervise, det har jeg naturligvis på ingen måder forudsætninger for. Jeg er også klar over, at god undervisning i høj grad afhænger af underviserens egne refleksioner og fortrolighed med stoffet. Jeg vil udelukkende beskæftige mig med begrundelser for forskellige valg i undervisningssammenhæng. Jeg håber, at jeg selv kan have nytte af disse overvejelser den dag, jeg selv skal tilrettelægge et undervisningsforløb.

1.3 Læsevejledning

I kapitel 2 skitseres den didaktiske debat. Jeg har lagt vægt på kun at opridse diskussionen i den grad og udstrækning, det har betydning for resten af rapporten. Diskussionen er altså ganske generel, og det meste kan springes over, hvis man før har beskæftiget sig med didaktik. Dog fastslæses den position, jeg vil lægge til grund for de videre diskussioner, og kapitlets sidste afsnit indeholder en grundigere diskussion af forholdet mellem videnskabssyn og undervisningssyn.

Kapitel 3 omhandler tre forskellige videnskabsteoretiske forklaringsmodeller. Da projektet i sit udgangspunkt har haft som mål at undersøge de videnskabsteoretiske forklaringsmodeller og deraf udlede og diskutere nogle syn på forklaringer, der er interessante i undervisningssammenhæng, bærer dette kapitel i nogen grad præg af at være gengivende. Af sammen grund er kapitlet som allerede nævnt detaljeret og indeholder stof, som ikke nødvendigvis spiller nogen stor rolle for den senere diskussion. Jeg har dog igen forsøgt at beskære materialet, således at det bedst muligt forbereder læseren på de afsluttende diskussioner. I dette kapitel diskuterer jeg desuden de enkelte forklaringsmodellers styrker og svagheder i forhold til hinanden.

I kapitel 4 sammenholdes de didaktiske diskussioner med de videnskabsteoretiske diskussioner. Jeg udpeger to pointer fra de videnskabsteoretiske forklaringsmodeller som særligt interessante i forbindelse med undervisning. Jeg diskuterer, hvorfor og hvordan disse pointer spiller en rolle for undervisningen. I kapitlet inddrages eksempler, som

allerede er gennemgået tidligere. Disse gennemgås igen for at læseren slipper for at bladre meget rundt i rapporten. Kapitlet indeholder også nye eksempler, hvilket er utraditionelt for et diskussionskapitel. Jeg mener dog, at inddragelsen af disse eksempler på denne plads i rapporten giver god mening i forhold til projektet som sådan. Derfor har jeg valgt en sådan fremstilling.

1.4 Terminologi

Modeller

Ordet 'forklaringsmodel' henviser til den videnskabsteoretiske teori angående forklaringer. Det må ikke forveksles med en model, der faktisk virker som forklaring. Jeg vil betræbe mig på tydeligt at gøre opmærksom på, at der er tale om videnskabsteoretiske modeller, når dette er tilfældet. I rapporten henviser jeg også til andre former for modeller f.eks. fysiske modeller. Når dette er tilfældet, vil jeg tydeligt lade det fremgå, så forvekslinger skulle kunne undgås.

Fænomener

[...] many of the ancients held that phenomena are changing objects of the senses, as opposed to essences, the permanent reality. Thus phenomena were in contrast to reality. A present day positivist like van Fraassen holds that phenomena are the *only* reality. The word 'phenomenon' is neutral between these two doctrines. [Hacking, 1999, s. 221]

Jeg vil netop ordet 'fænomen' pga. dets neutralitet mellem på den ene side at betegne modsætningen til det virkelige og på den anden at betegne det eneste virkelige. I begge tilfælde er der tale om, at fænomenerne er det, der kan opfattes med sanserne.

Desuden vil jeg bruge 'fænomen' meget bredt. Jeg vil altså ikke begrænse ordet til udelukkende at betegne hændelser og processer, der optræder regelmæssigt under bestemte forhold, sådan som ordet bruges af mange videnskabsfolk. [Hacking, 1999, s. 221] Men i stedet bruge ordet om alt, hvad der kan opfattes med sanserne.

Teori

Lige som 'fænomen' vil ordet 'teori' også blive brugt i bred forstand. Jeg opfatter generelt teori som et sæt af lovmæssigheder og matematiske beskrivelser. Tilsammen udgør disse teorien. Men også når lovmæssighederne og regulariteterne ikke er matematisk formuleret, vil jeg benytte ordet.

2 Den didaktiske ramme

I dette kapitel vil jeg beskrive og diskutere nogle af de begreber og diskussioner, der er vigtige og centrale i den didaktiske debat.

2.1 Didaktik

Begrebet didaktikk stammer fra gresk og betyr undervisningskunst. [...] Der [fra svensk, dansk og norsk tradition] oppfattes didaktikk stort sett som vurderinger knyttet til begrunnelser, utvalg, strukturering og tilrettelegging av undervisningsinnhold. [Sjøberg, 1998, s. 29]

Didaktik betegner altså alle de overvejelser en lærer må gjøre sig angående undervisningen. For at give et overblik over disse forskjellige overvejelser kan man si, at det handler om tre overordnede spørsmål: *Hvad? Hvorfor? og Hvordan?* Dvs. *Hvad er det viktig at lære i fagene? Hvorfor skal der undervises i faget? Hvordan skal stoffet presenteres, således at det fremmer elevenes læring?* [Sjøberg, 1998, s. 32]

Disse tre spørsmål introduceres af Svein Sjøberg.

Hvorfor skal vi undervise i naturfag? Hva er det som gjør naturfag til så viktig at vi har plassert det som fag i en skole for alle, der bare de færreste skal bli naturvitere etter at skolen er over? Hvordan kan naturfagene bidra til å realisere skolens mer overordnede mål? Og i hvilken grad samsvarer våre mål med de mål eleven har? [Sjøberg, 1998, s. 32]

Her efterspørres meget overordnet begrundelser for, hvorfor der overhovedet skal undervises i naturfag i skolen. Jeg vil rette spørsmålet udelukkende mod, hvorfor der skal undervises i fysik. Jeg vil desuden rette spørsmålet mod fysikundervisning i bred forstand, dvs. mod undervisning af elever, der ikke alle har interesse i at skulle videre-uddanne sig inden for faget eller bruge faget direkte i jobsammenhænge.

Elevens egen begrundelse for at vælge faget kan naturligvis have betydning for besvarelsen af dette spørgsmål, men mange gange er dette ikke tilfældet, og mange gange har eleven ikke tilstrækkeligt overblik til, at den enkeltes besvarelse af spørgsmålet bør have afgørende betydning for tilrettelæggelsen af undervisningen. Langt vigtigere er det, at læreren gør sig overvejelser om, hvorfor undervisningen foregår. Lærerens svar på dette spørgsmål har betydning for både, hvad der skal undervises i, og hvordan undervisningen skal foregå.

Svein Sjøberg ser to vidt forskellige holdninger til, hvorfor det er vigtigt at inddrage naturfag, herunder fysik, i skolen. Den ene grund er, at eleverne vil have nytte af naturfagene som redskaber i forbindelse med senere uddannelser og job. Dette argument kan ifølge Sjøberg ikke begrunde, at det er vigtigt for alle at lære naturfag, da det langt

fra er alle, der senere vil stå med et sådant redskabsbehov. Det andet argument er, at naturfag er en vigtig del af vores kultur. At kende til naturfagene er vigtigt i forhold til at forstå den kultur og generelt den verden, vi lever i. Dvs. naturfag er en væsentlig ingrediens i dannelsen af det enkelte menneske. Dette sidste argument er ifølge Sjøberg en virkelig god grund til, at alle bør lære naturfag. Jeg vil komme nærmere ind på disse forskellige argumenter i næste afsnit.

Hvad-spørgsmålet lægger op til at overveje en række spørgsmål angående indholdet i undervisningen og i faget:

Hva er vigtig i faget, og hva er mindre vigtig? Hva er bærende tanker - og hva er perifert? Hva er stabilt og varig - og hva er det som fort foreldes og endres? Hva skal vi ta med - og hva skal vi utelate?

Naturfagene består av en uendelig kunnskapsmengde, og vi må gjøre viktige valg om hva som er viktig og hva som er mindre viktig. Faget består ikke bare av kunnskaper, det omfatter også metoder, arbeidsmåter og prosesser. Naturvitenskapen kan også vurderes som viktige samfunnsinstitusjoner som i dag involverer millioner av mennesker. De står for bestemte interesser, verdier og idealer. Hvordan skal man balansere alt dette mot hverandre, hva skal man legge vekt på? Et svar på hva som er viktig i naturfag forutsetter selvsagt at man vet hva man snakker om, men andre ord et svar på et grunnleggende hva-spørsmål: Hva er naturfag? [Sjøberg, 1998, s. 32]

Fysikfaget består af mange forskellige elementer: Abstrakte lovmæssigheder, eksperimenter, forklaringer, metoder til fremstilling af lovmæssighederne, fortolkninger af eksperimenterne osv. Disse kan tildeles forskellig vægt afhængig af, hvad man ser som det centrale i faget, eller afhængig af hvilke begrundelser man har for undervisningen. Fysikfaget indeholder desuden mange forskellige aspekter. Fysikfaget kan ses som redskabsfag, dannelsesfag, som et middel til forståelse af naturen, kulturen, eller teknikken. Mange forskellige interesser og hensyn er på denne måde med til at bestemme, hvad der skal undervises i. Dette er med til at bestemme indholdet i undervisningen. Undervisningens indhold er altså meget afhængig af de begrundelser for undervisningen, man har som udgangspunkt. At besvare hvorfor-spørgsmålet er en forudsætning for at kunne prioritere undervisningens indhold.

Når man spørger, hvad der er vigtigt i fysikfaget, kan dette altså være rettet mod, hvad det er vigtigt at undervise i, men spørgsmålet kan også være rettet mod en forståelse af fagets indhold som videnskabsfag. Det er dette spørgsmål, der har interesse for mig i dette projekt. For mig er det interessant at kunne give en karakteristik af nogle elementer og aspekter af faget som baggrund for igen at kunne vende tilbage til spørgsmålet om begrundelser for undervisningen. Jeg er naturligvis nødt til at vælge et særligt syn på det overordnede formål med undervisningen for overhovedet at være i stand til at udpege nogle elementer i faget som interessante i denne sammenhæng. På denne måde er hvad- og hvorfor-spørgsmålet knyttet tæt sammen.

Min særlige vinkel på fagets indhold i forbindelse med dette projekt er som allerede nævnt at bruge videnskabsteorien øjne på fysikfaget. Dette er een blandt mange forskellige interesser for faget. Videnskabsteoriens syn på fysikfaget kan igen være meget forskellige, men jeg mener, at de videnskabsteoretiske diskussioner giver i højere grad et billede af faget, der handler om faget selv uden udenomsinteresser, end både diskussioner internt i faget og syn på faget, der tager udgangspunkt i faget som uddan-

nelse, redskabsfag til brug i f.eks. tekniske sammenhænge eller andre særlige syn på og interesser for faget.

Det sidste af didaktikkens tre spørgsmål er hvordan-spørgsmålet:

Hvordan skal lærestoffet presenteres på en måde som fremmer elevernes læring? For det er jo læring som er målet, og det som blir lært av en elev er ikke alltid det samme som det som blir undervist av en lærer eller presentert i en lærebok. [Sjøberg, 1998, s. 32]

Hvordan et stof skal formidles afhænger naturligvis af, hvilke elementer man vælger som de væsentlige i faget, men formidlingen af stoffet afhænger også af forståelsen af, hvad det vil sige at lære, dvs. hvordan elever bedst muligt tilegner sig nyt stof.

Der findes forskellige teorier om læring og didaktik, men der er en enkelt, der skiller sig ud som den i øjeblikket mest anerkendte og accepterede teori eller ide. Det er den konstruktivistiske ide. Fordi denne retning er anerkendt blandt mange, har jeg valgt at tage udgangspunkt i denne, og herudfra forsøge at fremstille de begreber, der i denne sammenhæng dukker op. I afsnit 2.3 vil jeg kort opridse konstruktivismens grundtanker.

Jeg vil i dette projekt egentligt ikke beskæftige mig med hvordan-spørgsmålet, men konstruktivismen er alligevel interessant at have med som baggrund for resten af projektet af flere grunde: Dels giver konstruktivismen nogle generelle retningslinier for, hvordan mennesker bedst lærer. Dermed kan konstruktivismen hjælpe med til at forstå hvilke aspekter af faget, der er svære at lære. At forstå, hvad der er svært at lære, er også med til at pege på, hvad det er vigtigt at undervise i. Dels er jeg stødt på den antagelse, at konstruktivismen som undervisningssyn, dvs. syn på, hvordan man bør undervise, medfører et konstruktivistisk videnskabssyn. Dette er i sig selv en diskussion, der er interessant for undervisningen, men den er også interessant i dette projekt, fordi de forklaringsmodeller, jeg inddrager, hver især har baggrund i forskellige tolkninger af videnskaben. Som sådan er det vigtigt for mig at diskutere, hvorvidt disse forskellige forklaringsmodeller er forenelige med det meget fremherskende konstruktivistiske undervisningssyn. Hvis de forskellige forklaringsmodeller ikke er forenelige med det konstruktivistiske undervisningssyn, vil det naturligvis være vanskeligt og ganske uinteressant at bruge disse forklaringsmodeller som grundlag for en diskussion af begrundelserne for at undervise i forklaringer og fysik med konstruktivismen som undervisningssyn. Det er min holdning, at konstruktivismen som undervisningssyn ikke behøver samstemmes med et konstruktivistisk videnskabssyn, men dette vil jeg ligeledes vende tilbage til i afsnit 2.3.

2.2 Hvorfor?

Gennem undersøgelsen af hvad fysikfaget indeholder, vil jeg nærme mig spørgsmålet om, hvorfor man bør undervise i fysik. Dvs. jeg vil diskutere, hvorvidt og hvorfor fagets indhold er interessant at blive undervist i. Denne diskussion kan jeg kun føre på baggrund af en forudgående diskussion af hvilke overordnede krav og mål, der stilles til undervisningen. Skal eleverne forberedes til videre studier, eller er det ønsket, at eleverne opnår en bredere form for dannelse og indsigt inden for vores kultur? I projektets afsluttende diskussion vil jeg således sammenholde disse overordnede begrundelsesargumenter med diskussionen angående fagets indhold og vurdere, hvorvidt der er en overensstemmelse

mellem disse.

Begrundelser for fysikundervisningen bliver således min vej ind i den didaktiske diskussion. Og jeg vil i dette afsnit diskutere de overordnede argumenter for at undervise i faget, det vil generelt set sige dannelsesargumenter og nytteargumenter.

2.2.1 Nytteargumenter

Der findes mange forskellige argumenter for og formål med fysikundervisningen generelt. Sjøberg inddeler overordnet argumenterne i to typer; nytteargumenter og dannelsesargumenter. Nytteargumenter handler generelt om, at eleven gennem undervisningen i fysik bør opnå færdigheder, der senere kan bruges i konkrete sammenhænge f.eks. i en arbejdsfunktion, i et videre studie eller i hverdagslivet. Dannelsesargumenter handler om, at eleven skal blive i stand til at deltage aktivt og ansvarligt i f.eks. det demokratiske samfund, eller at eleven skal opnå en forståelse for menneskets kultur og historiske baggrund. [Sjøberg, 1998, s. 162]

Det kan synes oplagt for naturvidenskaben at anvende nytteargumenter, når man vil argumentere for, hvorfor naturvidenskab er et vigtigt fag. Det er let at se, at der overalt i samfundet findes megen teknik, som er baseret på naturvidenskaben. Men det er svært at forklare, hvorfor det er vigtigt via naturvidenskaben at kunne trænge om bag teknikken, og opnå en forståelse af, hvordan den virker. Dette er kun relevant for ganske få mennesker, der kommer til at bestride job, der netop har med en specifik teknik at gøre. Det er relevant for mange mennesker at kunne bruge den teknik, der omgiver os i vores hverdag, men det er sjældent nødvendigt at have kendskab til naturvidenskaben for at lære at bruge teknikken.

Sjøberg fremhæver da også, at ikke alle elever senere vil komme til at bestride arbejdsfunktioner, hvor netop specifik fysikviden er påkrævet. Og da undervisning ofte er forberedende til videre studier, er det nok så relevant at påpege, at kun et fåtal af eleverne vil få brug for specifik fysikviden i senere studier. [Sjøberg, 1998, s. 166]

Et begreb, der er oplagt at bruge i forbindelse med nytteargumenterne, er kvalifikationsbegrebet. Med kvalifikationer tænkes der nemlig på en opøvelse af de processer og den viden, som den enkelte senere vil kunne få brug for i forbindelse med et arbejde eller med en videre uddannelse. Man kan skelne mellem forskellige typer kvalifikationer. F.eks. undervisningsministeriets skelnen mellem specifikke kvalifikationer, almene kvalifikationer og personlige kvalifikationer:

- specifikke faglige kvalifikationer [...], der omfatter faglig og videnskabelig specialisering på højt niveau. De kaldes også procesafhængige kvalifikationer, idet de er bundet til udførelsen af bestemte fagopgaver.
- almene kvalifikationer [...] omfattende de grundlæggende færdigheder såsom at regne, skrive, læse, IT-kunnen og evnen til informationsøgning og -sortering. Også fremmedsprog og international orientering samt basale kundskaber om dansk kultur og fremmede kulturer samt samspillet mellem mennesker og naturen falder ind herunder.
- personlige kvalifikationer [...] også kaldet de procesafhængige kvalifikationer. Det er omstillingsevne, samarbejdsevner, selvstændighed, o.l. samt mere holdningsmæssige aspekter såsom engagement, åbenhed og kritisk sans.

[Dolin, 2003, s. 342]

Det er dog et spørgsmål i hvilken udstrækning fysikfaget bidrager med alle tre typer kvalifikationer. Umiddelbart ser det i kvalifikationsbegrebets lys ud til, at fysikfaget bedst kan bidrage med specifikke kvalifikationer. Dette er i god overensstemmelse med Sjøbergs forståelse af nytteargumenterne. Hvis man forstår nytte på denne måde udelukkende i forhold til specifikke funktioner, f.eks. jobfunktioner, vil jeg medgive Sjøberg hans afvisning af nytteargumenterne.

Jeg mener dog, at fysikfaget kan bidrage med mere end dette. Men kvalifikationsbegrebet giver for mig at se en skæv vinkel i denne diskussion, da der fokuseres for meget på senere anvendelse i forbindelse med jobfunktioner. Jeg mener, at fysikfaget i høj grad kan bidrage med opøvelse af f.eks. kritisk sans og forståelse af samspillet mellem mennesker og natur, men hvis dette udelukkende skal ses som relevant i forbindelse med job, bliver den særlige fysiske kritiske sans og den særlige fysiske forståelse af samspillet mellem menneske og natur ganske perifer og i mange sammenhænge mindre brugbar, end så mange andre videnskabers bidrag til det samme.

2.2.2 Dannelsesargumenter

Jeg er ikke interesseret i at gå ind i en dybere diskussion af dannelsesbegrebet, men vil med det samme lægge mig fast på at dannelsesprocessen overordnet kan betragtes som en personlighedsudviklende proces. Dette er en meget overordnet definition, men den er tilstrækkelig i forbindelse med dette projekt, fordi definitionen lægger vægt på den enkelte persons evner og forståelse frem for opøvelse af særlige erhvervsrettede kvalifikationer. Der kan være tale om forskellige former for evner og forståelse. Sjøberg nævner f.eks. to forskellige syn på, hvorfor dannelse er væsentligt i henholdsvis demokratiargumentet og kulturargumentet. I det første argument lægges der vægt på menneskets evne til at deltage aktivt i samfundet, mens der i det andet lægges vægt på menneskets evne til at forstå den kultur vedkommende lever i, dvs. både have kendskab til vigtige historiske hændelser og kendskab til f.eks. tankegange, der er vigtige og centrale i vores kultur.

Hvad resultaterne af dannelsen bør være kan blive en længere diskussion. Jeg vil korte det ned til at sige, at det er min opfattelse at for at noget er personlighedsudviklende, skal der være tale om, at mennesket overskrider egne hidtidige grænser, at man f.eks. bliver i stand til at se sig selv i et større perspektiv, at man bliver i stand til at se omverdenen i et nyt perspektiv, eller at man opøver nye måder at betragte omverdenen på. I forbindelse med et specifikt fag kan dannelse resultere i, at man overskrider sine egne forudfattede måder at tænke på og opnår nye måder at betragte det faglige indhold på. Dels blot nye måder at betragte det faglige indhold på, dels nye måder at sætte de faglige kundskaber i forbindelse med diskussioner, der rækker ud over faget selv, f.eks. diskussion af nye teknologiske fremskridt og debat om risiko ved atomkraft. Ligeledes kan man diskutere, hvad man skal foretage sig for at blive dannet. Jeg vil gennem dette projekt diskutere, hvorledes nogle typer forklaringer kan styrke særlige egenskaber og evner hos eleven.

Jeg mener, det er svært at skelne skarpt mellem nytteargumenter og dannelsesargumenter. Mange gange kan de samme evner og den samme viden både bidrage til udviklingen af den enkelte person og anvendes i jobsituationer. Omstillingsevne, samarbejdsevner, selvstændighed, og engagement, åbenhed og kritisk sans, er alle personlige kvalifikationer, som netop i stadig højere grad efterspørges af både erhvervslivet og

de videregående uddannelser [Dolin, 2003, s. 343-344] Det samme gælder mange af de almene kvalifikationer. Alle disse kvalifikationer, mener jeg, i høj grad er med til at udvikle den enkelte personligt. Opøvelsen af disse kvalifikationer må nødvendigvis foregå i sammenhænge, hvor eleven bliver sat over for f.eks. at skulle betragte nye fænomener, betragte kendte ting og sammenhænge på nye måder, vurdere forskellige ting eller situationer osv. Alt sammen situationer, hvor eleven bliver nød til at revurdere og overskride egne forudfattede måder at tænke på.

Jeg mener altså ikke, man kan skelne skarpt mellem nytteargumenter og dannelsesargumenter, og en sådan skelnen er dermed heller ikke særlig interessant og brugbar i begrundelsesdiskussionen. Jeg vil dog lægge vægt på, at det væsentlige er elevernes dannelse, da de relevante specifikke jobrelaterede kvalifikationer varierer fra person til person, og da mange af de efterspurgte kvalifikationer også i høj grad forudsætter dannelse.

2.2.3 Kompetencer

En vurdering af forskellige begrundelsesargumenter er naturligvis med til at udpege undervisningens indhold. Men med dannelsesbegrebet som grundlag skelnes der f.eks. ikke mellem forskellige typer erkendelse så som faktuel viden og tankegange og metoder. Via dannelsesbegrundelsen kan man lige vel argumentere for, at visse lovmæssigheder og kendskab til stoffets bestanddele er centrale for faget set i et historisk og kulturelt perspektiv, så vel som man kan argumentere for, at visse tankemønstre er gennemgående og gentager sig i forbindelse med argumentationer og problemløsninger i det moderne samfund.

Sjøberg nævner tre forskellige måder, hvorpå naturvidenskab er en del af vores kultur: Som produkt, som proces og som social institution. Dvs. at både den konkrete viden i form af fakta, metoderne og tankegangene og den måde, hvorpå faget udvikles gennem universiteter og forskningssamarbejder, er en vigtig del af vores samfund. I forbindelse med dette projekt bliver det især fysikken som proces, der bliver fremtrædende i og med, at jeg har valgt at se på forklaringer i fysikken. Jeg vil dog blot påpege, at fysikkens andre elementer også er interessante i forbindelse med begrundelsesdiskussionen og diskussionen af, hvad man skal lægge vægten på i undervisningen.

Jeg finder kompetencebegrebet nyttigt for at kunne skelne mellem den faktuelle viden og de mere procesrettede evner. Eller med andre ord mener jeg, det er nyttigt at skelne mellem det at vide noget og evnen til at kunne handle. Kompetencebegrebet sætter netop fokus på menneskets evne til at handle. F.eks. taler man om en kompetence til at samarbejde med andre, en kompetence til at kommunikere, en kompetence til at udføre særlige opgaver.

Jens Dolin har lavet et udkast til en kompetencebeskrivelse i fysik. »En kompetencebeskrivelse af et fag er et forsøg på at identificere de handlinger, som eleverne skal udføre for at kunne gennemføre de i faget ønskede aktiviteter.« [Dolin, 2003, s. 372] Det nævnes, at disse kompetencer inden for det enkelte fag skal ses i sammenhæng til de almene kompetencer, som giver retningslinier for uddannelsen generelt f.eks. gymnasiebekendtgørelsen. Hvis de generelle kompetencer således tager udgangspunkt i et særligt formål med undervisningen, vil et tilsvarende formål være gældende for kompetencebeskrivelsen i det enkelte fag. Der anføres 11 forskellige kompetencer som alle har flere underpunkter. Her har jeg kun medtaget overskrifterne:

- Eleverne skal være i stand til at
 - Udøve fysikfaglig tankegang
 - Ræsonnere fysikfagligt
 - Planlægge, udføre og beskrive fysiske eksperimenter
 - Opbygge og analysere modeller
 - Arbejde med forskellige repræsentationer af fysiske fænomener
 - Kommunikere i, med og om fysik
 - Kritisk kunne vurdere fysikkens arbejde og resultater
 - Relatere sig selv til fysikkens beskrivelse af omverdenen og kunne vurdere fysikkens værdinormer og vidensidealer i relation til andre vidensformer og værdinormer.
- Eleverne skal besidde kendskab til og indsigt i
 - Fysikkens relationer til andre fag
 - Fysikkens særlige karakter som disiplin og erkendelsesmåde
 - Fysikkens historiske udvikling

[Dolin, 2003, s. 375-376]

Kompetencebegrebet er spændende i den didaktiske diskussion, fordi det lægger op til at diskutere undervisningens mål frem for det mere specifikke indhold i undervisningens. Hvis det man ønsker er at danne eleverne og i højere grad give dem almene og personlige kvalifikationer frem for specifikke kvalifikationer, så må det være en vurdering af kompetencer, der i højere grad skal ligge til grund for diskussionen af undervisningen frem for et fokus på, hvad eleverne lære af konkrete teorier og eksperimenter.

Jeg mener altså, at kompetencebegrebet er interessant i forbindelse med at erhvervslevets og universiteternes krav flyttes fra krav om specifikke kvalifikationer til krav om almene og personlige kvalifikationer. Dvs. det, at evnen til at kunne reagere på og indstille sig på nye situationer vægtes højere, kan sammenlignes med at flytte vægten fra at vide noget til at kunne noget. Derudover mener jeg, kompetencebegrebet er interessant i forbindelse med dette projekt, fordi at jeg med mit valg af forklaringer i fysikken allerede har valgt i højere grad at beskæftige mig med handling i form af tankegange frem for faktuel viden. Kompetencebegrebet kan således være nyttigt i forbindelse med min senere diskussion af, hvilke særlige karakteristika forklaringsmodellerne fremviser.

2.3 Konstruktivisme

Konstruktivismen er baseret på det synspunkt, at i en læringsituation må enhver elev selv være aktiv og konstruere sin egen forståelse.

Vi er hele tiden aktive i å skape eller konstruere vår egen virkelighet, slik at verden ikke bare er et kaos av enkeltfenomener uten sammenheng. Vi er hele tiden aktive byggere av »lover« og »teorier«, slik at verden gir mening og får betydning for oss. Når vi lærer, vil vi aldri bare overta andres kunnskaper eller ferdigheter, men vi må selv være aktive konstruktører. Det er nettopp dette vi kaller for konstruktivisme. [Sjøberg, 1998, s. 39]

Det er naturligvis plottet i enhver undervisningssituation, at elevens konstruktion af egen virkelighed skal styres og ikke gå i vilkårlige retninger. Dette er lærerens opgave. For at kunne styre den konstruktion, der foregår i eleven, er det interessant at vide, på

hvilken måde eleven bærer sig ad med at konstruere, dvs. hvilke mekanismer der har betydning for elevens konstruktion.

Björn Andersson peger på tre hovedkomponenter i den konstruktivistiske model for læring. Disse er: »Ideen om *ligevægt gennem selvregulering*, tanken om *mennesket som et nysgerrigt og videbegærligt væsen*, samt forestillingen om *tankestrukturer*« [Andersson, 1992, s. 18]. Jeg vil gerne påpege, at disse komponenter er af psykologisk karakter, og det er sådan, jeg opfatter grundessensen af konstruktivismen som læringssyn og undervisningssyn.

Det ligger i intelligensens natur at tilpasse handlinger og forestillinger efter omstændighederne. Dvs. at intelligensen søger at opretholde en overensstemmelse mellem de indre billeder og ideer om verden og de input, der kommer fra omgivelserne. Når der er en sådan ligevægt, vil mennesket være i stand til at reagere hensigtsmæssigt på hændelser. Det er en vigtig egenskab ved intelligensen, at den hele tiden tilpasser sig til omstændighederne. I forbindelse med undervisning er denne tilpasningsevne interessant, fordi en forstyrrelse af ligevægten bevirker, at der gøres forsøg på at genoprette ligevægten og dermed forsøg på at lære. [Andersson, 1992, s. 18]

At være nysgerrig vil sige at interessere sig for noget. Nysgerrighed vil oftest forstås som interesse for de elementer i tilværelsen, som går ud over den umiddelbare tilpasning til miljøet og overlevelse. Nysgerrigheden spiller en stor rolle i forbindelse med læring, fordi den bringer mennesket i situationer, hvor ligevægten forstyrres. Nysgerrigheden virker altså som en motivation til at lære. [Andersson, 1992, s. 19]

Disse to første af konstruktivismens komponenter beskrives af Björn Andersson som intelligensens funktion. Den tredje komponent er intelligensens struktur. Det er vigtigt at pointere, at funktion og struktur er nært forbundet. Tankestrukturer er det bagvedliggende, som tilpasningsevnen og nysgerrigheden fungerer på. [Andersson, 1992, s. 20]

Tankestrukturer er et samlende navn for forskellige kognitive organisationer hos individet. Når strukturerne er i funktion, eller konstruerer, så tænker vi, løser opgaver, kan, forstår, husker mm. Begreber, opfattelser og erindringsbilleder er aspekter af strukturernes aktivitet. Ifølge dette synspunkt har vi altså hverken begreber eller billeder lagret i vor hjerne. Vi har strukturer. Det er når disse er aktive og konstruerer, at vi skaber begreber og erindringsbilleder. I praksis bliver det omstændeligt at have sproglige udtryk til at holde struktur og funktion adskilt fra hinanden. I stedet for at sige, at eleven har en struktur, som kan konstruere begrebet proportionalitet, siger vi kort og godt, at han har begrebet proportionalitet. [Andersson, 1992, s. 21]

Ifølge konstruktivismen er det vigtigt for enhver lærer at have kendskab til elevens forforståelse i form af elevens allerede eksisterende strukturer. Hvad, eleven allerede har i sin samling af strukturer, er udgangspunktet for at lære nye begreber, for begreber indpasses i den eksisterende struktur ved at blive bearbejdet i mange forskellige sammenhænge og i mange forskellige relationer til de allerede eksisterende begreber. Eleven har altså behov for at anvende de nye strukturer og begreber i mange forskellige situationer, hvis de skal tilegnes som elevens egne og bevares.

Konstruktivismen som læringsteori handler om, hvordan man bør undervise, og hvordan undervisningen bør tilrettelægges. Jeg mener dog ikke, man af konstruktivi-

smen kan udlede meget konkrete svar på dette spørgsmål. Jeg forstår konstruktivismen som en form for retningsangivende ide angående de psykologiske mekanismer bag læring og ikke som en egentlig teori for, hvordan man præcist skal udforme undervisningen. Hvordan undervisningen skal udformes for at fremelske de processer, hvori læringen bedst foregår, siger konstruktivismen derimod mindre om. Her er det op til den enkelte lærer at overveje, hvorledes man opnår, at eleverne faktisk befinder sig i en proces, hvor læring foregår.

Alligevel kan man dog af konstruktivismen udlede nogle overordnede retningslinier for undervisningens tilrettelæggelse. Ideen om, at eleven skal sættes i en situation, hvor denne bliver i stand til selv at konstruerer begreber og strukturer, er udgangspunktet for disse retningslinier. Dette kræver generelt set, at det, eleven allerede kan og ved, tages i betragtning. Det kræver, at eleven får mulighed for selv at bearbejde materialet grundigt og på mange forskellige måder.

Forfatterne J. G. Brooks og M. G. Brooks har med konstruktivismen som udgangspunkt opstillet nogle punkter, som jeg mener på udemærket vis udtrykker konstruktivismens praktiske krav til undervisningen:

1. Stil problemer der er af relevans for eleverne.
2. Opbyg undervisningen om nogle centrale begreber.
3. Hør på elevernes synspunkter.
4. Tilpas pensum til elevernes forudsætninger og begrebsapparat.
5. Vurdér elevernes udbytte af undervisningen løbende i undervisningen.

[Dolin, 2003, s. 140]

Disse overvejende psykologiske tanker, der udgør grundstammen i den konstruktivistiske undervisningstanke, mener jeg, er meget relevante for enhver underviser at holde sig for øje. Det er dog, så vidt jeg kan se, let at forveksle konstruktivismen som undervisningssyn med det tilsvarende videnskabsteoretiske synspunkt. Jeg vil i næste afsnit diskutere sammenhængen mellem videnskabssyn og undervisningssyn, idet jeg mener, det er problematisk, hvis disse knyttes for tæt sammen.

2.3.1 Videnskabssyn og undervisningssyn

I dette afsnit vil jeg som nævnt diskutere, hvorvidt det er nødvendigt med overensstemmelse mellem undervisningssyn og videnskabssyn. Jeg vil i denne forbindelse også diskutere, hvordan de radikale videnskabsteoretiske retninger kan benyttes i en forståelse og karakteristik af fysikfaget.

Poul V. Thomsen mener, at det i forbindelse med undervisning er at foretrække, at læreren har taget stilling til sin egen undervisningsteori frem for at sætte sin lid til sund fornuft. Sund fornuft kan dække over uovervejede antagelser og traditioner. Det samme mener han gælder i forbindelse med lærerens fagopfattelse:

En explicit fagopfattelse/videnskabsfilosofi er at foretrække. Og hvis læreren skal undgå en kognitiv konflikt på dette område må hans/hendes fagopfattelse være i rimelig overensstemmelse med hans/hendes syn på menneskets udvikling og læring. [Thomsen, 1992, s. 92]

Jeg er enig med Thomsen i, at en explicit opfattelse er at foretrække frem for sund fornuft både mht. undervisningssyn og mht. videnskabssyn. Men jeg mener ikke, at der nødvendigvis skal være overensstemmelse mellem undervisningssyn og videnskabssyn.

Thomsen uddyber ikke nærmere, hvad han mener med 'kognitiv konflikt', men jeg forstår det således, at der skal være overensstemmelse mellem fortolkningen af det eleven skal lære og måden, hvorpå dette skal læres.

Thomsen skelner mellem konstruktivistiske og empiristiske opfattelser af fag og undervisning. [Thomsen, 1992, s. 92] Dette er en skelnen mellem, hvorvidt intellektet selv på nogen måde bidrager til forståelsen af omverdenen eller ej. Thomsen fremlægger en radikal form for empirisme, dvs. den opfattelse, at al viden stammer fra sanserne, at der intet findes i vores forståelse af verden, som ikke først har været i vores sanser. Konstruktivismen repræsenteres af Thomsen derimod af flere forskellige retninger, hvoraf kun en enkelt retning er radikal, og dette er ikke Thomsens foretrukne. [Thomsen, 1992]

Som eksempel på en empiristisk undervisning ifølge Thomsen kan man forestille sig gennemgang af en teori efterfulgt af et eksperiment, der 'beviser' teorien. Thomsen indvender, at man ikke kan bevise en teori ved en eksperiment, man kan højst sandsynliggøre teorien. Denne form for undervisning vil altså give et forkert billede af videnskaben. Som eksempel på en bedre og konstruktivistisk undervisning kunne man i denne situation i stedet diskutere to forskellige teorier, hvorefter eksperimentet skulle afgøre, hvorvidt den ene eller den anden teori er bedst.

Sammenholdes dette med det udgangspunkt, at undervisningsformen har betydning for fortolkningen af indholdet, så kan man forestille sig, at den empiristiske undervisning vil medføre, at eleverne kommer til den opfattelse, at de sande lovmæssigheder ligger i naturen, og at det blot er et spørgsmål om at finde frem til dem. Hvorimod den konstruktivistiske undervisning også vil inddrage det synspunkt, at menneskets kreativitet og tænkemåde har betydning for videnskabens/teoriernes udformning. Status af f.eks. lovmæssighederne i elevernes bevidsthed vil ifølge denne tankegang altså blive vidt forskellig. I den konstruktivistiske undervisning vil der ligeledes være plads til, at eleverne udvikler en egen forståelse af stoffet, mens der i en undervisning, hvor det empiristiske aspekt fremhæves, ikke vil være plads til en sådan udvikling af og hensyntagen til elevernes egne forestillinger og begreber.

Undervisningseksemplerne og betydningen af disse er her sat på spidsen, undervisning foregår givetvis ikke så firkantet i praksis, men jeg vil gerne tydeligt illustrere, hvordan man kan forestille sig en sammenhæng mellem undervisningssyn og fagopfattelse. Jeg tror altså, at Thomsen forestiller sig noget i denne retning, når han taler om en sammenhæng mellem den måde læreren vælger at undervise på, og den opfattelse af faget, som eleverne opnår. Hvis dette billede er sandt har undervisningsmetoden naturligvis stor betydning for det billede af faget, som eleverne ender med, og det er væsentligt, at læreren gør sig klart, hvilket billede hun selv ønsker at formidle.

Thomsen konkluderer, at flere af de konstruktivistiske fagopfattelser kan bruges i undervisningssammenhænge og danne baggrund for undervisning, men den empiristiske fagopfattelse, mener han, er helt gal og vil bibringe et forkert billede af videnskaben.

Robert Nola argumenterer kraftigt imod en sådan sammensmeltning af videnskabs-syn og undervisningssyn i artiklen: *Constructivism in Science and Science Education: A Philosophical Critique*.

Nola beskriver en radikal form for konstruktivisme og afviser denne som fagopfattelse. Dvs. en konstruktivisme der bygger på, at al viden kommer inde fra mennesket

selv. Det er ikke denne form for radikal konstruktivisme som Thomsen er fortalende for i uddannelsessammenhænge, men det er den radikale konstruktivisme, der bedst kan ses som en modpol til den empirisme, Thomsen er modstander af.

Nola sætter ganske vist den radikale konstruktivisme op som modpol til objektivismen og ikke til empirismen. Men forskellen i betegnelser betyder ikke meget for denne diskussion; empirismen kan ses som en blandt flere forskellige former for objektivisme. Nola skelner mellem objektivistiske og konstruktivistiske fagopfattelser. [Nola, 1998] Konstruktivisme er en form for antirealisme, og objektivismen indeholder realisme og det synspunkt, at der er objektive metoder til at tage stilling til forskellige videnskabelige hypoteser. [Nola, 1998, s. 31]

Jeg vil især trække to af Nolas pointer frem, som jeg mener er relevante i denne forbindelse. Dels argumenterer Nola for, at en konstruktivists opfattelse af at overensstemmelse mellem undervisningssyn og fagopfattelse er nødvendig, vil medføre, at man overbringer eleverne et billede af videnskaben, der er forvrænget. Dels giver Nola et argument for, at en sådan overensstemmelse slet ikke er nødvendig ved at henvise til en skelnen mellem videnskabsfolkernes fortolkninger af videnskabens teorier og elevers indlæring af den etablerede teori.

Hvis ikke man skelner mellem konstruktivisme som undervisningssyn og konstruktivismen som fagopfattelse, så vil en radikal konstruktivisme give et misvisende billede af naturvidenskaben. Siden de radikale konstruktivister afviser, at der findes teoretiske sandheder, så er der meget af den etablerede videnskabelige viden, som de må afvise og dermed ikke kan formidle. De må afvise f.eks. den gravitationelle tiltrækning. Den gravitationelle tiltrækning er ifølge den videnskabsteoretiske konstruktivist blot en menneskelig konstruktion. [Nola, 1998, s. 54] Dette er en påpegning af, at hvis man kobler fagopfattelse og undervisningssyn, så opnår man med konstruktivismen at formidle et forvrænget billede af videnskaben, meget må udelades. Det er modsvaret til Thomsens påpegning af, at en rent empiristisk fagopfattelse og undervisningsopfattelse vil resultere i et forvrænget billede af videnskaben.

Mens Thomsen vil argumentere for, at konstruktivismen er bedre end empirismen både som videnskabsopfattelse og undervisningsopfattelse, så er Nolas pointe med ovenstående argument, at man ikke bør forveksle den konstruktivistiske fagopfattelse med det konstruktivistiske undervisningssyn. Konstruktivismen som fagopfattelse, mener Nola, er fejlagtig og misvisende, men som undervisningssyn kan den være meget relevant. Lægges den radikale konstruktivisme som fagopfattelse til grund for undervisningen, så fremstilles et forvrænget billede af videnskabens historie og successer. De veletablerede teoretiske sandheder, der eksisterer i naturvidenskaben, kan ikke formidles. Hvis man forveksler, som Nola mener, mange konstruktivister gør, konstruktivismen som videnskabsteoretisk retning med konstruktivismen som undervisningssyn, så vil den resulterende undervisning give eleverne et fejlagtigt videnskabssyn.

Nola afviser altså ikke konstruktivismen som undervisningssyn, kun den radikale konstruktivisme som videnskabsteoretisk synspunkt. For at få øje på skellet mellem videnskabssyn og undervisningssyn kan man se på Nolas skelnen mellem videnskabsfolk, der fortolker videnskabelige teorier, og elever, der skal lære, om det videnskabsfolkene har fundet ud af.

The scientists' interpretation of his theory, whether constructivist or objectivist, is quite different from the student's learning, whether constructivist

or not, of the scientists' theory. [Nola, 1998, s. 55]

Videnskabsfolk står i et anderledes forhold til videnskaben end det forhold, der er mellem elever og allerede etableret videnskab. Fortolkningen af videnskaben er allerede gjort af videnskabsfolkene, elevernes opgave består ikke i at lave nye tolkninger, men i på bedste vis at tilegne sig det indhold og den tolkning, der allerede forefindes.

Jeg mener, distinktionen mellem videnskabssyn og undervisningssyn bliver tydeligst, når man ser, at videnskabsfolkene fortolkninger af de videnskabelige teorier er løsrevet fra den proces, hvori teorierne opstår. Måske er der en overensstemmelse mellem den måde, hvorpå mennesket tænker og fremkommer med nye tanker, og den måde, hvorpå fagets forskere arbejder og udvikler faget. Dette finder jeg meget sandsynligt. Der kan udmærket være tale om en proces, der i høj grad kan kaldes konstruktivistisk mht. videnskabsfolkene tilegnelse af ny viden, altså på sin vis konstruktivistisk indlæring. Men det betyder ikke, at den endelige fortolkning af teorien nødvendigvis må afspejle en sådan tilblivelsesproces. I teoriens fortolkning kan der udmærket lægges stor vægt på meget objektive elementer i teorien. Fagets indhold fremkommer gennem menneskets tankegange, men etablerer sig gennem f.eks. grundige eksperimentelle forsøg som mere end blot menneskelige konstruktioner. Der sker en udvælgelse af de menneskelige konstruktioner, således at kun de, der er bekræftet af naturen selv og accepteret af den overvejende del af det fysikfaglige samfund, består.

Denne skelnen resulterer for Nola i følgende konklusion:

The radical constructivist interpretation of scientific theories does not ground, and is quite independent of, the constructive activities of students who learn scientific theories; i.e., the constructivist account of the learning or teaching of science has nothing to do with the constructivist interpretation of the science learned. [Nola, 1998, s. 55]

Denne konklusion er jeg helt enig i. Jeg mener, det er afgørende på denne måde at skelne mellem konstruktivismen som undervisningssyn, altså en psykologisk retningsgivende ide, og konstruktivismen som videnskabsteoretisk synspunkt.

Nola påpeger en årsag til, at konstruktivister let blander videnskabssyn og undervisningssyn sammen; de overser en væsentlig betingelse for at have viden. Det er ikke tilstrækkeligt at konstruere et billede af og et syn på verden, det er også nødvendigt at have gode grunde til at tro på ens formeninger.

Nola påpeger dette gennem et eksempel fra Platons skrifter, hvor Sokrates lærer en slavedreng det korrekte svar på spørgsmålet: Hvad er længden af siden på et kvadrat, der har det dobbelte areal af et kvadrat med sidelængden 2 m.? Eksemplet viser samtidig, at objektiv viden udmærket kan læres gennem en konstruktivistisk undervisning. Sokrates underviser ved udelukkende at stille spørgsmål, således at drengen bliver ledt gennem et argument, der leder til det sande svar. Der er to pointer i dette eksempel, dels at Sokrates på intet tidspunkt fortæller drengen, hvad det rette svar er, det finder drengen under vejledning selv ud af. Dette er altså Sokrates svar på, hvordan man bør undervise. Dels er det en væsentlig pointe at bemærke, at der findes et korrekt svar, og at slavedrengen ikke er i tvivl om dette, så snart han er nået til svaret gennem et korrekt ræsonnement. I Nolas gengivelse bliver konklusionen som følger:

[...] only by 'constructing' for oneself the reasons for a true belief can one acquire knowledge. [Nola, 1998, s. 35]

Konstruktivismen som undervisningsteori er altså ingen ny opfindelse. At viden, i hvert fald i nogen grad, er objektiv var heller ikke ukendt for Sokrates og Platon. Nola giver følgende udlægning af Sokrates svar på, hvad der skal til, for at vi har viden:

[...] we can recognise that we have knowledge when we have satisfactory reasons for the truth of what we believe. [Nola, 1998, s. 35]

Sætningen er et udtryk for justifikationsbetingelsen, som indgår i epistemologiens definition af viden. Justifikationsbetingelsen er ikke problemløs, og hvordan den bør udformes kan diskuteres, men der er bred enighed om, at en sådan betingelse er nødvendig i definitionen af viden. Hvis man mener, at enhver konstruktion af viden er lige god, er det ifølge Nola, fordi man overser denne betingelse om overbevisende grunde for sandheden af det diskuterede udsagn. Dette er ifølge Nola problemet for den radikale konstruktivisme.

Overses denne justifikationsbetingelse, og sættes et objektivistisk videnskabssyn i forbindelse med en autoritativ undervisningsform, er der ifølge Nola banet vej for, at en afvisning af den autoritative undervisning fører til en afvisning af videnskabens objektive aspekt. En autoritativ undervisningsform er f.eks. en undervisning der foregår via en envejskommunikation fra lære til elev, populært sagt en undervisning, hvor læreren optræder som en tankpasser, der fylder stoffet på eleverne. Denne undervisningsform sættes let i forbindelse med et objektivistisk videnskabssyn på samme måde, som Thomsen sætter det konstruktivistiske undervisningssyn i forbindelse med det konstruktivistiske videnskabssyn. Men justifikationsbetingelsen kan ikke afvises i hvert fald ikke i forbindelse med fysikken.

Det er vigtigt at være opmærksom på, hvornår der er tale om radikale filosofiske og videnskabsteoretiske retninger, og hvornår der er tale om et synspunkt, der tager udgangspunkt i et grundsynspunkt, men som også indeholder elementer af andre filosofiske og videnskabsteoretiske retninger. Som videnskabsteoretisk synspunkt mener jeg, at både den radikale empirisme og den radikale konstruktivisme er fejlagtige på den måde, at den ene retning alene ikke kan indfange alle videnskabens forskellige elementer. Vil man præge elever udelukkende i enten den ene eller den andet retning, kan man altså ikke udgå at give et fejlagtigt billede af videnskaben.

I forbindelse med den didaktiske diskussion er hovedproblemet i denne forbindelse, at konstruktivismen som undervisningssynspunkt er så uomgængeligt, at en forveksling af videnskabssyn og undervisningssyn næsten nødvendigvis må medføre, at konstruktivismen også bliver den fremherskende overbevisning inden for videnskabssyn. Dette giver et meget entydigt og skævt billede af videnskaben.

I det hele taget mener jeg, at inddragelsen af radikale holdninger i den didaktiske diskussion såvel som i den videnskabsteoretiske diskussion kan være nyttige for at opridse modpoler; men de bidrager ikke med en fornuftig skelnen mellem god og dårlig undervisning eller mellem god og dårlig videnskab. God videnskab kendetegnes netop af et samspil mellem nye kreative ideer og indtryk fra naturen. Mens god undervisning, så vidt jeg kan se, kendetegnes af konstruktivismens helt centrale pointe, nemlig at eleven får mulighed for selv at bearbejde stoffet på en sådan måde, at eleven optager nye centrale begreber som en aktiv og brugbar del af forståelsen af omverdenen. I denne bearbejdning af stoffet mener jeg, at både elevernes egne bidrag er relevante såvel som indtryk fra naturen.

Når jeg i næste kapitel diskuterer forklaringsmodeller, der hver især baserer sig på forskellige videnskabssyn, er det altså ikke afgørende for undervisningens tilrettelæggelse, hvorvidt det er det ene eller det andet videnskabssyn, der ligger til grund for forklaringsmodellen.

2.4 Opsamling

Jeg har i dette kapitel nævnt nogle af didaktikkens diskussioner og begreber. Af relevans for resten af projektet er, at jeg vil betragte elevernes dannelse som den overordnede begrundelse for fysik-undervisningen. Jeg har nævnt kompetencebegrebet som en nyttig måde, hvorpå man kan skelne evnen til at kunne noget fra det at vide noget. Til slut har jeg argumenteret for vigtigheden i at holde videnskabssyn og undervisningssyn adskilte. Dette har betydning for resten af projektet i og med, at fysikfaget ikke indfanges af en enkelt radikal videnskabsteoretisk retning. Af denne grund er det interessant for mig at inddrage flere forskellige videnskabsteoretiske forklaringsmodeller for at karakterisere fysiske forklaringer.

3 Forklaringsmodeller

Som allerede diskuteret er det ikke muligt at give et entydigt svar på, hvad en fysisk forklaring er. Forskellige videnskabsteoretikere giver forskellige forklaringsmodeller som bud på, hvad man skal forstå ved en videnskabelig forklaring. At der ikke er enighed blandt videnskabsteoretikere, er der flere grunde til. Forklaringsmodellernes udformning afhænger f.eks. af, hvordan man betragter forklaringens rolle i videnskaben. De afhænger af, hvordan man vælger at skelne mellem forklaringer, teori og fænomen. (Hvornår stopper teorien og forklaringen begynder? Hvornår beskrives fænomenet, og hvornår forklares det?) De afhænger af, hvorvidt man har et realistisk eller et antirealistisk syn på f.eks. teori. De afhænger af, hvilke aspekter af forklaringer man vælger at lægge vægt på. De afhænger af, hvordan man betragter videnskabens struktur i det hele taget.

F.eks. har forestillingen om, at videnskabens struktur er opbygget som et hieraki af lovmæssigheder betydning for, hvad man forstår ved en forklaring. I denne forestilling om lovmæssighederne i et hieraki danner de mest generelle og universelle lovmæssigheder et grundlag ud fra hvilket alle andre lovmæssigheder og observationer kan udledes. [Kragh & Pedersen, 1991, kapitel 1] I denne forståelse af videnskabens struktur er det nærliggende at definere forklaringer som de deduktive argumenter, der forbinder de forskellige lovmæssigheder og i sidste ende forbinder hele teoribygningen til observationerne.

Jeg har valgt at undersøge *Den deduktive nomologiske forklaringsmodel* i en udgave fremsat af Carl Gustav Hempel som eksempel på en forklaringsmodel, der bygger på denne traditionelle deduktive opfattelse af videnskabens struktur. Jeg vil også undersøge forklaringsmodeller, der bygger på en ikke-deduktiv opfattelse af videnskabens struktur. Her har jeg valgt at se på en positivistisk forklaringsmodel i Bas C. van Fraassens udgave, og en forklaringsmodel fremsat af Nancy Cartwright, som hun kalder for *The simulacrum account of explanation*. Løser man op for den traditionelle forståelse af videnskabens struktur, vil det nemlig være muligt at forstå forklaringer på mange andre interessante måder. Disse forklaringsmodeller fanger nogle interessante egenskaber ved fysikken som videnskab, som ikke indfanges af den mere traditionelle opfattelse af videnskabsstrukturen. En deduktiv forklaringsmodel og en deduktiv forståelse af den videnskabelige struktur kan i nogle sammenhænge bære præg af at være retningslinier for, hvordan videnskaben bør være. Andre forklaringsmodeller søger i højere grad at beskrive de forklaringer, som faktisk er accepterede i det videnskabelige samfund.

Generelt kan man dog sige om forklaringer, at de kan defineres som en relation mellem teori og fakta. Forklaringen er det, der etablerer en forbindelse mellem teori og fakta. Dels forbindelsen mellem det konkrete fænomen og tilhørende teori, dels forbindelsen mellem teorien som sammenhængende struktur og alle fysiske fænomener i verden. Spørgsmålet handler altså om, hvori denne relation består.

Det skulle nu gerne være åbenlyst, at jeg ikke mener en normativ definition af

forklaringer er interessant i denne sammenhæng. Jeg er ikke på udkig efter et skema, der kan bruges som forlæg i forbindelse med forklaringsopgaver i undervisningen. Jeg vil derimod gerne opnå et billede af anvendte forklaringer for på den baggrund at kunne vurdere deres rolle i fysikundervisningen. Det er interessant at kunne belyse forskellige aspekter ved forklaringer. Det er interessant at kunne vurdere, hvilke processer der er i spil i forbindelse med forskellige forklaringsopgaver således, at det i undervisningen er muligt at udvælge de opgaver, der fremhæver særligt væsentlige og interessante aspekter af fysikken.

Jeg vil derfor forsøge at koncentrere fremstillingen af de enkelte videnskabsteoretikere om selve forklaringsmodellen og i mindre grad fokusere på de filosofiske standpunkter, der ligger til grund for disse modeller. Jeg vil f.eks. kun inddrage spørgsmålet om realisme og antirealismen i den udstrækning, det har betydning for at forstå forklaringsmodellen. Jeg mener ikke det i sig selv er interessant, hvorvidt forklaringsmodellen f.eks. indeholder et realistisk eller et antirealistisk syn på lovmæssigheder. Dette er ikke afgørende for, om forklaringsmodellen siger noget om forklaringer, sådan som de faktisk findes. Det er min opfattelse, at man i nogle tilfælde vil kunne betragte lovmæssigheder som sande og realistiske, mens man i andre tilfælde med fordel vil kunne anlægge et antirealistisk syn på lovmæssigheder. Det væsentlige er efter min mening at blive i stand til at skelne mellem de forskellige tilfælde og være bevidst om, hvilken type forklaring man arbejder med i det enkelte tilfælde, og hvad man kan lære af netop denne type forklaring.

3.1 Deduktiv-nomologisk forklaringsmodel

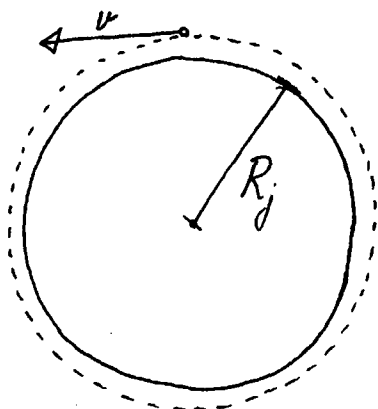
Den deduktive nomologiske forklaringsmodel er en blandt flere typer *covering law* forklaringer. Begrundelsen for at kalde nogle forklaringer for *covering law* forklaringer er, at forklaringen især bygger på en overordnet generel lovmæssighed. Forklaringen viser, hvordan denne lovmæssighed dækker det betragtede fænomen. På denne vis menes fænomenet at være forklaret.

Der findes flere forskellige typer *covering law* forklaringer. Carl Gustav Hempel skelner f.eks. mellem tre: Deduktive nomologiske forklaringer, induktive statistiske forklaringer og deduktive statistiske forklaringer. [Hempel, 1965, s. 412] Jeg har valgt udelukkende at undersøge den deduktive nomologiske forklaringsmodel, idet alle typer *covering law* forklaringer ligner hinanden på de centrale punkter. Den deduktive nomologiske forklaringsmodel danner altså et tilstrækkeligt grundlag for at diskutere *covering law* forklaringer i forhold til andre typer forklaringsmodeller. Jeg har valgt at benytte Hempels udlægning af den deduktive nomologiske forklaringsmodel, idet han er en central figur i denne forbindelse.

Jeg vil starte med igen at fremstille satellitopgaven, som et eksempel på en deduktiv nomologisk forklaring. Den eneste grund til at gentage denne opgave fra indledningen er at lette læsningen. Forklaringen af satellitters omløbstid vil af mange blive betragtet som en elegant og eksemplarisk forklaring.

Satellitters omløbstid

Hvad er omløbstiden omkring jorden af en satellit? Begrund svaret. [Imfufa, 1996, (Opgave 53)]



Figur 3.1 Denne figur viser en skitse af en observationssatellits bane omkring jorden.

Besvarelsen: Omløbstiden (T) for et legeme der roterer i en cirkelbane er:

$$T = \frac{O}{v} \quad (3.1)$$

Hvor O er cirkelbanens omkreds, og v er legemets hastighed. I dette tilfælde er der tale om satellittens hastighed. Jeg vil antage, at der i opgaven hentydes til observationssatellitter, der kredser forholdsvis tæt på jordens overflade og omtrent i en cirkelformet bane. I dette tilfælde vil satellittens baneradius være omtrent lig jordens radius (R_j). Banens omkreds er altså lig jordens omkreds. På figur 3.1 ses en skitse af satellittens bane omkring jorden. Det antages, at den eneste kraftpåvirkning, satellitten oplever, er tyngdekraften fra jorden. Tyngdekraften udgør centripetalkraften, der holder satellitten fast i sin bane. For et sådant system kan satellittens hastighed udtrykkes vha. banens radius og centripetalaccelerationen:

$$v = \sqrt{a_{cent} R_j} \quad (3.2)$$

Da centripetalkraften er lig tyngdekraften, er centripetalaccelerationen lig tyngdeaccelerationen (g):

$$g = a_{cent} \quad (3.3)$$

Satellittens hastighed kan da udtrykkes som:

$$v = \sqrt{g R_j} \quad (3.4)$$

Omkredsen af en cirkel med jordens radius er:

$$O = 2\pi R_j \quad (3.5)$$

Ved at indsætte udtryk 3.4 og 3.5 i ligning 3.1 får vi følgende udtryk for omløbstiden:

$$\begin{aligned} T &= \frac{2\pi R_j}{\sqrt{g R_j}} \\ &= 2\pi \sqrt{\frac{R_j}{g}} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Jorden radius er $6,37 \cdot 10^6$ m. Tyngdeaccelerationen er $9,81 \text{ m/s}^2$. Satellittens omløbstid bliver da:

$$\begin{aligned} T &= 2\pi \sqrt{\frac{6,37 \cdot 10^6 \text{ m}}{9,81 \text{ m/s}^2}} \\ &= 5063,1 \text{ s} = 1,41 \text{ timer} \end{aligned}$$

Det karakteristiske for denne opgave er, at der tages udgangspunkt i nogle ganske få lovmæssigheder, ligning 3.1, 3.2, 3.3 og ligning 3.5. Disse centrale lovmæssigheder har ganske vist for de flestes vedkommende ikke status af at være naturlove. Der er i de fleste tilfælde tale om matematiske relationer, som er udledt på baggrund af betragtninger angående geometrien. Ligning 3.3 er den eneste ligning, hvori der indgår fysiske betragtninger. At tyngdeaccelerationen fungerer som centripetalacceleration er altså den centrale fysiske betragtning i denne opgave. Hvad angår de øvrige ligninger er der dog tale om generelle sammenhænge, der forudsættes også at være gyldige i dette tilfælde.

Udgangspunktet er altså generelle lovmæssigheder, hvilket også er grunden til, at 'nomologisk' indgår i forklaringmodellens navn. Med lovmæssighederne som udgangspunkt består resten i at kombinere disse lovmæssigheder således, at det rette resultat fremkommer. Dvs. at man vha. logisk, deduktive argumenter kommer frem til et resultat for omløbstiden. F.eks. erstattes centripetalaccelerationen med tyngdeaccelerationen i ligning 3.2 i overensstemmelse med ligning 3.3 således, at der fremkommer et brugbart udtryk for hastigheden.

3.1.1 Forklaringers skematiske udtryk

Hempel mener, at denne fremgangsmåde er typisk og helt central i forbindelse med forklaringer. Han opstiller et skema for at tydeliggøre metoden:

The explanations just considered may be conceived, then, as deductive arguments whose conclusion is the explanandum sentence, E , and whose premisses, the explanans, consists of general laws, L_1, L_2, \dots, L_r and other statements, C_1, C_2, \dots, C_k , which make assertions about particular facts. The form of such arguments, which thus constitute one type of scientific explanation, can be represented by the following schema:

$$\frac{L_1, L_2, \dots, L_r \\ C_1, C_2, \dots, C_k}{E}$$

[Hempel, 1991, s.301-302]

I skemaet betegner L_1, L_2, \dots, L_r lovmæssigheder, og C_1, C_2, \dots, C_k betegner faktasætninger. Fænomenet eller effekten, der skal forklares, betegnes med E . E er en deduktiv følge af L_1, L_2, \dots, L_r og C_1, C_2, \dots, C_k .

Forklaringer kendetegnes ifølge Hempel ved at følge et sådant skema. Ganske vist ikke i den konkrete udformning af den enkelte forklaring, men dette er en logisk struktur, som ligger bag og kendetegner forklaringer. Ifølge Hempel er et fænomen altså forklaret, hvis fænomenet kan udledes fra lovmæssigheder og sætninger, der fremsætter fakta angående de konkrete omstændigheder i forbindelse med fænomenet. Ligning 3.3 ($g = a_{cent}$) er et eksempel på en sådan lovmæssighed, nemlig Newtons anden lov. At

satellittens bane er lig jordens radius, og at satellittens bane er cirkulær, er eksempler på faktasætninger.

Angående faktasætningerne om satellittens bane vil jeg påpege, at der er tale om antagelser. Der findes flere forskellige former for satellitter, ud over observationssatellitterne, hvis afstand over jorden er lille i forhold til jordens radius, findes der f.eks. også geostationære satellitter. De geostationære satellitter har en langt større afstand til jorden, hvorfor man i disse tilfælde ikke kan gøre den antagelse, at satellitbanens radius er omtrent som jordens. For observationssatellitter er det heller ikke absolut korrekt, at radius for satellitbanen er lig jordens radius, ligesom det heller ikke er tilfældet, at satellitbanen er cirkelformet, den er faktisk elliptisk. Men disse antagelser betragtes af langt de fleste som højest acceptable. Dette gør de især på baggrund af, at opgavens endelige resultat (en omløbstid på 1,41 timer) er i virkelig god overensstemmelse med, hvad der empirisk kan måles for satellitter i kredsløb omkring jorden. For videnskabsteoretikere, der tilslutter sig en forklaringsmodel i stil med Hempels, vil disse antagelser ikke have nogen stor betydning. I princippet ville man kunne gøre de samme beregninger med anvendelse af en elliptisk baneform og en mere præcis radius, kun fordi det er lettere og ingen betydning har for resultatet gøres antagelserne.

På baggrund af den tætte og logiske sammenhæng mellem forklaringens præmisser og konklusion kan Hempel altså sige:

In a D-N explanation, then, the explanandum is a logical consequence of the explanans. Furthermore, reliance on general laws is essential to a D-N explanation; it is in virtue of such laws that the particular facts cited in the explanans possess explanatory relevance to the explanandum phenomenon. [Hempel, 1965, s. 337]

I dette citat fremhæver Hempel, at det er lovmæssighederne, der er det helt centrale i denne type forklaringer. Gennem forklaringen vises det, hvorledes fænomenet hører under en generel lovmæssighed. Det er af denne grund, at denne type forklaringer kaldes covering law forklaringer, og de generelle lovmæssigheder kaldes covering laws.

Lovmæssighederne er også centrale, idet forklaringens faktuelle sætninger kun indeholder relevans i en forklaringsmæssig sammenhæng pga. lovmæssighederne. Forklaringens faktuelle oplysninger giver kun forklarende mening, fordi de sammenholdes med den generelle lov. Hempel giver et eksempel på dette:

[...] John Dewey describes a phenomenon he observed one day while washing dishes. Having removed some glass tumblers from the hot suds and placed them upside down on a plate, he noticed that soap bubbles emerged from under the tumbler's rims, grew for a while, came to a standstill and finally receded into the tumblers. Why did this happen? Dewey outlines an explanation to this effect: Transferring the tumblers to the plate, he had trapped cool air in them; that air was gradually warmed by the glass, which initially had the temperature of the hot suds. This led to an increase in the volume of the trapped air, and thus to an expansion of the soap film that had formed between the plate and the tumblers' rims. But gradually the air cooled off, and so did the air inside, and as a result, the soap bubbles receded. [Hempel, 1965, s. 335-336]

F.eks. kan den oplysning, at der var fanget kold luft i glassene kun virke som forklaring på at sæbeboblerne udvides, hvis den sammenholdes med den oplysning, at systemer generelt vil gå mod temperaturligevægt, og at luft generelt får et større volumen, når det varmes op. Lige som satellitbanens radius kun giver forklarende mening, fordi denne størrelse indgår i slutudtrykket for omløbstiden, ligning 3.6.

Hempel er opmærksom på, at forklaringer i deres tilbliven og konkrete udformning ikke altid følger hans skema. Når noget forklares, kan opgaven bestå i flere forskellige ting. F. eks. kan det være lovmæssigheder, der mangler, for at man kan forklare et givent fænomen. For at give en forklaring på et sådant fænomen er det altså nødvendigt at søge en ny lovmæssighed. Det kan også være, at særlige omstændigheder skal etableres, før fænomenet kan indtræffe, dvs. at det for at kunne forklare et fænomen er nødvendigt at kunne gøre rede for de særlige forhold, der gør sig gældende i forbindelse med det konkrete fænomen.

To say that an explanation rests on general laws is not to say that its discovery required the discovery of the laws. The crucial new insight achieved by an explanation will sometimes lie in the discovery of some particular fact [...] which, by virtue of antecedently accepted general laws, accounts for the explanandum phenomenon. In other cases, such as that of the lines in the hydrogen spectrum, the explanatory achievement does lie in the discovery of a covering law (Balmer's) and eventually of an explanatory theory (such as Bohr's); in yet other cases, the major accomplishment of an explanation may lie in showing that, and exactly how, the explanandum phenomenon can be accounted for by reference to laws and data about particular facts that are already available: ... [Hempel, 1991, s. 303]

Det følger altså ikke af den deduktive nomologiske forklaringsmodel, at den konkrete forklaring altid tager afsæt i lovmæssigheder, hvorudfra det konkrete fænomen udledes. Det er muligt, at det centrale i forbindelse med at etablere en forklaring kan bestå i at gøre rede for strukturen i det særlige system, hvori fænomenet forekommer. I det øjeblik alle elementer i forklaringen forefindes, da kan den deduktive nomologiske forklaring opstilles i overensstemmelse med ovenstående skematiske udtryk.

Jeg har tidligere været inde på, at forklaringens tilblivelse og dens endelige status er vidt forskellige. Man kan sige, at Hempel er fortalende for dette synspunkt. Han er ikke interesseret i, hvordan fysikere helt konkret arbejder og fremstiller forklaringer, Hempel er interesseret i at gøre rede for forklaringerne i deres endelige, logiske form.

3.1.2 Lovmæssigheder

Det centrale i Hempels logiske skema er lovmæssighederne. Hvis ikke argumentet indeholder en generel lovmæssighed, er der ifølge Hempel ikke tale om en egentlig forklaring. (Se afsnit 3.1.1) Men det er ikke entydigt, hvad man kan forstå ved lovmæssigheder.

Hempel kræver af lovmæssigheder, at de skal øge og uddybe vores forståelse af de empiriske fænomener. [Hempel, 1965, s. 345] Dette betyder, at f.eks. empiriske love ikke kan regnes for covering laws. Empiriske love er ikke generelle nok til at kunne dække mange forskellige fænomener og på denne måde øge forståelsen. De empiriske love kan heller ikke øge forståelsen ved at vise nye regulariteter i forbindelse med de empiriske fænomener. Dette er ifølge Hempel en egenskab ved egentlige covering laws. [Hempel,

1965, s. 345] Som eksempel herpå nævner Hempel den måde, hvorpå Newtons love beskriver og forklarer planeternes bevægelser:

[...] in the case of planetary motion, the Newtonian theory implies that since a planet is subject to gravitational attraction not only from the Sun, but also from the other planets, its orbit will not be exactly elliptical, but will show certain perturbations. [Hempel, 1965, s. 344])

Hvilke lovmæssigheder er da tilstrækkeligt generelle og overordnede til at kunne være basis for en forklaring? Hempel kommer med forskellige forslag til, hvordan man kan skelne mellem *covering laws* og andre teoretiske sætninger. [Hempel, 1965, s. 338-343] F.eks. foreslår han, at kun sætninger med mange cases er generelle love. Der findes dog eksempler på, at sætninger med kun en enkelt case er en lov, og Hempel kommer selv frem til det, der kaldes *Hempels paradoks*, der viser, at man kan finde næsten uendeligt mange bekræftelser på en hvilken som helst sætning. [Hempel, 1965, s. 341] (Det generelle udsagn 'Alle enhjørninge spiser kløver' bekræftes f.eks. ikke af nogen tilfælde, mens det ækvivalente udsagn 'Alt hvad der ikke spiser kløver, er ikke en enhjørning' bekræftes af mange tilfælde. [Hempel, 1965, s. 341]) Hempels paradoks viser, at det i hvert fald ikke er klart, hvad man mener med en case. Således bliver det også meget uklart, hvordan man kan bruge antallet af tilfælde til at skelne mellem generelle lovmæssigheder og andre sætninger.

Ifølge Gasper mener mange videnskabsteoretikere, det er højst usandsynligt, at man overhovedet kan gøre rede for hvilke udsagn, der skal regnes som generelle lovmæssigheder. [Gasper, 1991, s. 292] Men hvis dette ikke er muligt, hvordan er det så muligt at skelne mellem, hvad der kan regnes som forklaringer, og hvad der ikke kan?

At kunne skelne mellem *covering laws* og sætninger, der ikke er *covering laws*, er vigtigt for Hempel for at kunne godtgøre, at det faktisk er *covering laws*, der bliver brugt i forbindelse med forklaringer. Hvis det blot er andre sætninger, der bliver brugt i forklaringer vil forklaringerne ikke indeholde den samme forklaringskraft. Ifølge Hempel er det lovmæssighederne, der samler og forklarer fænomenerne. [Hempel, 1965, s. 345]

Et andet problem i forbindelse med den deduktive nomologiske forklaringsmodel kan ses ved at betragte følgende eksempler:

Springvand I

Et havespringvand drives af en elektromotor på 40 watt. Hvor højt op sendes en vandstråle med et givet tværsnit? Begrund svaret. [Imfufa, 1996, (juni 1980, 1. prøve, opgave 4)]

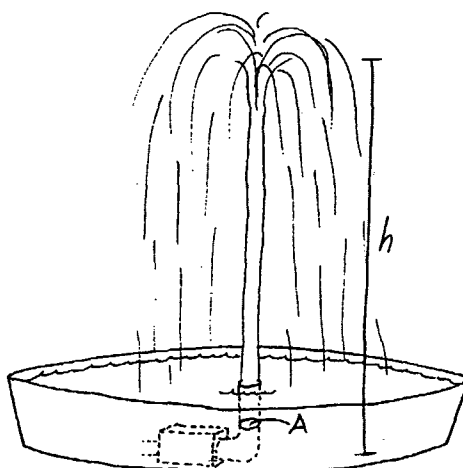
Besvarelsen: Den vandmængde, der passerer elektromotoren på en given tid, får tilført en given mængde kinetisk energi (E_{kin}). Pga. energibevarelse er vandets energi i springvandets højeste punkt den samme blot i form af potentiel energi (E_{pot}).

$$\begin{aligned} E_{pot} &= E_{kin} \\ \Delta mgh &= \frac{1}{2}\Delta mv^2 \\ h &= \frac{1/2v^2}{g} \end{aligned} \quad (3.7)$$

Δm er massen af en given mængde vand, g er tyngdeaccelerationen, h er højden af springvandet målt fra elektromotoren, og v er vandets hastighed, hvor vandet kommer ud af vandrøret. For en skitse af springvandet se figur 3.2

Vandet får tilført en kinetisk energi pga. elektromotorens effekt P :

$$\Delta E_{kin} = P\Delta t$$



Figur 3.2 Denne figur viser en skitse af et springvand drevet af en elektromotor.

Vha. udtrykket for den kinetiske energi er det muligt, at finde et udtryk for vandets hastighed:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2}\Delta mv^2 &= P\Delta t \\ \frac{1}{2}A\rho v\Delta tv^2 &= P\Delta t \\ v &= \sqrt[3]{\frac{P}{\frac{1}{2}A\rho}} \end{aligned}$$

A er vandstrålens tværsnitsareal, og ρ er vandets densitet.

Springvandets højde findes ved at indsætte dette udtryk i udtrykket (3.7), vi fandt før:

$$h = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{P}{\frac{1}{2}A\rho} \right)^{2/3}}{g} \quad (3.8)$$

Vandets densitet er 1000 kg/m^3 , tyngdeaccelerationen er $9,8 \text{ m/s}^2$, elektromotorens effekt er 40 W , og sættes vandets tværsnitsareal til 2 cm^2 , fåes det, at springvandets højde er:

$$h = \frac{\frac{1}{2} \left(\frac{40\text{W}}{\frac{1}{2} \cdot 0,0002\text{m}^2 \cdot 1000\text{kg/m}^3} \right)^{2/3}}{9,8\text{m/s}^2} = 2,8 \text{ m}$$

Herefter følger en forklaring, der mht. indholdet af lovmæssigheder og antagelser, ligner den foregående opgave meget. De to forklarings logiske struktur er altså meget lig hinanden, kun byttes der rundt på eksplanans og eksplanandum.

Springvand II

Et havspringvand sender en vandstråle med et givent tværsnitsareal og en given højde op i luften. Springvandet drives af en elektromotor. Hvor stor er motorens effekt? Begrund svaret.

Besvarelsen: Jeg har allerede i foregående opgave gjort stort set alle regnerierne. Så jeg kan her nøjes med at henvise til de foregående udregninger og tage udgangspunkt i ligning 3.8:

$$h = \frac{1/2 \left(\frac{P}{1/2 A \rho} \right)^{2/3}}{g}$$

Denne ligning kan løses for effekten P :

$$P = 1/2 A \rho (2gh)^{3/2}$$

Vandets densitet er 1000 kg/m^3 , tyngdeaccelerationen er $9,8 \text{ m/s}^2$, og sættes vandets tværsnitsareal til 2 cm^2 og springvandets højde til 3 m , fåes det, at motorens effekt er:

$$P = 1/2 \cdot 0,0002 \text{ m}^2 \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot (2 \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 3 \text{ m})^{3/2} = 45,1 \text{ W}$$

De to forklaringer er stort set ens, blot løses ligning 3.8 i det ene tilfælde for variabelen h og i det andet tilfælde for variabelen P . For at tydeliggøre forskelle og ligheder på de to forklaringer kan man oversigtsmæssigt opstille et skema for hver.

Skema for Springvand I:

Elektromotorens effekt er 40 W

$$\Delta E_{kin} = \Delta E_{pot}$$

Vandet opnår en højde på ...

I det første eksempel forklares springvandets højde ved at henvise til energibevarelsessætningen og det faktum, at elektromotoren har en effekt på 40 W . I det andet eksempel forklares elektromotorens effekt ved at henvise til energibevarelsessætningen og det faktum at vandet opnår en højde på 3 m .

Skema for Springvand II:

Vandet opnår en højde på 3 m .

$$\Delta E_{kin} = \Delta E_{pot}$$

Elektromotorens effekt er på $45,1 \text{ W}$.

Det er altså klart, at de to forklaringer skematisk set er ens. Begge opfylder Hempels logiske skema og kan af denne grund ifølge den deduktive nomologiske forklaringsmodel betragtes som forklaringer. Men mens forklaringen på vandets højde utvivlsomt vil blive accepteret som en fyldestgørende forklaring, kan forklaringen på elektromotorens effekt afvises som ugyldig med henvisning til, at vandet ikke er årsag til elektromotorens effekt. Elektromotoren har den effekt, den har, fordi den er bygget på en særlig måde, som bevirker denne effekt.

Der er altså tale om, at to hændelser ifølge Hempel kan forklare hinanden, på trods af, at den ene er årsag til den anden. [Bird, 1998, s. 73] Et ofte benyttet eksempel, som måske endnu tydeligere viser denne indvending, handler om flagstangen og flagstangens skygge. Den matematiske ligning, der ville indgå i en sådan forklaring, kan lige så vel bruges til at beregne skyggens længde givet flagstangens højde, som den kan bruges til at beregne flagstangens højde givet skyggens længde. [Gasper, 1991, s. 292] I dette eksempel er det tydeligt, at flagstangen kan forklare skyggens længde, man kan slet ikke forestille sig skyggen uden flagstangen. Men man kan forestille sig flagstangen uden en

skygge, f.eks. i gråvej, hvorfor det ikke er oplagt, at skyggen kan forklare flagstangens længde. Det samme er tilfældet i springsvandsopgaverne. For at besvare Springvand I løses ligning 3.8 for vandets højde (h). Den samme ligning løses for effekten (P) for at besvare Springvand II. Det er altså den samme ligning og de samme udregninger, der i begge tilfælde udgør forklaringen. Mange videnskabsteoretikere mener, at disse eksempler på symmetriske forklaringer udgør et alvorligt problem for den deduktive nomologiske forklaringsmodel. Hempels forklaringsmodel indfanger i gruppen af forklaringer sammenhænge mellem teori og fænomen, som slet ikke er forklaringer. Ønsker man en karakteristik af forklaringer, er det naturligvis et problem, hvis modellen er for omfattende. Karakteristikken kan så anklages for at være for vag og uden egentligt indhold.

Man kan beskrive forskellen på de to typer forklaringer ved at sige, at den ene type følger fænomenets kausale struktur, f.eks. når flagstangens højde forklarer skyggens længde, eller elektromotoren forklarer springvandets højde. Når skyggens længde forklarer flagstangens højde, eller vandets højde forklarer elektromotorens effekt, er der tale om en forklaring, som går imod fænomenets kausale struktur.

I fysikfaget er den type forklaringer, der ikke følger fænomenets kausale struktur, dog slet ikke ukendte. Betragtes mekanikken, er forklaringer ofte kendetegnet ved, at systemets bevægelser er kendte, og at man herudfra ønsker at finde de kræfter, der virker i systemet. F.eks. kan man forestille sig at angive et togs ønskelige hastighed og vurdere togets vægt og herudfra beregne med, hvilken kraft lokomotivet skal trække i vognene, eller for at give et simpelt eksempel kan man forestille sig at måle et æbles vægt og derudfra beregne den kraft, der trækker det mod jorden. Noget lignende er også på spil i forbindelse med springvandseksemplet. I den anden forklaring er vandets bevægelse kendt, mens man ønsker at finde ud af, hvor stor en energi vandet skal tilføres for at opnå denne bevægelse.

I overensstemmelse med indvendingen mod Hempels forklaringsmodel kan man sige, at disse eksempler ikke er i overensstemmelse med den almindelige opfattelse af forklaringer. Hvis ikke man ønsker at kalde sådanne eksempler for forklaringer, kan man måske fremhæve, at der i hvert fald er tale om forudsigelser, måske sige at man kan forklare, hvorfor der er overensstemmelse mellem forudsigelsen, og det der faktisk vil forekomme. Symmetrieksemplet er en type modeksempel til Hempels forklaringsmodel. Der findes flere forskellige typer modeksempler. Gasper inddeler modeksemplerne i to grupper, dels eksempler, hvor der forgår en udledning fra en generel lov, men hvor der ikke er tale om en forklaring, dels eksempler, hvor der er tale om en forklaring, men hvor der ikke foregår en udledning fra en generel lov. Symmetrieksemplerne hører til i den første gruppe; forklares elektromotorens effekt vha. springsvandets højde, er der tale om et argument, der følger Hempels skema, men det kan diskuteres, hvorvidt der er tale om en egentlig forklaring. [Gasper, 1991, s. 292] Jeg vil ikke komme nærmere ind på de andre modeksempler, da jeg mener, at symmetrimodeksemplerne klart er de interessante i forbindelse med fysik.

Symmetriindvendingen handler altså i høj grad om, hvordan man vælger at benytte ordet 'forklaring'. Hempel har med sin forklaringsmodel valgt at bruge ordet meget bredt, mens andre videnskabsteoretikere vil reservere ordet til forklaringer, der bygger på fænomenets kausale struktur. Men Hempels forklaringsmodel kan netop ses som et opgør med denne betydning af ordet. Hempels brug af ordet dækker ikke kun sammenhænge mellem teori og fænomen, der følger fænomenets kausale struktur, den dækker

også mange andre sammenhænge mellem teori og fænomen. Jeg vil vende tilbage til dette i slutningen af dette kapitel.

Hempel beskæftiger sig med forklarings logiske struktur. Han forsøger at udtrække et skema, hvorpå alle forklaringer kan bygges. Hempel siger selv, at han forsøger at udlede nogle logiske strukturer i forbindelse med forklaringer [Hempel, 1965, s. 488-489], dvs. at hans model ikke beskriver forklaringer, sådan som de faktisk fremstilles, men i stedet forsøger at udlede forklarings ideelle logiske form.

At Hempel kun beskæftiger sig med forklarings logiske form gør dog i nogen grad hans forklaringsmodel mindre interessant i forbindelse med dette projekt. Forklaringsmodellen fremstiller ikke forklaringer, sådan som de faktisk er, men fremstiller i stedet et ideelt billede af forklaringer. Det kan være svært at se, om denne forklaringsmodel i højere grad er foreskrivende frem for beskrivende. Jeg mener dog, at modellen fremhæver nogle træk ved forklaringer, som er reelle og interessante. Men pga. dens foreskrivende karakter vil jeg være interesseret i at undersøge, hvorvidt der i de samme forklaringer, som passer i dette skema, også findes karakteristiske træk, som forklaringsmodellen ikke indfanger.

Bird tager også fat i de symmetriske forklaringer for at fremhæve en lidt anden pointe. Han eksemplificerer ved to hændelser: Man kan øge trykket i en gas i et stempel ved at trykke stemplet sammen til et mindre volumen. Trykforøgelsen kan ifølge Hempel forklares under henvisning til Boyles lov. Bird mener, at det er mest korrekt at sige, at det er formindskelsen af volumet, der er årsag til at trykket øges, og dermed at volumenændringen forklarer trykændringen. At forklare formindskelsen af volumet vha. et øget tryk vil ifølge Bird være en pseudo-forklaring. Samtidig kan man mindske en gas' volumen ved f.eks. at trække en ballon ned mod jorden. Også denne hændelse kan ifølge Hempel forklares ved at henvise til Boyles lov. Her mener Bird, at den mest korrekte forklaring under hensyntagen til årsagssammenhænge er, at det øgede tryk kan forklare volumets formindskelse. [Bird, 1998, s. 74]

Jeg vil først indvende, at jeg ikke mener, det første eksempel er særlig velvalgt; det er ikke tydeligt, om man mindsker volumet eller øger trykket, når man presser et stempel sammen. Som sådan taler dette eksempel faktisk for, at Hempels skema fanger noget væsentligt i forbindelse med fysikkens forklaringer. Boyles lov $PV = \text{konstant}$ for konstant temperatur (P er trykket, V er volumet) siger ikke noget om, hvorvidt trykændringer er årsag til volumenændringer, lige som det heller ikke er muligt at afgøre, hvorvidt 'sammentrykning af et stempel' betyder 'øget tryk', hvilket herefter forårsager mindsket volumen, eller hvorvidt 'sammentrykning af stempel' betyder 'mindsket volumen', som herefter forårsager et øget tryk.

Trods indvendingerne mod dette eksempel, har Bird dog en pointe, som er ganske interessant:

[...] we cannot tell whether an explanation is an explanation just by looking at its components and their relation. [Bird, 1998, s. 74]

Bird mener, at man er nødt til at kigge ud over indholdet i Hempels skema for at kunne afgøre, hvorvidt en forklaring er ægte eller ej. Jeg vil hellere formulere det således, at man er nødt til at kigge ud over indholdet af Hempels skema for at kunne afgøre hvilken type forklaring, der er tale om. Birds eksempel kan altså bruges til at påpege, at Hempels skema ikke er særligt nuanceret. At det netop er et skema, som man kan fylde

forklaringerne ind i, men at der således også foregår en simplificering af forklaringerne, at der er mere at sige om sagen en blot dette skema.

3.1.3 Kausale forklaringer

I foregående afsnit var jeg inde på, at den almindelige opfattelse af forklaringer har meget tilfælles med kausale forklaringer. Man kan mene, at elektromotorens effekt først er forklaret idet, det er angivet, hvorledes motoren er opbygget, og beskrevet, hvilken indvirkning motorens enkelte mekanismer har på hinanden. Den kausale forklaring har, så vidt jeg kan se, således en særlig status.

Der er blandt videnskabsteoretikere enighed om, at kausale forklaringer findes også i fysikken. Derimod kan det diskuteres, hvorvidt kausale forklaringer spiller nogen væsentlig rolle for videnskaben. Som jeg skal komme ind på i de følgende afsnit, mener nogle videnskabsteoretikere, at kausale forklaringer kun spiller en meget lille, underordnet rolle i videnskaben, mens andre mener, at kausale forklaringer er helt centrale og er det, som f.eks. fysikken egentligt stræber efter.

Ud over at være interessante pga. deres rolle i videnskaben er kausale forklaringer også interessante i forbindelse med dette projekt, fordi de muligvis indeholder særlige elementer og strukturer, som andre typer forklaringer ikke indeholder.

Hempel mener ganske vist ikke, at kausale forklaringer adskiller sig særligt fra andre typer forklaringer. Hvis dette er tilfældet, kan denne anderledeshed i hvert fald ikke fremhæves gennem den deduktive nomologiske forklaringsmodel. Hempel mener, at kausale forklaringer følger samme skema som alle andre forklaringer nemlig en covering law model. Ifølge Hempel forudsætter det netop en lovmæssighed, når man påpeger kausale relationer i forbindelse med hændelser. I forbindelse med opvaske-eksemplet refereret ovenfor (se 3.1.1) siger Hempel:

[...] the initial expansion of the soap bubbles described by John Dewey might be said to have been caused by the warming of the air caught in the tumblers. But causal attributions of this kind presuppose appropriate laws, such as that under constant pressure the volume of a gas increases as its temperature rises. And by virtue of thus presupposing general laws which connect "cause" and "effect", causal explanation conforms to the D-N model. [Hempel, 1965, s. 347-348]

For Hempel er kausale forklaringer blot en blandt mange typer forklaringer, der følger den deduktive nomologiske forklaringsmodel.

Denne måde at anskue kausale forklaringer på betyder dog, at lovmæssighederne på en eller anden måde også er udtryk for en kausal sammenhæng. Det er, så vidt jeg kan se, ikke klart, hvordan man skal forstå lovmæssighederne som udtryk for kausale relationer. Specielt i lyset af indvendingen angående symmetri. En lovmæssighed kan muligvis bruges i forbindelse med en forklaring, der er i overensstemmelse med den kausale sammenhæng, men hvis samme lovmæssighed ligesåvel kan bruges i forbindelse med en forklaring, der er i modstrid med den kausale sammenhæng, så mener jeg, det er svært at se, hvordan denne lovmæssighed udtrykker kausale relationer. Lovmæssighederne udtrykker muligvis en sammenhæng mellem årsag og effekt, men det fremgår ikke umiddelbart, hvad der er årsagen, og hvad der er effekten. Denne viden ligger udover selve lovmæssighedens matematiske udtryk. Dette betyder, så vidt jeg kan se,

at de kausale forklaringer nok kan indpasses i Hempels skema, men dette skema er ikke tilstrækkeligt til at udpege de kausale forklaringer til forskel fra andre forklaringer. Hempel får altså ikke gjort rede for, hvorledes forklaringstyper som f.eks. kausale forklaringer adskiller sig fra andre typer forklaringer.

3.2 Hvorfor-spørgsmål

Bas van Fraassen kan betegnes som positivist. Karakteristisk for den positivistiske retning er antirealisme og en skepsis mht. forklaringer. [Hacking, 1999, s. 42] Van Fraassen giver alligevel et bud på, hvad man skal forstå ved forklaringer i bogen *The Scientific Image* fra 1980.

3.2.1 Den empirisk mest adækvate teori

Van Fraassen fremhæver, at teoriernes vigtigste egenskab er at være empirisk adækvate:

Science aims to give us theories which are empirically adequate; and acceptance of a theory involves as belief only that it is empirically adequate. This is the statement of the anti-realist position I advocate; I shall call it constructive empiricism. [van Fraassen, 1980, s. 12]

At noget er empirisk adækvat betyder, at overensstemmelse er interessant i det omfang, at overensstemmelsen kan konstateres dvs. overensstemmelse mellem observationer og teori. Overensstemmelse mellem ikke-observerbare størrelser og teori kan man under ingen omstændigheder slutte sig til. Det er ikke interessant.

Ian Hacking gengiver Bas van Fraassen:

To accept a theory in your field of research is to be committed to developing the programme of inquiry that it suggests. You may even accept that it provides explanations. But you must reject what has been called inference to the best explanation: to accept a theory because it makes something plain is not thereby to think that what the theory says is literally true. [Hacking, 1999, s. 51]

Van Fraassen sætter 'empirisk adækvat' over for det at tro på teorierne. Van Fraassen mener, at vi i vores vurdering af teorierne skal tage dem bogstaveligt på den måde, at de udsagn, der kan udledes fra teorierne angående observationer, skal være i så nøje overensstemmelse med observationerne som muligt. Derimod mener van Fraassen ikke, at man skal opfatte teoriernes indhold af teoretiske entiteter og strukturer mellem disse bogstaveligt dvs. som at disse størrelser faktisk eksisterer.

I forbindelse med forklaringer er det altså ikke lovmæssighedernes sandhed, der lægges til grund for accept og udvælgelse af forklaring. Van Fraassen afviser dog ikke, at man kan udvælge nogle forklaringer som bedre end andre, han har selv nogle klare krav til, hvordan forklaringer skal udvælges. Van Fraassen fremhæver i stedet den pragmatiske side af videnskaben (han mener, at valget af forklaring er et spørgsmål om hensigtsmæssighed) og mener ad denne vej at kunne løse nogle af de problemer, han ser i forbindelse med den deduktive nomologiske forklaringsmodel. Van Fraassen mener f.eks., at et mere pragmatisk syn på forklaringer kan løse problemerne angående symmetriske forklaringer. [van Fraassen, 1980, s. 152] Van Fraassen anser det desuden for

at være et alvorligt problem, at også ikke kausale forklaringer kan indbefattes under forklaringer ifølge den deduktive nomologiske forklaringsmodel. Forklaringer, der ikke er kausale, er ifølge ham ikke egentlige forklaringer.

Van Fraassens syn på forklaringer hænger sammen med hans syn på videnskabens struktur. Fysiske teorier indeholder både naturlove og en beskrivelse af, hvordan disse skal anvendes. [Hacking, 1999, s. 220] Naturlovene er ofte udformet som matematiske ligninger, men anvendelsen af lovmæssighederne kræver, at man er i besiddelse af en viden om, i hvilke tilfælde og på hvilke genstande eller fænomener lovmæssighederne kan anvendes. Ofte er det afgørende at kunne anvende naturlovene på nye fænomener, i disse tilfælde er det afgørende af have en ide om, hvorvidt naturloven kan anvendes, og hvilken lov det vil være fordelagtigt at anvende. Denne retningsangivende egenskab ved teorierne er vel netop det, der kan kaldes forklaringen. Forklaringerne skaber på denne måde forbindelsen mellem det rent matematiske udtryk og det fænomen, der betragtes.

Med denne beskrivelse af, hvordan lovmæssighederne skal anvendes på fænomenerne, har van Fraassens efter min mening et mere nuanceret syn på videnskabens struktur end det syn på videnskabens struktur, der ligger til grund for den deduktive nomologiske forklaringsmodel. Til grund for den deduktive nomologiske forklaringsmodel ligger et hierakisk og pyramideformet syn på videnskabens struktur. I toppen af pyramiden findes de mest generelle og universelle lovmæssigheder. I bunden findes de fakta, man bør komme frem til gennem empiriske undersøgelser. Der antages at være en deduktiv sammenhæng ned gennem pyramiden helt ned til faktasætningerne. [Kragh & Pedersen, 1991, s. 65] Forståelsen af forklaringer som deduktive udledninger fra lovmæssigheder er altså helt i stil med dette syn på videnskabens struktur. Van Fraassens syn på videnskabens struktur skaber derimod mulighed for et mere nuanceret syn på forklaringer.

3.2.2 Forklaringsmodellen

Forklaringer er ifølge van Fraassen noget ganske andet end den deduktive nomologiske fremstilling. Som udgangspunkt mener van Fraassen, at en hændelse typisk forklares ved at beskrive nogle af de hændelser og omstændigheder, der leder op til den. [Gasper, 1991, s. 293] Forud for en hændelse som f.eks. en bil-ulykke er gået mange forskellige hændelse, der alle kan angives som årsag til ulykken. F.eks. kan det faktum, at vejen drejer skarpt være årsag til ulykken, også manglende vedligeholdelse af bilens bremsesystem kan angives som årsag, den omstændighed, at det var vinter, og at kørebanen pga. sne og mange tidligere biler var meget glat osv. Alle disse hændelser og omstændigheder kan enkeltvis angives som årsagen til ulykken alt afhængig af perspektivet på hele forløbet. Hvis man spørger, hvorfor ulykken skete, og får det svar, at det var pga. en glat kørebane, vil man ikke nødvendigvis føle sig foranlediget til at spørge videre, man vil i mange tilfælde føle, at en glat kørebane er en fyldestgørende forklaring på, hvorfor der er sket en bil-ulykke. Men er det en person med kendskab til, at bilens bremsesystem ikke var i orden, og at bilens dæk var meget slidte, vil henvisningen til en glat vejbane ikke være fyldestgørende. Denne person vil i stedet være interesseret i at vide, om det var pga. bremsesystemet eller pga. dækkene, at ulykken skete.

Udfordringen for van Fraassen består i at kunne gøre rede for, hvorfor nogle hændelser udvælges som forklaring frem for andre. I denne forbindelse definerer han forklaringer som svaret på hvorfor-spørgsmål. Denne definition tillader ham at analysere forklaringen i forhold til et spørgsmål. Van Fraassen viser, at disse spørgsmål er stærkt

afhængige af konteksten.

The discussion of explanation went wrong at the very beginning when explanation was conceived of as a relationship like description: a relation between theory and fact. Really it is a three-term relation, between theory, fact, and context. No wonder that no single relation between theory and fact ever managed to fit more than a few examples! Being an explanation is essentially relative, for an explanation is an *answer*. [...] Since an explanation is an answer, it is evaluated *vis-à-vis* a question, which is a request for information. But exactly what is requested, by means of the question 'Why is it the case that *P*?', differs from context to context. [van Fraassen, 1980, s. 156]

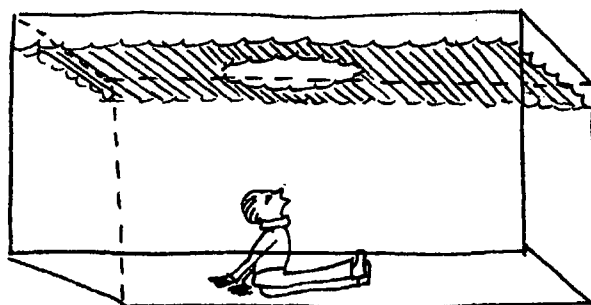
Det er altså helt afhængigt af konteksten, hvilke forklaringer det er relevant at give. Gennem en analyse af hvorfor-spørgsmål og tilhørende svar viser van Fraassen, hvordan konteksten spiller en rolle for hvilke svar, der er relevante, han viser, hvordan de alternative svar har betydning for valget af forklaring. I denne forbindelse indfører van Fraassen begreberne kontekstuelle kontrastklasser og kontekstuel relevans. Jeg vil kort herefter vende tilbage til disse begreber. Først vil jeg give følgende eksemple for at illustrere van Fraassens forklaringsmodel:

Svømmebassin

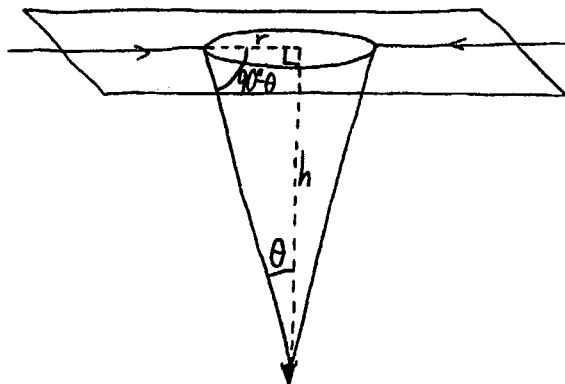
Fra bunden af et svømmebassin ses lys fra et cirkulært område af vandoverfladen lodret over, hvorimod overfladen længere ude er mørk. Se figur 3.3. Hvor stor er radius af området? Begrund svaret. [Imfufa, 1996, (Juni 1987, 1. prøve, opgave 2)]

Besvarelsen: Alle de lysstråler, der kan ses, skal naturligvis ramme øjet. Det er altså en betingelse, at alle lysstråler skal gå gennem det samme punkt, som i dette tilfælde er placeret på bunden af bassinet.

Lysstrålerne kan fra alle mulige retninger ramme vandoverfladen. Dog har alt lys retning fra luften til vandet. Indfaldsvinklen ligger mellem 0° og 90° . Den maksimale indfaldsvinkel er i dette tilfælde den interessante, da det er denne, der sætter grænsen for det lys, der kan observeres på bassinets bund, og det lys, der ikke kan observeres, dvs. den



Figur 3.3 Figuren viser en skitse af et svømmebassin set skråt nedefra. På bunden sidder den person, som har mulighed for at observere et lyst område på overfladen.



Figur 3.4 Denne figur illustrerer hvordan de lysstråler med en indfaldsvinkel på 90 grader er bestemmende for størrelsen af det lyse område på vandoverfladen.

maksimal indfaldsvinkel er bestemmende for lyscirkelens radius. Se figur 3.4.

Vi kan betragte en retvinklet trekant med den rette vinkel i cirkelens centrum på vandoverfladen (90°), et hjørne på bassinets bund lige under cirkelcenteret (θ) og et hjørne på cirkelens rand på vandoverfalden ($90^\circ - \theta$). Trekantens sider er hypotenusen, bassinets højde (h) og cirkelens radius (r). For en sådan retvinklet trekant gælder følgende:

$$\begin{aligned} R &= h \tan \theta \\ &= h \frac{\sin \theta}{\cos \theta} \\ &= h \frac{\sin \theta}{\sqrt{1 - \sin^2 \theta}} \end{aligned} \quad (3.9)$$

θ svarer til udfaldsvinklen for lyset med den maksimale indfaldsvinkel (90°), der brydes på vandoverfladen og går gennem det centrale punkt på bassinets bund. Med et brydningsindeks på $n = 1,33$ for brydning mellem luft og vand bliver vinklen θ :

$$\sin \theta = \frac{\sin 90^\circ}{n} = \frac{3}{4}$$

Cirkelens radius kan så findes vha. ligning 3.9. Jeg antager, at bassinet er 5 m dybt.

$$R = 5 \text{ m} \frac{3}{4\sqrt{1 - \frac{9}{16}}} = 5,7 \text{ m}$$

Først skal man forstå spørgsmålet. Der skal være enighed om, hvad spørgsmålet er, før der kan blive enighed om, hvad svaret skal være. Spørgsmålet i svømmebassinopgaven er ikke umiddelbart et hvorfor-spørgsmål. Men for at finde den præcise størrelse af cirkelens radius er det dog nødvendigt at vide, hvordan eller hvorfor denne radius fremkommer. Der ligger altså implicit i opgaveformuleringen også følgende spørgsmål: Hvorfor ses der en lys cirkel på bassinets overflade? For at forstå dette spørgsmål må man ifølge van Fraassen overveje flere elementer: Spørgsmålets dom, spørgsmålet kontrastklasse, og endelig spørgsmålets relevans-relation. Først derefter kan man besvare spørgsmålet.

Spørgsmålets *dom* kan også kaldes spørgsmålets emne. [van Fraassen, 1980, s. 141] Der kan vist ikke være tvivl om, hvad dette emne er. Lyder spørgsmålet f.eks.: Hvorfor ses der fra bunden af et svømmebassin lys fra et cirkulært område af vandoverfladen lodret over? vil dommen være den antagelse, at der fra bunden af et svømmebassin ses lys fra et cirkulært område af overfladen lodret over. Denne dom antages at være sand.

Dommen kan herefter fortolkes på forskellig vis. F.eks. kan man både spørge til, hvorfor det lysende område er cirkulært, og med samme formulering spørge til, hvorfor det er vandoverfladen, der er lysende. Det er ikke muligt udelukkende gennem spørgsmålet: Hvorfor ses der en lys cirkel på svømmebassinets overflade? at afgøre om der spørges til cirkelformen eller lyset på vandoverfladen. Kontrastklassen er med til at afgøre hvilket spørgsmål, man skal tage stilling til. Kontrastklassen består af alternative spørgsmål. Spørgsmålet: Hvorfor er det lyse område cirkulært? kan forstås således: Hvorfor er det lyse område cirkulært og ikke eliptisk, firkantet eller ottetalsformet? Denne mængde af alternative muligheder er spørgsmålets *kontrastklasse*. [van Fraassen, 1980, s. 142] Tolkes spørgsmålets dom anderledes, som f.eks.: Hvorfor er det det cirkulære område, der er lyst, og ikke det omkringliggende område eller svømmebassinets bund? vil der være tale om en helt anden kontrastklasse. Kontrastklassen er altså i høj grad med til at definere spørgsmålet. I det første tilfælde er spørgsmålet rettet mod det lysende områdes form - i det andet mod den lysende genstand. Svaret afhænger tilsvarende af tolkningen af kontrastklassen. I det første tilfælde kunne svaret være: Det lysende område er cirkulært pga. omdrejningssymmetri. I det andet tilfælde kunne svaret være: Det er det cirkulære område, der er lyst, fordi lyset passerer gennem svømmebassinets overflade og ikke gennem bassinets sider og bund. Kontrastklassen er altså et udvalg af alle de spørgsmål, der kan stilles til en given hændelse. Alle spørgsmålene i kontrastklassen er alternativer til dommen.

Selv om man kender kontrastklassen, er det ikke klart, hvordan der skal svares på spørgsmålet. Kontrastklassen er med til at definere spørgsmålet, men det er også nødvendigt, at definere hvilken type svar, man er interesseret i. Dette foregår gennem fastlæggelsen af *relevans relationen*. [van Fraassen, 1980, s. 142] Man kan f.eks. søge efter en særlig hændelse, der leder op til den hændelse, der ønskes forklaret. Der kan f.eks. spørges til, hvad der forårsagede, at der var lys i rummet omkring svømmebassinets bund. Der kunne også spørges til motiver i forbindelse med fænomenet f.eks. hvorfor en person vælger at observere bassinoverfladen fra bunden af bassinet. Eller hvorfor man har valgt at bygge et bassin med vand i. I forbindelse med svømmebassinseksemplet antages det, at der spørges efter hændelser, der leder op til fænomenet, nemlig den hændelse, at lyset passerer fra luften til vandet. Men der spørges også efter principper, som afgør, hvordan lyset opfører sig, nemlig hvordan lyset brydes i overgangen mellem luft og vand.

Et spørgsmål Q er altså defineret ved disse tre ingredienser:

$$Q = \langle P_k, X, R \rangle$$

Hvor P_k er emnet, X er kontrastklassen og hvor det gælder at $X = \{P_1, \dots, P_k, \dots\}$, og R er relevansrelationen. [van Fraassen, 1980, s. 143]

Angående svaret siger van Fraassen, at et udsagn A er relevant i forhold til Q , hvis A har relationen R til parret $\{P_k, X\}$. Dvs. at A giver mening som svar på Q , hvis A har den udvalgte relation til emnet og kontrastklassen.

Hvorfor ses der en lys cirkel på bassinets overflade?:

Emnet: Det lysende område er cirkulært

Kontrastklassen: {Det lysende område er eliptisk, det lysende område er cirkulært, det lysende område er firkantet}

Relevans-relationen: Formens begrundelse i fysikkens principper. Og en hændelse på lysets vej fra kilde til beskuer.

I starten af opgavebesvarelsen forklares det, hvordan lysets brydning i vandoverfladen sammen med den betingelse, at lyset skal ramme et bestemt punkt på bunden, betyder, at kun lys fra et cirkulært område vil kunne ramme dette punkt.

I resten af opgavebesvarelsen beregnes størrelsen af det lyse område. Dette kan ifølge van Fraassen også betragtes som en del af forklaringen i det omfang, det er en uddybning af hvordan lyset brydes. Ligningen, der udleder den maksimale vinkel til cirkelns omkreds, er f.eks. en overfladisk forklaring. Men stadig en forklaring. En dybere forklaring kunne være at betragte lysets bølgenatur og ad denne vej beskrive, hvordan lyset brydes i overfladen.

Svaret kan kort opridses som følgende:

Det lysende område er cirkulært, fordi lyset bevæger sig i rette linier, brydes med et givent brydningsindeks i vandoverfladen, og fordi alle retninger er lige gode, dvs. der er omdrejningssymmetri omkring en lodret akse.

Svaret har ifølge van Fraassen følgende form:

$$P_k \text{ i kontrast til (resten af) } X \text{ fordi } A$$

Svaret afhænger af den samme kontekst, som definerer spørgsmålet.

Jeg har valgt et fysikeksempel, fordi det er fysiske forklaringer, jeg er interesseret i. Dette valg af eksempel viser dog efter min mening netop et problem i forbindelse med van Fraassens forklaringsmodel. Ikke fordi jeg har valgt et dårligt fysikeksempel, heller ikke fordi van Fraassens forklaringsmodel ikke kan beskrive fysiske forklaringer overhovedet, men fordi angivelsen af kontrastklasser og relevans relationer bliver kunstige i forbindelse med fysiske forklaringer. Relevans relationen bliver, så vidt jeg kan se, stort set den samme for alle fysiske forklaringer. At en forklaring er en fysisk forklaring betyder nemlig, at man ønsker en forklaring på baggrund af fysikkens særlige principper. Kontrastklassen bliver underligt kunstig, fordi det pga. de fysiske lovmæssigheder vil være umuligt at observere andet under de givne omstændigheder, end hvad der allerede er beskrevet i spørgsmålet.

En anden grund til, at det er skævt at diskutere relevans relationen, handler om fysiske forklarings generelle karakter. Jeg har ovenfor nævnt, at man kunne forestille sig en relevans relation i stil med spørgsmålet: Hvorfor blev svømmebassinet bygget? Antager man denne relevans relation, kommer forklaringen til at handle om et konkret svømmebassin og et konkret lysindfald. Ser man f.eks. på den oprindelige opgave, er der i denne ingen henvisninger til et konkret fænomen. Derimod går man i opgaven ud fra, at samme fænomen kan observeres i forbindelse med stort set alle svømmebassiner. Fysiske problemer er stort set altid af denne generelle karakter. I en fysisk forklaring

spørges der netop efter de generelle principper, der kan forklare det givne fænomen, hver gang det fremkommer.

Ved at indføre konteksten som et vigtigt element i forklaringsrelationen, fremhæves forklaringens pragmatiske natur. Når valget af forklaring på denne måde bygger på, hvad der er hensigtsmæssigt, viser van Fraassen, hvordan man kan gøre rede for forklaringer uden at måtte acceptere en eller anden form for realisme. Samtidig giver denne redegørelse ham mulighed for at løse de symmetriproblemer, der opstår med den deduktive nomologiske forklaringsmodel. Symmetriproblemerne opstod netop i den deduktive nomologiske forklaringsmodel, fordi betragtningerne angående forklaringer var koncentreret om forklaringens skematiske form. Van Fraassen har mulighed for at se ud over dette skema og på denne måde afgøre, hvilke forklaringer der kan kategoriseres som kausale forklaringer og hvilke, der er noget andet.

3.2.3 Status af forklaring og teori

Van Fraassen mener egentlig ikke, at forklaringer er nogen vigtig del af videnskaben. Dette synspunkt bygger, så vidt jeg kan se på, at forklaringer ofte inddrager teoretiske entiteter. Som antirealist vil van Fraassen ikke acceptere sådanne størrelser.

For in each case, a success of explanation is a success of adequate and informative description. And while it is true that we seek for explanation, the value of this search for science is that the search for explanation is *ipso facto* a search for empirically adequate, empirically strong theories. [van Fraassen, 1980, s. 157]

Forklaringerne er altså ikke interessante i sig selv, man kan ikke ad denne vej opnå viden om det, der ikke kan observeres. Men forklaringerne er interessante, fordi de spiller en rolle i videnskabens søgen efter empirisk adækvate og empirisk stærke teorier.

[...] the search for explanation is valued in science because it consists *for the most part* in the search for theories which are simpler, more unified, and more likely to be empirically adequate. This is not because explanatory power is a separate quality *sui generis* which, mysteriously, makes those other qualities more likely, but because having a good explanation *consists* for the most part in having a theory with those other qualities. [van Fraassen, 1980, s. 93])

En god forklaring viser vej til teorien, fordi det at have en god forklaring består i at have en teori, der er simpel, sammenhængende og empirisk adækvat.

Jeg vil ikke gå dybere ind i, hvordan forklaringer opfylder denne rollen som vejviser til gode teorier, da dette ikke har nogen egentlig betydning for mit projekt iøvrigt. Kun mener jeg, det er interessant at måden, hvorpå teorier fremkommer, dvs. hvordan man tænker, idet man giver forklaringen, ikke har nogen særlig betydning for, hvordan teorierne senere tolkes. Jeg mener, man kan forstå van Fraassen på denne måde, fordi han med sin anerkendelse af, at forklaringer findes, og samtidige afvisning af nogen egentligt betydning af forklaringer ud over, at de viser vej til teorier, på sin vis skelner mellem fremkomsten af teorierne og fortolkningen og status af de samme teorier. Dette er interessant som en parallel og uddybning til diskussionen i afsnit 2.3.1.

3.3 Cartwrights forklaringsmodel

Nancy Cartwright har udarbejdet en model for forklaringer inden for naturvidenskaben specielt fysikken. Denne model fremstilles i bogen *How the laws of physics lie* fra 1983. Cartwright undersøger lige som van Fraassen, hvad det faktisk er, der foregår, når man giver en naturvidenskabelig forklaring. Hun søger altså en deskriptiv forklaringsmodel frem for en normativ.

Cartwright kalder forklaringsmodellen for *The simulacrum account of explanation*. Det engelske ord simulacrum betyder 'noget der fremstår som en given ting, uden at besidde denne tings substans'. Allerede i dette navn antydes det, at forklaringer ifølge Cartwright er bygget op omkring en model af fænomenet.

Først vil jeg dog se på Cartwrights grundlæggende forståelse af videnskaben. Cartwright er som udgangspunkt empirist, entitets-realist og teori-antirealist. Dette har betydning for hendes forklaringsmodel. Specielt er det vigtigt at forstå hendes teori-antirealisme for at forstå, hvorfor og hvordan hendes forklaringsmodel er opbygget, og for at forstå, hvordan hendes forståelse af forklaringer adskiller sig markant fra f.eks. den mere traditionelle deduktive nomologiske forklaringsmodel.

3.3.1 Teori-antirealisme

Cartwright skelner mellem to forskellige typer lovmæssigheder; fænomenologiske love og fundamentale love. Den afgørende forskel på de fænomenologiske og de fundamentale love er for Cartwright, at fysikkens fundamentale love er falske, mens de fænomenologiske love i større udstrækning er sande.

Når Cartwright taler om sande og falske lovmæssigheder, mener hun, at en lov er sand, hvis dens forudsigelser er i overensstemmelse med de empiriske observationer, fakta, mens den er falsk, hvis ikke dette er tilfældet. Det er på denne baggrund, hun mener, at de fundamentale love er falske. En grundlæggende lov som f.eks. gravitationsloven er ikke i overensstemmelse med den måde, hvorpå almindelige ting opfører sig. Dvs. at ting som f.eks. et blad, der falder fra et træ, ikke opfører sig i overensstemmelse med gravitationsloven. Denne siger nemlig, at bladet falder pga. en kraft, der er givet ved massen af bladet, jordens masse og afstanden mellem bladet og jorden. Men virkelige blade falder ikke fra træerne i overensstemmelse med denne lov. Hvis man på denne måde udregner bladet faldtid og sammenligner dette med den faktiske faldtid, vil man finde en uoverensstemmelse. Denne uoverensstemmelse stammer hovedsagligt fra den luftmodstand, der også virker på bladet, men uoverensstemmelsen kan også stamme fra andre påvirkninger af bladet, f.eks. kan bladet støde ind i grene på vejen ned fra træet. Selv om man i nogen grad kan gøre rede for, hvilken andre påvirkninger der er på bladet, er der således ikke overensstemmelse mellem faldloven og de empiriske observationer. Under langt de fleste omstændigheder vil den enkelte fundamentale lov ikke være i overensstemmelse med fakta. Cartwright kalder dem derfor falske.

Hendes indvending mod de fundamentale love som sande uddybes ved følgende argument. Cartwright mener, at der er afgørende forskel på effekten fra en kraft, når den virker alene, og når den virker sammen med en anden kraft. Hun giver følgende argument: Et legeme, der trækkes lige meget i to modsatte retninger, kan ikke siges at bevæge sig både i den ene og den anden retning, sådan som det ville være, hvis først den ene kraft virkede og dernæst den anden. Et legeme, hvorpå to lige store og modsatrettede kræfter virker samtidig, bevæger sig slet ikke. [Cartwright, 1983, s. 61]

Effekten af de to samtidigt virkende krafter kan derfor ikke beskrives ved de samme ligninger, som beskriver effekterne fra de enkelte krafter.

Realister mht. teori vil være dybt uenig med Cartwright i denne forståelse af fysikkens fundamentale love. Realister mener, at fysikkens fundamentale love er sande, eller at de i hvert fald er tæt på sande, og at man i princippet kunne finde de love, der virkelig er sande. Alexander Bird er en sådan realist, og han mener at kunne imødekomme Cartwrights udfordring ved at henvise til, at de mange påvirkninger af den enkelte ting kan beskrives ved hver sin ligning. Dertil kommer en lov om vektor-addition, som fortæller, hvorledes disse forskellige ligninger skal bringes sammen.

[...] there are ways a realist can respond to this attack. One is to suggest that what the gravitational equation supplies is not the force between two objects but something else, a causal influence. [...] A further law, a law of vector addition, details how these combine to produce the appropriate motion in the bodies concerned. [Bird, 1998, s. 140]

Ved at betragte de fundamentale love som udtryk for kausal indflydelse i stedet for som beskrivelser af fakta kan man argumentere for sandheden af fysikkens love. Men for at lovene kan være sande, er det nødvendigt med en lov, der fortæller, hvordan man kombinere andre lovmæssigheder. I mekanikken findes f.eks. en sådan lov nemlig vektoradditionsloven eller superpositionsprincippet. Denne lov forklarer, hvordan de fundamentale love skal kombineres for at kunne beskrive fakta omkring det virkelige fænomen. Vektoradditionsloven regnes for at være en naturlov på linie med andre naturlove som f.eks. Newtons love.

Cartwright har to indvendinger mod dette. Den ene går på, at disse ekstra love er sjældne. Vektoradditionsloven er et godt eksempel på en sådan lov, men tilsvarende love findes generelt ikke i andre teoribygninger. Hendes anden indvending handler om, at den kausale indflydelse ikke kan eftervises eksperimentelt. [Cartwright, 1983, s. 62-67] Som eksempel kan man betragte et ladet legeme med tyngde, der befinder sig i nærheden af både en magnet og jorden. Umiddelbart ville man sige, at magneten og jorden er årsagen til, at legemet oplever en kraft i en særlig retning, og at legemet derfor bevæges i denne retning. For at redde lovenes sandhed kan man betragte lovene som udsagn om en kausal indflydelse i stedet for som et udsagn om fakta. Den kausale indflydelse indføres ved at sige, at jorden har en given indflydelse på legemet, og magneten har en anden indflydelse på legemet. Nu opstår så det problem, at man ikke kan antage, at både effekten fra jorden, effekten fra magneten og den samlede effekt kan forekomme samtidig. F.eks. kan en genstand ikke samtidig bevæge sig i tre forskellige retninger. Man kan vælge at ville forklare den resulterende bevægelse vha. den kausale indflydelse fra jorden og fra magneten. På denne måde undgås at tre forskellige effekter optræder samtidig. Man må altså afvise, at indflydelsen fra jorden resulterer i en bevægelse i en retning, og at indflydelsen fra magneten resulterer i en bevægelse i en anden retning. Cartwright mener, det er nødvendigt at antage f.eks. kraften fra jordens indflydelse og kraften fra magnetens indflydelse for at kunne sige, at disse tilsammen resulterer i genstandens bevægelse. Men Cartwright mener, at man eksperimentelt skal kunne eftervise de to teoretiske krafter for at kunne tillade sådanne. Altså påvise dem i de tilfælde, hvor de virker på samme genstand samtidig. Cartwright medgiver, at metoden virke i nogle tilfælde, men hun mener, det er et problem altid at skulle operere med størrelser, der ikke kan eftervises. Det er denne skepsis over for størrelser, der ikke kan

eftervises eksperimentelt, der udtrykkes når Cartwright siger:

On the vector addition story, the gravitational and the electric force are both produced, yet neither exists. [Cartwright, 1983, s. 60]

Cartwright er altså også i høj grad empirist, hun accepterer kun de størrelser og ting, der kan argumenteres for gennem eksperimenter. Dette indebærer dog også eksistensen af teoretiske ting.

Ifølge Cartwright er de fundamentale fysiske love dog i høj grad interessante. Man kan sige, at de er interessante, netop fordi de er falske. Den egenskab at være i overensstemmelse med de empiriske observationer er nemlig ikke foreneligt med den egenskab, Cartwright mener, der er den væsentligste i forbindelse med de fundamentale love.

[...] we explain complex phenomena by reducing them to their more simple components. This is not the only kind of explanation we give, but it is an important and central kind. I shall use the language of John Stuart Mill, and call this *explanation by composition of causes*. [Cartwright, 1983, s. 58]

In order to be true in the composite case, the law must describe one effect (the effect that actually happens); but to be explanatory, it must describe another. There is a trade-off here between truth and explanatory power. [Cartwright, 1983, s. 59]

Når bladet falder fra træet, er der tale om et komplekst fænomen, fordi flere forskellige faktorer har indflydelse på faldet, bl.a. tyngdekraften og luftmodstanden. Vi forklarer bladets fald ved at opdele fænomenet i disse forskellige dele. Der er således behov for nogle simplere beskrivelser, som fænomenet kan splittes op i (disse simplere beskrivelser er de fundamentale lovmæssigheder). Men hvis den fundamentale lovmæssighed skal beskrive den del af bladets fald, der er forbundet med tyngdekraften, kan samme lovmæssighed ikke også beskrive den samlede effekt, nemlig den måde hvorpå bladet faktisk falder ved at bevæge sig fra side til side i langsomme bevægelser.

Det er tydeligt, at holdningsforskelle mht. status af de fundamentale love er afgørende for hvordan forskellige videnskabsteoretikere opfatter forklaringer og lovmæssighedernes rolle i denne forbindelse. Bird mener, at kun noget, der eksisterer, kan forklare:

Cartwright takes the gravity equation to be explanatory only when it is false. I have emphasized that only something that exists can properly explain. [Bird, 1998, s. 140]

Hvis de fundamentale love er falske, kan de altså ikke forklare noget som helst. Som svar herpå siger Cartwright:

The realist asks, 'How *could* something explain if it was not true?' The anti-realist thinks this question exposes a mistaken view about what we do in explaining. Explanations (at least the high level explanations of theoretical science which are the practical focus of the debate) organize, briefly and efficiently, the unwieldy, and perhaps unlearnable, mass of highly detailed knowledge that we have of the phenomena. But organizing power has nothing to do with truth. [Cartwright, 1983, s. 87]

Cartwright medgiver, at når realister forsøger på at redde lovenes sandhed ved at argumentere for, at de handler om andet end fakta, så er der noget frugtbart i denne tilgang:

We can preserve the truth of Coulomb's law and the law of gravitation by making them about something other than the facts: the laws can describe the causal powers that the bodies have. [Cartwright, 1983, s. 61]

Det frugtbare kan dog ifølge Cartwright ikke munde ud i et argument for de fundamentale loves sandhed. Tværtimod er Cartwright tilfreds med, at fysikkens fundamentale love ikke er sande. Hvis de udtrykker tingenes kausale krafter, er dette for Cartwright nok til, at de kan have en forklarende rolle. De kan som sådan være med til at organisere den viden, der ligger i fysikken.

I *How the Laws of Physics Lie* fremlægger Cartwright også ganske kort, hvad hun mener, når hun henviser til tingenes kausale krafter:

[...] the law of gravitation claims that two bodies have the *power* to produce a force of size Gmm'/r^2 . But they do not always succeed in the *exercise* of it. What they really produce depends on what other powers are at work, and on what compromise is finally achieved among them. This may be the way we do sometimes imagine the composition of causes. But if so, the laws we use talk not about what bodies do, but about the powers they possess. [Cartwright, 1983, s. 61]

Denne ide om tingenes kausale krafter uddybes i Cartwrights senere bog *The Dappled World* [Cartwright, 1999]. Cartwright siger altså i stil med Hempel, at lovmæssighederne fortæller noget om de kausale forhold i forbindelse med fænomenerne. Men jeg mener, der er stor forskel på Hempels og Cartwrights forståelse af, hvordan lovmæssighederne indeholder viden om de kausale forhold. Hempel mener, at der skal lovmæssigheder i spil for at påvise et kausalt forhold mellem to hændelser, dvs. at et kausalt forhold mellem to hændelser er det samme som at sige, at de to hændelser er forbundet ved en lovmæssighed. På denne måde defineres kausale relationer blot som en forbindelse ved en lovmæssighed. Dette siger ikke meget nyt. Cartwright mener derimod, at lovmæssighederne fortæller noget om tingenes tendenser eller deres potentiale. Lovmæssighederne fortæller, hvordan tingene vil reagere, hvis de påvirkes på bestemte måder eller indsættes i særlige strukturer. Dette indeholder en særlig måde at forstå lovmæssighedernes status på. Lovmæssighederne er ikke bare en forbindelse mellem to hændelser, men de giver informationer om tingenes egenskaber og potentialer. Jeg vil ikke uddybe disse ideer yderligere, men blot nævne, at Cartwright vha. tingenes indbyggede kausale krafter argumenterer for, at kausale forklaringer har en stor betydning for den moderne fysikvidenskab.

Diskussionen omkring realisme og antirealisme bliver hurtigt meget teknisk som f.eks. i forbindelse med vektoradditionsspørgsmålet. Det interessante i forbindelse med mit projekt er dog, at man ved at acceptere en form for antirealisme opnår mulighed for at analysere fysikkens forklaringer på en måde, der inddrager og fremhæver træk ved videnskaben, som ikke trækkes frem gennem en realistisk analyse.

Et særligt træk, som fremhæves af Cartwright, og som er interessant i forbindelse med min diskussion i næste kapitel, er, at fysikken i høj grad benytter modeller i

forbindelse med forklaringer. Hvilken type modeller, der er tale om, vil fremgå af de følgende afsnit.

3.3.2 Forklaringskraft - kausalitet og teori

Cartwright mener ligesom de traditionelle forklaringsmodeller, at et fænomen kan betragtes som forklaret, hvis der kan argumenteres for, at fænomenet hører til domænet af en generel lovmæssighed. Cartwright udtrykker dette på følgende måde:

The same description deployed again and again gives explanatory power.
[Cartwright, 1983, s. 145]

Hvis den samme lovmæssighed kan anvendes i forbindelse med forklaringen af mange forskellige fænomener, så tillægges denne lovmæssighed forklaringskraft.

Dette er dog ikke den eneste form for forklaring, Cartwright anerkender. Hun skelner mellem to væsentlige typer; teoretiske forklaringer og kausale forklaringer.

[...] there are various things one can be doing in explaining. Two are of importance here: in explaining a phenomenon one can cite the causes of that phenomenon; or one can set the phenomenon in a general theoretical framework. [Cartwright, 1983, s. 75]

At give en teoretisk forklaring vil sige at vise, hvorledes fænomenet passer ind i det netværk af matematisk formuleret lovmæssigheder, der udgør teorien. Cartwrights forklaringsmodel, som jeg kommer nærmere ind på i de næste underafsnit, giver især en analyse af de teoretiske forklaringer. Det beskrives, hvorledes man bærer sig ad med at få fænomenet og de fundamentale lovmæssigheder til at passe sammen, når nu de fundamentale love ikke umiddelbart er sande om fænomenerne.

De kausale forklaringer siger Cartwright umiddelbart langt mindre om. Cartwright fremhæver dog muligheder for at efterprøve de kausale forklaringer. I modsætning til de teoretiske forklaringer kan kausale forklaringer være sande eller falske.

[...] unlike theoretical accounts, which can be justified only by an inference to the best explanation, causal accounts have an independent test of their truth: we can perform controlled experiments to find out if our causal stories are right or wrong. [Cartwright, 1983, s. 82]

Det er altså gennem eksperimentet muligt at afgøre, hvorvidt en kausal forklaring er sand eller falsk. Af samme grund kan også kun en enkelt kausal forklaring være den rigtige. Det kan f.eks. ikke være tilfældet, at toget både forulykker, fordi det bliver afsporet, og fordi togføreren falder i søvn. Hvis det er sandt, at toget forulykker pga. afsporing, kan det ikke samtidig være sandt, at toget forulykker pga. en sovende togfører. Der kan selvfølgelig være tale om en kombination af hændelser, der tilsammen leder til ulykken, men i det tilfælde er det så en helt tredje forklaring, der er den sande. Det forholder sig anderledes med hensyn til den teoretiske forklaring. Teoretiske forklaringer kan ikke siges at være sande eller falske. Det er faktisk tilfældet, at flere forskellige teoretiske forklaringer kan gøre rede for de samme fænomener. [Cartwright, 1983, s. 76] Dette er oven i købet ikke et problem. Man kan sagtens forestille sig to forskellige matematiske beskrivelser af samme fænomen, uden at dette betragtes som paradoksalt.

3.3.3 Ind i teorien

Det særlige ved Cartwrights forståelse af forklaringer er bl.a., at det ikke er teorien, der er udgangspunktet for forklaringen. Den teoretiske forklaring består i, at der gøres rede for fænomenets relation til teorien. Dvs. at fænomenet indarbejdes i teorien frem for at udledes fra teorien.

Ifølge Cartwright består denne indgang i teorien af to trin. Udgangspunktet er en beskrivelse af fænomenet, der indeholder alt, hvad vi ved om fænomenet. F.eks. den tekniske konstruktion af et apparat, elektroners spin, osv. [Cartwright, 1983, s. 133] Det første trin ind i teorien består i at forberede denne omfattende beskrivelse således, at den passer til teorien. Systemet skal beskrives på en sådan måde, at der kan findes en ligning, som passer på dette system. [Cartwright, 1983, s. 133] Når der er valgt en sådan beskrivelse, så dikteres ligninger, grænseværdier og approximationer herefter af de teoretiske principper. [Cartwright, 1983, s. 134] Dette er det andet trin ind i teorien. Hvordan et fænomen opnår forbindelse ind i teorien kunne f.eks. som i indledningen illustreres ved kanonopgaven. Jeg er stødt på et andet eksempel, som jeg også mener fint illustrerer denne vej ind i teorien:

Ganghastighed

Når man bevæger sig til fods, er der et vist hastighedsinterval (lidt individuelt placeret), hvor man finder det mindst anstrengende at gå. Det er anstrengende at gå væsentligt langsommere, medens det på den anden side er lettere at slå over i løb end at forcere ganghastigheden ud over en vis grænse.

For en (gennemsnits)voksen person ligger den optimale ganghastighed omkring 5-7 km/time. Giv en forklaring. [Imfufa, 1996, (Juni 1996, 2. prøve, opgave 1)]

Besvarelsen: Det mindst fysisk anstrengende for et menneske er at benytte så lidt muskelkraft som muligt. Når man går, kan dette opnåes ved at lade tyngdekraften sætte benenes bevægelse igang.

Hvis man betragter det enkelte ben som en form for pendul, vil man kunne opstille ligninger for denne bevægelse.

Pendulet svinger omkring en horisontal akse. I billedet af en person der går, vil denne akse så gennem personens hofteled. For at pendulet skal have størst mulig lighed med et ben, betragtes et pendul, der består af en massiv stav med samme længde som et ben, dvs. ca. 1 m.

Vi er interesserede i at finde den gennemsnitlige hastighed for en gående person, der går ved den mindst anstrengende hastighed.

$$v = \frac{2}{T} \cdot r \quad (3.10)$$

Hvor T er svingningstiden, og r er længden af et skridt. r kan antages at være 1 m.

For at finde et udtryk for svingningstiden vil jeg se på den ligning, der beskriver pendulets bevægelse.

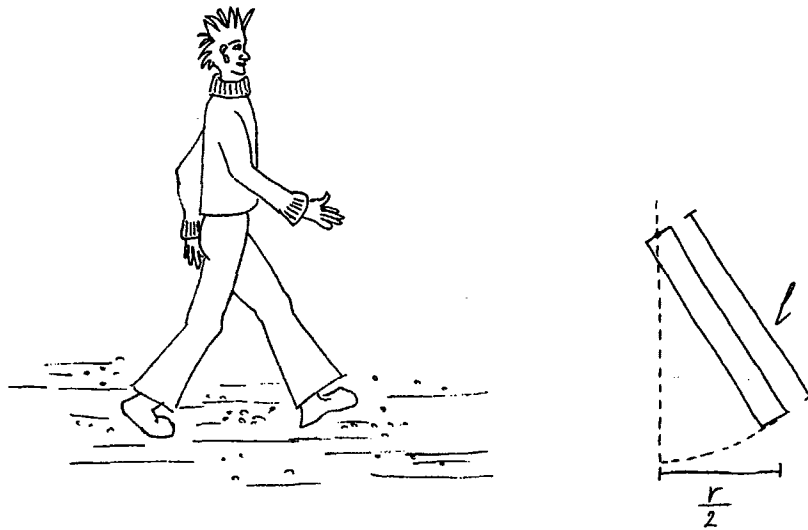
Pendulet betragtes som et stift legeme, der roterer om et fast punkt, i dette tilfælde er det faste punkt for enden af pendulet. Følgende ligning gælder for en sådan bevægelse:

$$\tau = I\alpha \quad (3.11)$$

Hvor τ er kraftmomentet på pendulet, I er inertimomentet og α er vinkelaccelerationen. Den eneste kraft, der har betydning for pendulets kraftmoment er tyngdekraften. Det er altså alene tyngdekraften, der forårsager pendulets bevægelse. Tyngdekraften virker i massemidtpunktet, som ligger midt på pendulet altså i $\frac{l}{2}$. Kraftmomentet bliver da:

$$\tau = -mg \frac{l}{2} \sin \theta$$

hvor m er pendulets samlede masse, og g er tyngdeaccelerationen.



Figur 3.5 På denne figur ses til venstre en mand der går på en grusvej. Til højre ses en skitse af et pendul, dette kan sammenlignes med mandens ben.

Hvis pendulet betragtes som en stav med en masse, der er jævnt fordelt over hele staven, da kan pendulets inertimoment beskrives ved:

$$\begin{aligned}
 I &= \int_0^l x^2 dm \\
 &= \int_0^l x^2 \frac{m}{l} dx \\
 &= \frac{m}{l} \int_0^l x^2 dx \\
 &= \frac{1}{3} ml^2
 \end{aligned}$$

hvor dm er en lille massedel, x er afstanden fra omdrejningspunktet ud til den betragtede massedel og dx er en lille længdedel.

Vinkelaccelerationen (α) kan udtrykkes ved vinklen (θ) mellem pendulet og ligevægtspositionen:

$$\begin{aligned}
 \alpha &= \frac{d\omega}{dt} \\
 \alpha &= \frac{d^2\theta}{dt^2}
 \end{aligned}$$

Indsættes udtrykkene for henholdsvis kraftmomentet (τ), inertimomentet (I) og vinkelaccelerationen (α) i ligning 3.11 fåes:

$$\begin{aligned}
 \tau &= I\alpha \\
 -mg \frac{l}{2} \sin \theta &= \frac{1}{3} ml^2 \frac{d^2\theta}{dt^2} \\
 -\frac{3}{2} \frac{g}{l} \sin \theta &= \frac{d^2\theta}{dt^2}
 \end{aligned}$$

For små vinkler (benet på en gående person svinger kun ud i en forholdsvis lille vinkel) gælder at $\sin \theta \approx \theta$, derved får vi:

$$-\frac{3g}{2l} \theta = \frac{d^2\theta}{dt^2}$$

Dette er ligningen for en simpel harmonisk bevægelse. Pendulet svinger altså med en simpel harmonisk bevægelse, hvor vinkelhastigheden er givet ved brøken $\frac{3g}{2l}$. Vi får altså:

$$\omega = \sqrt{\frac{3g}{2l}} \quad (3.12)$$

Der er følgende sammenhæng mellem vinkelhastighed og svingningstid:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \quad (3.13)$$

Indsættes udtrykket for ω fra ligning 3.12 i ligning 3.13 får vi:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{2l}{3g}}$$

Indsættes dette udtryk i ligning 3.10 opnår vi et udtryk for pendulets gennemsnitlige hastighed:

$$v = \frac{r\sqrt{3g}}{\pi\sqrt{2l}}$$

Den mindst anstrengende hastighed for en gående person bliver da ca.:

$$v = \frac{1 \text{ m} \sqrt{39,8 \text{ m/s}^2}}{3,14 \sqrt{21 \text{ m}}} = 1,23 \text{ m/s}^2 = 4,4 \text{ km/t}$$

Mange forskellige faktorer har indflydelse på, hvor hurtigt en person går, f.eks. personens kondition, hvor mange muskler personen har i benene, om der er is på vejen, hvor lange ben personen har osv. Det meste af dette bliver der set bort fra, når benene sammenlignes med en stav, der svinger som et pendul. At beskrive det, der foregår, når en person går, f.eks. ud af en grusvej, kun som to stave der svinger frem og tilbage, er, hvad Cartwright kalder den forberedte beskrivelse, altså det første trin ind i teorien. Det andet trin består i, at teorien dikterer, at det er ligning 3.11, der skal bruges i dette tilfælde. Ligning 3.11 er nøglen til hele beregningen af ganghastigheden. Men denne ligning kan kun anvendes til at beskrive nogle ganske bestemte tings ganske særlige bevægelser. Kun hvis der er tale om stive legemer, der roterer omkring en akse, kan ligningen anvendes. Menneskers ben er ikke stive legemer, og de beskriver heller ikke præcist en roterende bevægelse omkring en akse.

Vi kan altså kun besvare spørgsmålet, der er relateret til et hverdagsfænomen, hvis vi laver en meget forenklet model af fænomenet. Gennem pendulmodellen forbindes menneskers gang til lovmæssigheden, der dækker stive legemer i roterende bevægelse. Når først ligning 3.11 er bragt på banen, er resten af opgaven kun relateret til pendulmodellen, og udregningerne er meget abstrakte dvs. uden overvejelser angående mennesker og ben iøvrigt. Til slut vendes der tilbage til sammenhængen mellem teori og fænomen, og resultatet fortolkes i forbindelse med fænomenet.

Cartwright nævner selv, at de systemer, der betragtes i fysikvidenskaben, ofte er konstrueret i overensstemmelse med den forberedte beskrivelse. F.eks. eksperimenter i laboratoriet. Herved er der umiddelbart en god overensstemmelse mellem teorien og fænomenet. Cartwrights fremstilling af, hvorledes fænomenet tilpasses teorien gennem

den forberedte forklaring, er tydeligere, hvor der er tale om at forklare fænomener uden for laboratoriet. Hvor der f.eks. ikke er sørget for, at en luftmodstand er ubetydelig, eller at friktionen mellem to legemer er negligibel. Jeg mener, at Cartwrights forklaringsmodel her har en fordel frem for den deduktive nomologiske forklaringsmodel, der ikke tager stilling til, hvad det er for en type fænomen, der skal forklares. Den deduktive nomologiske forklaringsmodel kan måske fungere godt i forbindelse med at forklare laboratorieforsøg, mens den vil støde på problemer i forbindelse med at beskrive forklaringerne af de fleste hverdagsfænomener.

Måske kan man se på Cartwrights forklaringsmodel som en udbygning af den deduktive nomologiske forklaringsmodel. Cartwrightmodellens andet trin svarer nogenlunde til den deduktive nomologiske forklaringsmodel, mens hun udbygger med den forberedte beskrivelse af fænomenet som en forudsætning for det andet trin.

Om det andet trin i forklaringerne siger Cartwright, at hvilke fundamentale love, der skal anvendes på modellen, dikteres af særlige principper. Disse er få lige som de fundamentale lovmæssigheder og er også en del af teorien, de kaldes broprincipper. Om en CW GaAs laser siger Cartwright:

[...] once we have decided to describe it as a narrow band black body source, the principles of the theory tell what equations will govern it. [Cartwright, 1983, s. 134]

Disse principper, der fortæller hvilke principper og ligninger, der skal anvendes, er ikke de grundlæggende lovmæssigheder som f.eks. energibevarelsessætningen. I forbindelse med eksemplet om personers ganghastighed er et sådan princip, der bestemmer hvilke ligninger, der skal bruges, f.eks. at et legeme, der svinger under påvirkning af tyngdekraften, kan beskrives ved ligningen: $\tau = I\alpha$. Dette kaldes et broprincip. [Cartwright, 1983, s. 135-136] Et sådan princip benyttes til at oversætte modellens elementer og relationer til teoriens sprog. Modellen oversættes på denne måde til én abstrakt, matematisk beskrivelse, der herefter kan manipuleres således, at det ønskede resultat findes.

Ifølge Cartwright er der et begrænset antal broprincipper. Dette ser hun som en styrke ved fysikken. Hun påpeger, at disse principper hverken er mere eller mindre universelle end teoriens andre principper. Det er også vigtigt for hende at understrege, at disse broprincipper kun dækker det andet trin ind i teorien - det trin, hvor teorien bruges på den forberedte beskrivelse. Broprincipperne strækker sig ikke mellem den ikke-forberedte beskrivelse og teorien. Dvs. at vi ikke kan forklare hvad som helst vha. teorien. Kun bestemte måder at beskrive systemet på kan danne baggrund for en forklaring. [Cartwright, 1983, s. 155-156]

3.3.4 Model mellem teori og fænomen

Denne indgang til teorien er stort set, hvad Cartwrights forklaringsmodel består af. Når man giver fysiske forklaringer, mener Cartwright, at man tager disse trin fra fænomenet over en forberedt beskrivelse til anvendelsen af teorien på denne beskrivelse. Den forberedte beskrivelse er helt central. Denne beskrivelse kaldes også for en model. Det er en model af fænomenet, men også en model af teorien forstået på den måde, at modellen bevidst er udvalgt for at være i overensstemmelse med teorien.

Det er afgørende for forklaringen, hvorledes denne model beskriver det fysiske system. I forbindelse med valget af model er der mulighed for at vælge flere forskellige

forklaringer på det samme fænomen. Når først modellen er valgt, er resten af forklaringen stort set fastlagt. Dvs. at det er i forbindelse med valget af model, at der er behov for kreativitet og god indsigt i naturen for at kunne give en god forklaring. Forklaringen vil da kunne gøre rede for naturens sammenhænge.

Trinnet over modellen bevirker også, at teorien kun kan sige noget om naturen selv i forbindelse med en forklaring. I sig selv siger teorien ikke noget om naturen, men kun noget om modellen.

[...] it usually does not make sense to talk of the fundamental laws of nature playing out their consequences in reality. For the kind of antecedent situations that fall under the fundamental laws are generally the fictional situations of a model, prepared for the needs of the theory, and not the blousy situations of reality. [Cartwright, 1983, s.160]

Det er klart, at teorien passer fantastisk godt på nogle fænomener, især fænomener, der er fremstillet i laboratoriet. Grunden til at teorien er i god overensstemmelse med disse fænomener er ifølge Cartwright, at disse netop er konstrueret for at kunne passe på teorien.

I forbindelse med fænomener, som de i almindelighed findes i hverdagen og naturen, er det nødvendigt, at modellen i højere grad afviger fra fænomenet. Heri ligger netop forklaringens styrke. Det er på denne måde muligt, at indpasse mange forskellige fænomener under den samme generelle lovmæssighed.

Var det udelukkende et ønske om præcision i beskrivelsen, der var styrende for fysikken, så ville man ifølge Cartwright kunne opnå langt større præcision gennem fænomenologiske beskrivelser. Men de fænomenologiske beskrivelser bunder ikke i fælles generelle lovmæssigheder, hvorfor de ikke giver nogen tilfredsstillende forklaring på et fænomen. Dette er et af Cartwrights argumenter for, at de generelle lovmæssigheders styrke ikke er at være realistiske og sande, men derimod at være forklarende.

I think of a physics theory as providing an explanatory scheme into which phenomena of interest can be fitted. [...] It is part of this organizing activity that it cannot be done very well if we stick too closely to stating what is true. Some claims of the theory must be literally descriptive (I think the claims about mass and charge of the elektron are a good example) if the theory is to be brought to bear on the phenomena; but I suspect that there is no general independent way of characterizing which these will be. What is important to realize is that if the theory is to have considerable explanatory power, most of its fundamental claims will not state truths, and that this will in general include the bulk of our most highly prized laws and equations. [Cartwright, 1983, s. 77]

Hvis der skal skabes en realistisk overensstemmelse mellem teori og fænomen, som det f.eks. ønskes i den deduktive-nomologiske forklaringsmodel, er det ifølge Cartwright nødvendigt, at der både er en realistisk overensstemmelse mellem teori og model og mellem model og fænomen. Det er denne sidste overensstemmelse, Cartwright mener, der ikke findes.

Forestiller man sig, at modellen var helt i overensstemmelse med fænomenet, dvs. at den var realistisk i forhold til fænomenet, så ville en sådan model ikke kunne beskrives vha. teorien, da en sådan model ville være alt for omfattende. En oplagt indvending

mod dette er, at man i princippet kan forestille sig, at forskellige dele af fænomenet forklares vha. forskellige modeller, og at disse modeller til slut betragtes i sammenhæng og tilsammen kan give en beskrivelse af fænomenet, der er i fuldstændig overensstemmelse med det faktiske fænomen. Jeg har allerede været inde på, at Cartwright argumenterer imod et sådant vektoradditionsargument. Se afsnit 3.3.1.

Cartwrights forklaringsmodel indfanger det, hun kalder teoretiske forklaringer. Jeg har været inde på, at hun også er varm fortaler for kausale forklaringer, men disse inkluderes ikke umiddelbart i forklaringsmodellen. Med Cartwrights begreb om tingenes kausale kræfter, som jeg før har omtalt, kan man dog argumentere for, at viden om fænomenets kausale sammenhænge og struktur indgår i forklaringen. Det væsentlige i forbindelse med dette projekt er dog selve skemaet med den centrale model, som hun mener, forklaringer passer ind i.

3.4 Opsamling

De tre forklaringsmodeller, jeg nu har gennemgået, fremhæver hver især forskellige træk ved forklaringer. Den første uoverensstemmelse mellem forklaringsmodellerne, der springer i øjnene, er spørgsmålet om, hvorvidt ordet 'forklaring' skal reserveres til kausale forklaringer og besvarelser af hvorfor-spørgsmål. Her skiller van Fraassen sig klart ud fra de andre med den forståelse, at forklaringer kun er kausale forklaringer. Samtidig mener han dog ikke, at sådanne forklaringer er særligt interessante for videnskaben. Videnskaben handler for van Fraassen om at opnå empirisk adækvate beskrivelser af fænomenerne. Også kausale forklaringer kan naturligvis beskrive fænomenerne, men så snart disse forklaringer begynder at indeholde teoretiske entiteter, er disse forklaringer ifølge van Fraassen kun interessante som skridt på vejen til en matematisk beskrivelse.

Cartwright ser ganske anderledes på sagen. For hende er forklaringer netop interessante, når de indeholder teoretiske entiteter. Det er i disse tilfælde, videnskaben har mulighed for at opnå ny viden om naturen. En ren sproglig beskrivelse af fænomenerne indeholder i sig selv ikke nye informationer. Det gør til gengæld en forklaring, der indeholder størrelser og entiteter, som ikke umiddelbart kan observeres. Fordi Cartwright mener, at der kun findes een sand kausal forklaring, vil en vurdering af hvilken kausale forklaring, der er den mest sandsynlige, også indeholde en stillingtagen til hvilke teoretiske entiteter, der findes i naturen, en stillingtagen til den mest sandsynlige årsag. Som sådan spiller kausale forklaringer ifølge Cartwright en ganske væsentlig rolle i fysikvidenskaben.

I forbindelse med forklaringsmodellen lægger Cartwright iøvrigt ikke stor vægt på at skelne mellem kausale og andre forklaringer. Hendes forklaringsmodel omhandler umiddelbart, hvad hun kalder, teoretiske forklaringer, dvs. forklaringer der knytter fænomenet til den matematisk formulerede teori. Men i og med at hun mener, at meget fundamentale lovmæssigheder også er udtryk for kausale sammenhænge, er det uklart i hvor høj grad skellet mellem kausale og teoretiske forklaringer opretholdes. Jeg vil i næste kapitel desuden argumentere for en anden sammenhæng mellem teoretiske og kausale forklaringer - nemlig den, at en vis kausal forståelse af fænomenet er en forudsætning for at kunne give en teoretisk forklaring af et naturligt fænomen. Et naturligt fænomen er et fænomen, der ikke umiddelbart knytter sig til teorien, men som ifølge Cartwrights forklaringsmodel har behov for en model for at opnå en sådan sammenhæng.

Heller ikke Hempel skelner helt klart mellem kausale og teoretiske forklaringer eller nomologiske forklaringer, som han kalder dem. Han argumenterer for, at stort set alle typer forklaringer kan indpasses i det samme skema. Dette betragter jeg som en argumentation for, at alle forklaringer på bunden er af samme type. I hvert fald er det med et sådant enkelt skema som Hempels svært at skelne mere nuanceret mellem forskellige typer forklaringer.

Det er dog min opfattelse at van Fraassens og Hempel forholder sig så forskelligt til kausale forklaringer, at det er svært at afgøre, hvorvidt det er den samme definition, der ligger til grund for brugen af ordet. Ifølge van Fraassen indeholder kausale forklaringer henvisning til hændelser og omstændigheder, der går forud for den aktuelle hændelse. Hempel mener, at man kun kan påvise en kausal sammenhæng mellem hændelser vha. en lovmæssighed. Hempel er således interesseret i at kunne afgøre, hvornår der er tale om en kausal sammenhæng mellem to hændelser, mens van Fraassen ikke overvejer dette spørgsmål, men i stedet henviser til, at en kausal forklaring består i at to hændelser følger hinanden. I begge tilfælde er der dog tale om, at kausale forklaringer indeholder to hændelser, der efterfølger hinanden.

Denne forståelse adskiller kausale forklaringer fra forklaringer af samme type som satellitopgaven (se afsnit 3.1). I besvarelsen af satellitopgaven henvises der ikke til andre hændelser for at forklare fænomenet, der henvises i stedet til matematiske beskrivelser af en særlig type bevægelse og til den fysiske betragtning at tyngdeaccelerationen i dette tilfælde er lig centripetalaccelerationen. Men tyngdeaccelerationen er ikke en hændelse, der går forud for satellittens kredsløb. Det er i det hele taget mindre interessant, hvordan hele fænomenet kommer i stand, det interessante for denne forklaring er, at en cirkelbevægelse kan beskrives og hvis centripetalaccelerationen er kendt, vil det være muligt at udregne f.eks. omløbstiden. Besvarelsen af satellitopgaven indeholder således ikke elementer af en kausal forklaring. Jeg vil kalde forklaringer af samme type som satellitopgaven for nomologiske forklaringer. Disse nomologiske forklaringer ligner til dels, hvad Cartwright kalder teoretiske forklaringer. Med betegnelsen 'nomologisk forklaring' mener jeg dog udelukkende sådanne forklaringer, som Hempel beskriver, der hovedsagligt bygger på generelle lovmæssigheder og abstraktion fra fænomenets kausale struktur. Dvs. at forklaringer som Cartwright beskriver, der også bygger på en model, vil jeg ikke kalde nomologiske. Selv om Hempel mener, at alle typer forklaringer kan passes ind i samme skema, mener jeg, at dette skema hovedsagligt er fordelagtigt i karakteristikken af sådanne nomologiske forklaringer. Min begrundelse for dette er netop, at Hempels tilgang til de kausale forklaringer især handler om at kunne påvise, hvornår der er tale om, at to hændelser er knyttet sammen i et kausalt forhold, dvs. udpege en kausal relation, og i mindre grad handler om en interesse for at kunne karakterisere, hvordan kausale forklaringer er opbygget. Hempels skema karakteriserer derimod fint den nomologiske forklaringstype, hvor lovmæssigheden eller den matematiske beskrivelse er forklaringens udgangspunkt, og hvor resten af forklaringen indebærer deduktive udledninger.

Diskussionen angående kausale og nomologiske forklaringer kommer let til at handle om, hvorvidt ordet 'forklaring' skal reserveres udelukkende til at referere til kausale forklaringer, eller om også nomologiske forklaringer må kaldes forklaringer. Jeg vil tilslutte mig Cartwrights afvisning af denne diskussion som ligegyldig. Det interessante er at kunne karakterisere forklaringer, og at kunne skelne mellem de forskellige typer forklaringer, der findes. I forbindelse med dette projekt er det specielt distinktionen mellem nomologiske og kausale forklaringer, der spiller en rolle, hvorfor jeg har valgt at

lægge vægten på dette.

Det har således heller ikke været virkeligt interessant for mig, hvorvidt f.eks. kausale forklaringer indeholder information om virkelige og teoretiske entiteter, eller hvorvidt lovmæssigheder må betragtes som sande, falske eller om de indeholder informationer om kausale strukturer eller ej. Kun i den udstrækning at f.eks. spørgsmålet om realisme og antirealisme har en betydning for, hvordan man kan opbygge forklaringsmodellerne, har dette været interessant. Det er tydeligt, at det antirealistiske syn på lovmæssigheder har åbnet mulighed for nye måder at betragte forklaringer på f.eks. for Cartwright. For hende bliver det således muligt at se ud over en direkte sammenhæng mellem teorien og fænomenerne og koncentrere forklaringsmodellen om at beskrive, hvorledes der opnåes sammenhæng mellem komplekse fænomener og teorien.

Det element, jeg især vil fremhæve fra Cartwrights forklaringsmodel, er netop at sammenhængen mellem teorien og mere komplekse fænomener karakteriseres. Sammenhængen mellem teori og fænomen etableres ifølge Cartwright af en model. Det er ikke ganske tydeligt, hvilken form for model der er tale om, men jeg vil her forsøge at give min udlægning af denne type model. Modeller er naturligvis altid enklere udgaver af det virkelige fænomen. Når Cartwright taler om at lave en enklere udgave af et fænomen, tolker jeg dette således, at det er en enklere udgave af fænomenets bestanddele og struktur, der er tale om. En sådan model kan man forestille sig som f.eks. en mekanisk model eller en principskitse, man kan altså forestille sig at bygge eller skitsere en sådan model. Jeg vil tillade mig at kalde disse Cartwrightske modeller for fysiske modeller. I mange tilfælde vil en sådan fysisk model blive suppleret af en matematisk model. Det er denne dobbelthed i modellen, der skaber sammenhængen til teorien. Den fysiske model bliver et bindeled til den matematiske beskrivelse og den mere generelle teori. Ifølge Cartwright er den fysiske model central i argumentationen for, at den generelle teori har noget som helst med virkelige fænomener at gøre; sådanne komplekse fænomener, der forekommer i naturen. Ifølge Cartwright beskæftiger videnskabsfolk sig ofte med netop fysiske modeller og teori frem for virkelige, naturlige fænomener. Det er modellerne, der har videnskabsfolkens overvejende interesse frem for naturens fænomener.

Cartwright skelner mellem teoretiske og kausale forklaringer. Jeg vil vælge at trække en lidt anderledes distinktion. Den type forklaringer, som Cartwright beskriver gennem de to trin ind i teorien, vil jeg kalde 'modelrelaterede forklaringer', fordi det centrale element i disse forklaringer er den fysiske model. Jeg vil stille disse modelrelaterede forklaringer op overfor 'teoriafledte forklaringer'. Med denne betegnelse vil jeg lægge vægt på, at der er en tæt og deduktiv sammenhæng mellem teori og fænomen, som det f.eks. er tilfældet i satellitopgaven.

4 Diskussion

Jeg har nu diskuteret de forskellige forklaringsmodeller i forhold til hinanden, og der er mange forskellige elementer i disse modeller, det kunne være interessant at diskutere yderligere. Jeg vil nøjes med at fremhæve to pointer som for mig er trådt frem som særligt interessante i forhold til fysikundervisning. Den ene pointe tager udgangspunkt i den distinktion mellem nomologiske og kausale forklaringer, som blev etableret i foregående kapitel. Den anden tager udgangspunkt i distinktionen mellem teoriafledte og modelrelaterede forklaringer, som i foregående kapitel især blev behandlet i forbindelse med Cartwrights forklaringsmodel. Denne distinktion relaterer sig til det forhold, at jeg mener, det er væsentligt i fysikundervisningen at lære noget om naturen.

Disse to pointer har indbyrdes ingen særlig sammenhæng. Grunden til, at jeg netop trækker disse to elementer frem, er, at disse har uddistileret sig gennem mit arbejde med de tre videnskabsteoretikere, og jeg mener, de hver for sig indeholder særligt stof til eftertanke for fysiklærere.

4.1 Nomologiske forklaringer

Jeg mener, en skelnen mellem nomologiske og kausale forklaringer er interessant, fordi jeg mener, den ene type forklaring er sværere og mere utilgængelig end den anden. Distinktionen er interessant, fordi jeg på denne måde kan fremhæve, hvad fysikfaget har at tilbyde i forbindelse med dannelse. Jeg vil starte med at vise, hvorledes de nomologiske forklaringer er sværere tilgængelige end de kausale forklaringer. Jeg vil igen inddrage de to forklaringer på cykelopgaven, som jeg benyttede i indledningen. Jeg gengiver dem igen her udelukkende for at lette læsningen.

Den nomologiske forklaring er lavet af en trænet fysiker:

Cykling

Hvor stor er kraften mellem fod og pedal i forhold til gnidningskraften mellem vej og dæk ved cykling? Begrund svaret. [Imfufa, 2003, (Juni 1999, 1. prøve, opgave 1)]

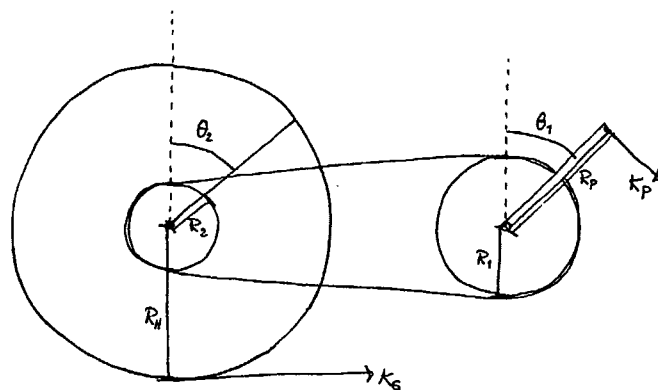
En nomologisk forklaring

Uanset om gnidningskraften mellem vej og dæk overvinder luftmodstand, accelererer eller løfter op ad bakke, må arbejdet den udfører på cykel plus person af energibevarelsesgrunde være omtrent det samme som det arbejde personen udfører ved at trampe i pedalen. Redegørelse for betegnelserne findes på figur 4.1:

$$A_P = A_G \quad (4.1)$$

$$K_P R_P \Delta\theta_1 = K_G R_H \Delta\theta_2 \quad (4.2)$$

$$\Rightarrow \frac{K_P}{K_G} = \frac{R_H \Delta\theta_2}{R_P \Delta\theta_1}$$



Figur 4.1 Denne figur viser en skitse over cyklen i forbindelse med cykelopgavens nomologiske besvarelse.

Forreste og bagerste tandhjul er forbundet via kæden, bevægelserne er dermed også forbundne på følgende måde:

$$\begin{aligned} R_1 \Delta\theta_1 &= R_2 \Delta\theta_2 \\ \Rightarrow \frac{R_1}{R_2} &= \frac{\Delta\theta_2}{\Delta\theta_1} \end{aligned}$$

Dermed fåes følgende forhold mellem de to krafter:

$$\frac{K_P}{K_G} = \frac{R_H R_1}{R_P R_2}$$

[Jensen, 2000, s. 24 og 26]

En opgave som denne er ikke ualmindelig i fysikken. Tilsvarende opgaver kan findes som eksempler i mange lærebøger. Ligeledes kan man finde eksempler på opgavebesvarelser, der minder meget om denne. Dvs. opgavebesvarelser, der også henviser til en meget generel betragtning, i dette tilfælde drejer det sig om den betragtning, at arbejdet, der tilføres systemet må svare til det arbejde, som gnidningskraften udfører på cyklen, altså en udgave af loven om energibevarelse.

Der er tale om en meget abstrakt og generel betragtning både hvad angår systemet og hvad angår den nomologiske tilgang til problemet. Abstraktionen på disse to punkter foregår i besvarelsen som et samlet trin. I samme sætning bemærkes det, at det eneste interessante ved systemet er det arbejde, der udføres på systemet, og at arbejdet på pedalerne må være lig arbejdet på hjulet fra vejen. Det er en og samme betragtning, der har både et system-strukturelt aspekt og et teoretisk aspekt.

Lidt mere detaljeret kan man forestille sig, at den trænede fysiker har gjort følgende betragtninger: Først betragtes systemet bestående af cykel plus mand. Det er klart at vejen udfører et arbejde på dette samlede system, ellers ville cyklen ikke bevæges frem. Dernæst bemærkes det, at arbejde kun kan stamme fra manden, der tramper i pedalerne, det vil sige inde fra systemet selv. Mandens arbejde på pedalerne må altså være lig det arbejde, der udføres af vejen på det samlede system. Der arbejdes altså med to systemer,

det ene indeholder vejen og cykel plus mand og det arbejde der udføres herimellem. Det andet system består af cyklen og manden, og det arbejde der udføres herimellem. Disse betragtninger indeholder ingen detaljer med hensyn til hvordan kæder, tandhjul og hjul trækker og skubber på hinanden. Jeg mener, at det er svært at lave en sådan forenkling af systemet.

Opgavebesvarelsen er hvad der i forbindelse med Hempels forklaringsmodel blev kritiseret som symmetriske forklaringer. Det gør ingen forskel, hvordan man læser ligning 4.1. Man kan både sige at kraften på pedalen forklarer kraften på hjulet, og at kraften på hjulet forklarer kraften på pedalen. Det sidste lyder ganske vist forkert i vore ører, ikke desto mindre er der ikke taget stilling til dette i opgavebesvarelsen, blot konstateres det, at størrelsen af arbejdet, der følger af kraften, er ens.

Cykelopgaven er ligesom de foregående eksempler en eksamensopgave fra fysikoverbygningen på RUC. Jeg har analyseret de studerendes besvarelser, fordi det her viser sig, at de studerendes tilgang til problemet er ganske anderledes. Følgende besvarelse viser tydeligt en tankegang, der går igen i stort set alle de studerendes besvarelser.

Cykling; en kausal forklaring

Den kraft foden trykker på pedalen med (K_P) afstedkommer et kraftmoment (τ_1) på det system, der består af pedal og det forreste tandhjul. Se figur 1.2A.

$$\tau_1 = K_P R_P$$

Pedalen og dermed tandhjulet bevæges rundt med konstant hastighed. Det betyder at impulsmomentet er konstant for dette system. For en sådan bevægelse gælder at det samlede kraftmoment på systemet er nul. Det isolede system bestående af pedal og tandhjul påvirkes udelukkende af fodens kraft på pedalen og af kædens træk i tandhjulet. Kædens påvirkning af tandhjulet må altså afstedkomme et kraftmoment ($K_1 R_1$) af samme størrelse som τ_1 . Dermed opnåes følgende ligning:

$$K_P R_P = K_1 R_1 \quad (4.3)$$

$$\Rightarrow K_1 = K_P \frac{R_P}{R_1} \quad (4.4)$$

Da aktion er lig reaktion må det gælde at kædens træk i tandhjulet er lig tandhjulets træk i kæden. Altså:

$$K_1 = S$$

Hvor S er spændingen i kæden.

Det antages, at spændingen er den samme overalt i kæden. Se figur 1.2B.

Spændingen i kæden kan sættes lig kraften på det bagerste tandhjul igen på baggrund af et argument baseret på at aktion er lig reaktion.

$$S = K_2$$

Således opnåes en sammenhæng mellem kraften på det forreste tandhjul og kraften på det bagerste tandhjul:

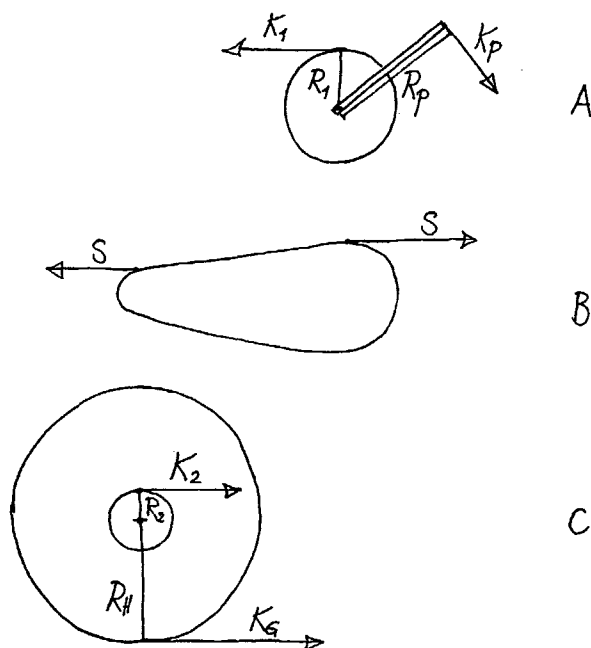
$$K_1 = K_2$$

Betragtes systemet bestående af det bagerste tandhjul og hjulet (se figur 1.2C), ses det at kraften (K_2) på tandhjulet forårsager et kraftmoment (τ_2):

$$\tau_2 = K_2 R_2$$

Igen er der tale om en bevægelse med konstant impulsmoment. Det samlede kraftmoment skal altså også her være nul, og vi får at kraftmomentet fra tandhjulet skal modsvares af kraftmomentet forårsaget af gnidningskraften fra vejen på hjulet:

$$K_2 R_2 = K_G R_H$$



Figur 4.2 Denne figur viser en skitse over tre delsystemer af cyklen i forbindelse med cykelopgavens kausale besvarelse.

Da $K_1 = K_2$ kan udtrykket fra ligning 1.2 indsættes, og forholdet mellem kraften på pedalen og kraften på hjulet bliver:

$$K_P \frac{R_P}{R_1} R_2 = K_G R_H$$

$$\Rightarrow \frac{K_P}{K_G} = \frac{R_H R_1}{R_P R_2}$$

Den kausale forklaring starter med at konstatere, at der er en kraft på pedalen, som afstedkommer et kraftmoment. Vha. kraftmomentet findes trækket i kæden. Herefter etableres forbindelsen mellem pedalsystemet og hjulsystemet. Det angives, at det bagerste tandhjul giver baghjulet et kraftmoment og hermed kan forholdet mellem de to krafter beregnes.

Tretten studerende besvarede denne opgave ved eksamen. Opgaven regnes af alle studerende ved at tage udgangspunkt i kraften. Hos mange fremgår det, at man har gennemtænkt problemet ved at følge 'kraftens vej gennem systemet'. Således angives af størstedelen kraftmomentet på pedalsystemet, herefter angives et kraftmoment på hjulsystemet. For at komme til et resultat er det nødvendigt at kende en sammenhæng mellem de to kraftmomenter. Denne sammenhæng skabes hos mange direkte ved at sætte de to kraftmomenter lig hinanden.

De studerende griber altså opgaven ganske anderledes an end den trænede fysiker.

Lovmæssighederne bruges ikke på samme generelle måde som i den nomologiske besvarelse og som Hempel fremhæver. I stedet benytter de studerende, hvad jeg vil kalde 'fænomenets kausale struktur' for at løse problemet. De deler fænomenet ind i mindre dele i overensstemmelse med den måde, hvorpå cyklens dele (tandhjul, kæde osv.) påvirker hinanden. Hver enkelt del løses for sig. Hvert trin svarer ganske vist nogenlunde til en nomologisk forklaring, men opdelingen i mange trin vidner alligevel om, at evnen til at overskue cyklen som et samlet system og på denne baggrund give en overskuelig forklaring ikke er fuldt optrænet. Lovmæssighederne, der benyttes i denne trin for trin forklaring, har heller ikke helt den samme generelle karakter som energibevarelsessætningen i den nomologiske forklaring. Der er i højere grad tale om matematiske beskrivelser, der, hvis videnskabens struktur betragtes som deduktiv, ligger lidt længere nede i hierarkiet.

Jeg vil tillade mig at kalde elevforklaringerne for kausale forklaringer. Ganske vist er der ikke tale om, at et hvorfor-spørgsmål besvares, men det er den kausale historie der lægges til grund for opgavebesvarelsen. Man kan godt betragte trampet i pedalerne som den igangsættende hændelse, dvs. som den hændelse, der er årsag til gnidningskraften mellem vej og hjul og dermed cyklens bevægelse. Selv om alle cyklens involverede dele bevæges samtidig, mener jeg, at man kan tale om en kausal rækkefølge, dvs. ikke en tidslig rækkefølge, men dog en rækkefølge, der følger cyklens kausale struktur eller cyklens indre mekanismer. Dette aspekt af elevbesvarelsenerne minder meget om den type forklaringer van Fraassen beskriver. Van Fraassen lægger vægt på, at forklaringer handler om at henvise til dele af den kausale historie, der går forud for den betragtede hændelse. Fordi elevforklaringerne lægger sig tæt op ad dette, vil jeg kalde dem kausale.

Det forholder sig ikke således at de studerende overvejende er blevet undervist i kausale forklaringer i forbindelse med fysikundervisningen og derfor har lettest ved denne type besvarelse. Tværtimod er det netop den mere abstrakte form for forklaring, der særligt fremhæves i mange lærebøger. Jeg vil dermed formode, at når de studerende alligevel anvender den kausale forklaringstype, er det fordi den trods undervisningen, falder dem lettest. Dermed vil jeg også konkludere, at den kausale forklaring i mange tilfælde umiddelbart er den mest tilgængelige forklaringsmetode.

Den nomologiske besvarelse adskiller sig fra de studerendes besvarelser netop ved ikke at bygge kraftigt på fænomenets kausale struktur. I den nomologiske besvarelse abstraheres der fra den kausale historie idet ligning 4.1 opstilles. En anden forskel mellem den trænede fysikers besvarelse og de studerendes besvarelser er, at teorien bruges anderledes. Lovmæssighederne benyttes forskelligt. Jeg mener, der er forskel på den måde, hvorpå ligning 4.1 anvendes, og den måde, hvorpå ligning 4.3 anvendes. Dette vil jeg vende tilbage til i afsnit 4.1.2.

Når opgaver af en type i stil med cykelopgaven stilles, må det være fordi det ønskes, at eleverne skal lære at besvare dem på den mest fordelagtige måde, dvs. som den nomologiske besvarelse. Hvad det er, der er svært ved denne type besvarelse, og hvad det er ønskeligt, at de studerende skal lære, må være at finde i disse forskelle mellem den trænede fysikers besvarelse og de studerendes besvarelser. I de følgende afsnit vil jeg diskutere, dels hvorfor nomologiske forklaringer er svære, dels hvad man kan få ud af at lære om disse forklaringer, og hvorfor det er vigtigt at lære at benytte dem. Jeg vil behandle disse spørgsmål i sammenhæng, fordi jeg mener, der er sammenfald mellem grundene til, at disse forklaringer er svære, og grundene til, at de er interessante at lære at bruge.

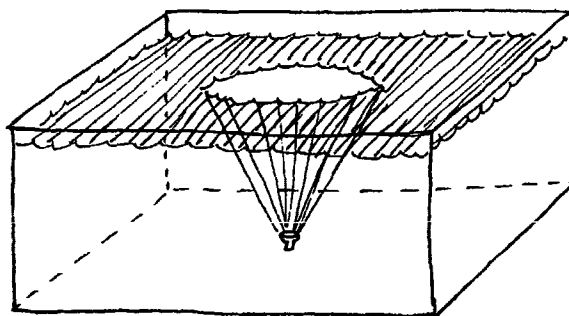
4.1.1 Svømmebassin

At det umiddelbart er lettere at lade analysen følge fænomenets kausale struktur, end at abstrahere fra denne, bliver tydeligt, hvis man igen betragter svømmebassin-opgaven, der blev gennemgået i afsnit 3.2.2. I denne opgave forestiller man sig, at man sidder på bunden af et svømmebassin, man skal så beregne størrelsen af en cirkelformet lysende plet på vandets overflade. I opgaven er lyskilden ikke nærmere specificeret, kun opgives lysstrålernes slutpunkt.

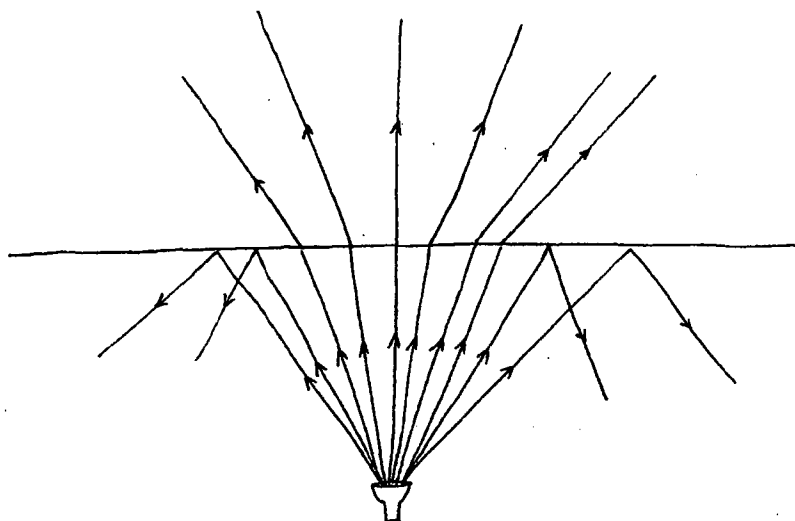
Det er omstændeligt at løse opgaven ved at betragte fænomenets kausale struktur. Afprøver man forskellige lysstrålers bane, vil man opdage, at lysstråler med en bestemt indfaldsvinkel skal ramme vandoverfladen i en bestemt radius fra punktet på vandoverfladen lodret over beskueren for også at ramme beskuerens øje. Strålerne med en 90 graders indfaldsvinkel, der rammer overfladen i en radius således at strålerne også vil ramme beskuerens øje, udgør grænsen for lys, der kan trænge gennem vandoverfladen, og vil således angive radius af det lysende område. Følger man strålernes vej fra deres udgangspunkt til deres slutpunkt i beskuerens øje, hvilket ville være i overensstemmelse med en kausal forklaring, kommer man således let til at starte ud med betragtninger angående alle strålerne, og udvælgelsen af de interessante stråler bliver omstændelig. Men skal man springe denne omstændelige procedure over, er det nødvendigt at se bort fra strålernes retning, dvs. fænomenets kausale struktur, og følge deres vej baglæns fra beskuerens øje. Eller endnu bedre; blot opstille de relevante præmisser (at strålerne bøjes i vandoverfladen, og at strålerne skal gennem øjet) og derudfra løse opgaven.

Man kunne stille samme opgave i en anden formulering: *På overfladen af et svømmebassin ses et cirkulært lyst område af vandoverfladen. Lyset stammer fra en lommelygte placeret på bassinets bund. Se figur 4.3. Hvor stor er radius af det lyse område? Begrund svaret.*

I denne opgave er det langt lettere at se, hvorledes lysstråler, der rammer overfladen inden for en bestemt radius, vil passere overfladen, mens lysstråler med en stor indfaldsvinkel på vandoverfladen, dvs. de rammer overfladen i en større radius, vil blive



Figur 4.3 Figuren er en skitse til svømmebassinopgaven. Lyset fra lygten oplyser et cirkulært område på bassinets overflade.



Figur 4.4 Figuren er en skitse til svømmebassinopgaven. Figuren viser hvordan nogle stråler fra lommelygten passerer gennem vandoverfladen, mens andre totalreflekteres.

totalreflekteret og ikke passere vandoverfladen. Se figur 4.4. Her er det let at se, at kun lys, der rammer vandoverfladen inden for en given radius vil kunne ses af en beskuer, der er placeret over vandet. Se figur 4.3.

Hvad enten det er den ene eller den anden formulering af opgaven, der stilles, er besvarelsen den samme, dog er der stor forskel på opgavernes sværhedsgrad.

Hvad er det, der gør den første opgave sværere end den anden? I den anden opgaveformulering er det let at sortere lysstrålerne, således at kun vinklen af de stråler, der trænger gennem vandet, vurderes. Dette er svært i den første opgave. Betingelsen om, at de lysstråler, der forårsager cirklen, skal gå gennem samme punkt på bunden af bassinet, er indlejret i formuleringen af den anden opgave, mens dette kun inddirekte er tilfældet i den første opgave. I den første opgave må den, der besvarer opgaven, selv indse, at det er en betingelse, at lysstrålerne skal ramme beskuerens øje. At lysstrålerne skal gå gennem punktet, hvor lommelygten ligger, er oplagt, for det er der de alle kommer fra. I denne opgave kan man følge en hvilken som helst lysstråle, og de vil alle gå gennem lommelygten, der er ikke andre muligheder.

Svømmebassinopgaven illustrerer, at abstraktionen er en svær proces. Dvs. abstraktion i denne forbindelse betyder abstraktion fra den kausale struktur. Men som det også fremgår af cykelopgaven, er dette ikke alt, hvad der er svært. Jeg mener, cykelopgaven også er svær, fordi de studerendes teoretiske beredskab ikke er tilstrækkeligt. Der er en sammenhæng mellem abstraktionen fra den kausale forklaring og måden, hvorpå teorien anvendes. Dette vil jeg se nærmere på i næste afsnit.

4.1.2 Galilei og det frie fald

Jeg vil gerne illustrere, hvordan abstrakte, nomologiske forklaringer har betydning i fysikvidenskaben, fordi jeg mener, at dette særegne træk ved fysikvidenskaben kan udgøre et vigtigt bidrag til den almene dannelse. De nomologiske forklaringer spiller dels en rolle for dannelsen gennem en øget kulturel og historisk forståelse. Dels bidrager nomologiske forklaringer til dannelsen med nye tankestrukturer. Dette vil fremgå af dette og det følgende afsnit. For at illustrere, hvordan de nomologiske forklaringer udgør en væsentlig del af fysikvidenskaben, vil jeg her inddrage et historisk eksempel.

Olaf Pedersen har skrevet en artikel, om hvordan Galilei fandt frem til en beskrivelse af det frie fald: *Om udviklingen af Galileis mekanik*. [Pedersen, 1966] Jeg vil her først give et resume af enkelte dele af artiklen.

Galilei ville undersøge hypotesen $v(t) = gt$ gennem kvantitative eksperimenter. [Pedersen, 1966, s. 82] v betegner faldhastigheden, t betegner faldtiden og g er en konstant.

Denne hypotese indeholdt for Galilei to problemer: $v(t)$ er ikke en observabel størrelse, t er observabel, men for kort til at kunne måles med datidens tidsmålere. Galilei løste problemet mht. den ikke observable størrelse $v(t)$ ved at erstatte hypotesen om faldhastigheden med en ækvivalent hypotese om faldvejen (s):

$$s(t) = \frac{1}{2}gt^2$$

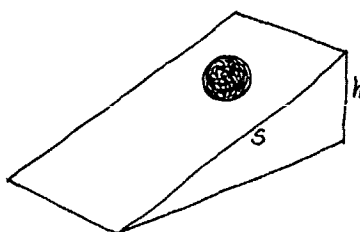
Der var stadig tale om en hypotetisk formel, men denne nye formel indeholdt kun observable størrelser. Det var dog stadig ikke praktisk muligt at måle faldtiden. Galilei overkom dette eksperimentelle problem ved at lade en kugle rulle ned ad et skråplan i stedet for at lade den falde frit. Se figur 4.5.

Eksperimentet viste, at formelen $s(t) = \frac{1}{2}g_\alpha t^2$ faktisk beskriver kuglens bevægelse på skråplanet, idet konstanten g_α afhænger af skråplanets hældning. For denne bevægelse må der da også gælde

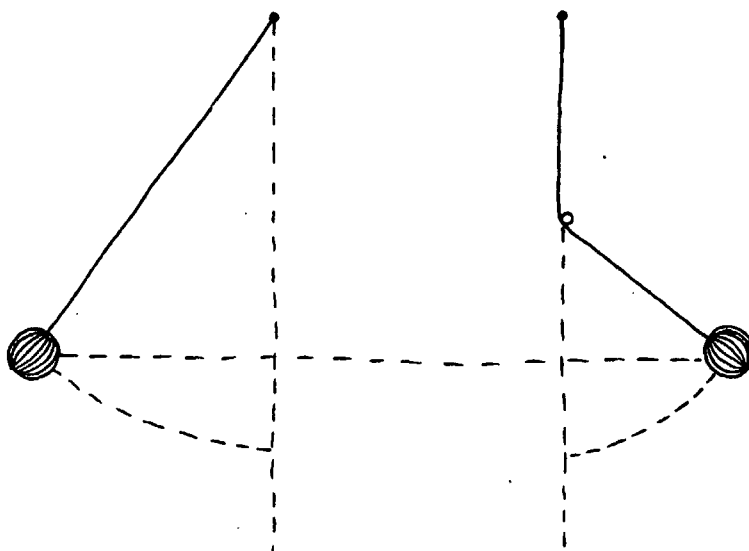
$$v = g_\alpha t$$

[Pedersen, 1966, s. 84]

Galilei kunne altså vise, at en kugles bevægelse på et skråt plan er en jævnt accelereret bevægelse. Men dette siger i sig selv ikke noget om det frie fald.



Figur 4.5 Galilei lader kugler rulle ned ad et skråplan i stedet for at lade den falde frit.



Figur 4.6 Galilei opdager at penduludsvingets højde alene er afhængig af den højde, hvori pendulet startes. Han opdager dette i et forsøg, hvor pendulet gentagne gange startes i samme højde og med samme snorlængde, men hvor snorens længde afkortes vha. af en blokerende pind som vist på figuren. Figuren er tegnet frit efter [Pedersen, 1966, s. 84]

Galilei gjorde dog den heldige opdagelse vedrørende et pendul, at penduludsvingets højde ikke er afhængig af pendulsnorens længde, men udelukkende af den højde, hvori pendulets bevægelse startes, [Pedersen, 1966, s. 84] Se figur 4.6. Galilei sluttede heraf:

[...] ved et »fald« langs en eller anden kurve erhverver et legeme en hastighed der alene er bestemt ved den lodrette faldhøjde h . [...]

Dette resultat sætter Galilei i stand til at sammenknytte bevægelsen på skråplanet med det frie fald, idet et frit fald gennem skråplanets lodrette højde h vil resultere i samme sluthastighed som faldet langs den skrå side s , [...] [Pedersen, 1966, s. 85]

Hastigheden for det frie fald må afhænge af tiden på samme måde som hastigheden for bevægelsen på skråplanet. For det frie fald må altså gælde:

$$v = g_0 t$$

Dermed var den oprindelige hypotese bevist. Og størrelsen af g_0 kunne bestemmes.

Galilei argumenterer i flere trin. Først erstatter han den oprindelige hypotese om faldhastigheden med en ækvivalent hypotese om faldvejen, dernæst opstiller han eksperimentet, der består af en bevægelse på et skråplan og ikke et frit fald, til slut inddrages pendulobservationerne i argumentationen. Gennem denne argumentationsrække forbindes det frie fald med hypotesen om faldhastigheden.

Især Galileis observationer mht. pendulet, og det at han er i stand til at overføre disse observationer til det frie fald gennem observationernes generalitet, er bemærkelsesværdigt. Det er den forståelse, at pendulobservationerne må være generelle, der gør Galilei i stand til at løse problemet angående beskrivelsen af det frie fald.¹

Galilei er god til at se, hvilke lovmæssigheder, han kan benytte sig af. Det er ikke fænomenernes kausale struktur, der gør Galilei i stand til at se, at den samme lovmæssighed kan bruges i begge tilfælde. Den kausale struktur i pendulet er, at snoren holder pendulet i en bestemt bane, snorens længde har således betydning for banen. Dette er dog ikke tilfældet med hastigheden. Den kausale struktur for kuglen på skråplanet er, at kuglens bevægelse er bestemt af tyngdekraften og det skrå plan, og at kuglen triller og ikke glider. Den kausale struktur i de to fænomener er således vidt forskellige og giver dermed ikke anledning til sammenligninger. Derimod er det lovmæssighedernes generalitet, der giver anledning til sammenligning.

Den nomologiske forklaring spiller altså en stor rolle for Galileis videnskab. Det gør den især pga. lovmæssighedernes generalitet. Generelle lovmæssigheder har den store fordel, at de kan overføres til fænomener, der umiddelbart ser forskellige ud. Det giver i sig selv forklaringskraft at kunne anvende en forklaring, der er kendt fra andre sammenhænge og således allerede forstået. Det bliver dermed tydeligt, at der blot er tale om det samme, som allerede er accepteret. Det bringer ligeledes overskuelighed til det nye fænomen at kunne se det i lyset af kendte fænomener og lovmæssigheder.

Her er en væsentlig forskel mellem cykelopgavens nomologiske og kausale besvarelse. Den nomologiske besvarelse benytter i lighed med Galilei energibevarelsesloven meget generelt og overordnet i forhold til systemet. Til forskel herfra benytter den kausale besvarelse ligninger, der beskriver systemets enkeltdele og har ikke samme overordnede blik.

Det ser altså ud til, at den meget generelle og abstrakte brug af lovmæssigheder karakteriserer den nomologiske og abstrakte forklaring. Dette er interessant, fordi det fortæller noget om, at det åbenbart er svært at se, hvordan lovmæssigheder kan anvendes med fordel. Lovmæssigheder kan betragtes som meget abstrakte størrelser. At der abstraheres fra fænomenets kausale struktur ses af ligningernes matematiske form. En ligning har ikke indlejret en særlig læseretning, med dette mener jeg, at der i en ligning som f.eks. Newtons anden lov (kraften = accelerationen · massen) ikke tages stilling til, hvorvidt kraften er årsag til accelerationen eller omvendt. Lovmæssigheder er desuden abstrakte på den måde, at de ofte kan anvendes i forbindelse med fænomener, der i den kausale struktur er meget forskellige. Lovmæssigheder er bredt anvendelige, netop fordi de er abstrakte, men samtidig er dette med til at tilsløre deres anvendelsesområde. Deres fordel er altså samtidig det, der gør dem svære at anvende.

Når jeg i denne forbindelse taler om lovmæssigheder, mener jeg generelt de lovmæssigheder, der ligger i toppen af teoriernes lovmæssighedshieraki, dvs. de mest fundamentale lovmæssigheder. Jeg vil ikke skelne meget strengt mellem fundamentale lovmæssigheder og andre lovmæssigheder, da der i min forståelse er en blød overgang mellem lovmæssigheder, der kan siges af være helt fundamentale og generelle, og lovmæssigheder, der kun gælder på enkelte fænomener. Det er dog klart, at der er forskel på lovmæssigheder. Dels forskel på antallet af fænomener, der falder under den enkelte lovmæssighed.

¹ Jeg vil dog bemærke, at det gennem Pedersens fremstilling ikke er ganske tydeligt, hvorledes Galilei kan argumentere for at sammenknytte den lodrette bevægelse med den skrå bevægelse, når der er tale om to forskellige typer bevægelse nemlig en rullende bevægelse og et frit fald.

Jeg har i afsnit 3.1.2 været inde på, hvordan Hempel mener, at lovmæssigheder skal dække mange forskellige fænomener og evt. afdække nye regulariteter i forbindelse med det enkelte fænomen for at øge forståelsen af fænomenet. Dels er der også forskel på, hvordan lovmæssigheden relaterer sig til fænomenet. Jeg mener, at f.eks. energibevarelsesloven relaterer sig ganske anderledes til fænomenerne end bevægelsesligningerne, der indgår i de studerendes besvarelser af cykelopgaven. Bevægelsesligningerne forholder sig mere umiddelbart til deres anvendelsesområde. Krafterne og kraftmomenterne i cykelopgaven relaterer sig til bevægelserne i systemets enkelte dele. Så vidt jeg kan se, er dette med til at gøre bevægelsesligninger lettere at anvende. Det er forholdsvis let at se, at hvis man f.eks. har at gøre med noget der roterer, så må det kunne beskrives som andre roterende bevægelser.

Galileieksemplet viser, hvordan nomologiske forklaringer spiller en stor rolle i videnskaben. Det særlige ved lovmæssighederne er den måde, hvorpå de kan anvendes til forklaring af mange forskellige typer fænomener. De kan gennem logiske argumenter udledes af ét fænomen og benyttes til forklaringen af et andet. Denne særlige abstrakte brug af lovmæssighederne vil jeg videre diskutere i næste afsnit, hvor jeg vil diskutere, hvordan nomologiske forklaringer kan bidrage til dannelsen af det enkelte menneske.

4.1.3 Nye tankestrukturer

Som et vigtigt element i videnskaben spiller nomologiske forklaringer en afgørende rolle for hele vores kultur. Jeg mener, at tilsvarende forklaringer og tankestrukturer benyttes ikke kun i forbindelse med videnskab, men også i forbindelse med megen teknologi. Kendskab til og evnen til at benytte nomologiske forklaringer kan altså betragtes som en form for kompetence, der er relevant i forbindelse med mange forskellige aspekter af vores kultur. I mange forskellige sammenhænge vil det være relevant at forstå de tankestrukturer, der ligger bag argumenter og forklaringer, der bygger på de abstrakte, nomologiske forklaringer. Både hvis man skal arbejde inden for felter, hvor de abstrakte, nomologiske forklaringer indgår som centrale, eller hvis man skal arbejde med områder med tilknytning til teknologi som f.eks. miljøplanlægning eller planlægning af samfundsstrukturer. Mange af samfundets debatter bygger også på en argumentation, der har tilknytning til fysikken og naturvidenskaben generelt og således også inddrager nomologiske forklaringer og argumenter, f.eks. diskussioner angående forskellige former for energiproduktion eller forståelse for mulighederne inden for forskellige teknologier på f.eks. hospitaler. Hvis man skal have en chance for at deltage i sådanne debatter, er en vis kompetence inden for nomologiske forklaringer relevant.

Abstrakte, nomologiske forklaringer er ikke kun relevante pga. forståelse af kultur og deltagelse i samfundets debatter. Nomologiske forklaringer er desuden relevante for den personlige udvikling af mennesket. Netop denne type forklaringer indeholder nogle særlige tankestrukturer, som jeg ikke mener, er at finde tilsvarende i andre fag. At disse er relevante og interessante at erhverve sig, hænger naturligvis sammen med muligheden for at kunne tage stilling og løse problemer i sammenhænge så som de overstående. Fysikken har altså noget helt særligt at byde på i denne forbindelse. Jeg vil gerne komme et skridt nærmere til at kunne sige noget om, hvad det er for kompetencer, man skal tilegne sig for at kunne løse problemstillinger vha. nomologiske forklaringer.

Forfatterne Jill Larkin, John McDermott, Dorothea P. Simon og Herbert A. Simon giver i artiklen *Expert and Novice Performance in Solving Physics Problems* nogle bud

på forskellene mellem eksperter og begyndere i forbindelse med at løse fysikopgaver. Det handler ikke særligt om nomologiske forklaringer, men blot om fysikopgaver og fysiske problemer generelt. De fremhæver dog nogle forskelle, som jeg mener netop kan være med til at tydeliggøre forskellen mellem den trænede fysiker og de studerendes strategi i forbindelse med cykelopgaven.

Larkin et al. fremhæver især, at trænede fysikere har flere indarbejdede mønstre at bruge, når de løser problemer, at de kan genkende flere mønstre end begynderne. Mønstre betyder, at de trænede fysikere ikke behøver forstå problemet en bid ad gangen, men at de er bekendte med lidt større elementer og genkender disse som samlede klumper. [Larkin et al., 1980, s. 1336]

Den trænede fysiker er bekendt med lignende opgaver, hvor det handler om at bruge energibevarelse i besvarelsen. Den trænede fysiker kan også se, at det kan bruges i denne opgave, fordi han tidligere er stødt på et problem, der ligner i tilstrækkelig høj grad. I hvor høj grad et problem skal ligne et andet, for at man kan komme lettere til den nomologiske besvarelse er svært at sige, men jeg kan vurdere, at der må være tale om en forholdsvis stor grad af lighed. De studerende, der har svært ved cykelopgaven, har tidligere løst problemer vha. energibevarelse. Trods det kan de alligevel ikke se, at det er dette, der er på spil i dette tilfælde. Ifølge Larkin et al. kunne dette meget muligt hænge sammen med, at energibevarelsessætningen ikke tidligere er blevet brugt på en måde, der ligner den nomologiske besvarelse af cykelopgaven tilstrækkeligt meget. Dvs. at energibevarelsessætningen måske ikke er blevet brugt i forbindelse med arbejdet i systemet. Hvis dette er tilfældet, skal der være tale om en forholdsvis høj grad af lighed mellem forklaringer for, at en forklaring kan bane vejen for en anden forklaring i nye sammenhænge. For at blive bedre har de studerende altså behov for at øve sig på en masse forskellige opgaver. Dette er i overensstemmelse med konstruktivismens ideer om, at begreber skal trænes i mange forskellige sammenhænge for at blive en del af tankestrukturene.

Forfatterne fremlægger også en konklusion, der ligner en af mine; nemlig at begynderne arbejder sig gennem opgaven skridt for skridt. Forfatterne siger ikke noget om, at begynderne følger fænomenets kausale struktur, men de taler om forskellen mellem en direkte syntaktisk oversættelse og det at generere en fysisk repræsentation. Forfatterne fremhæver, at begynderne i deres forklaring gennemgår hvert skridt, mens eksperterne bearbejder større klumper ad gangen. [Larkin et al., 1980, s. 1339] Jeg har fremhævet, at det ser ud til at være lettere at følge den kausale struktur, end at løse problemet vha. den abstrakte lovmæssighed. Dette underbygges af forfatterens konklusion i og med, at den kausale løsningsmetode, jeg taler om, også er en skridt for skridt metode. Ifølge forfatterne vil det dog være en fordel at kunne benytte en abstrakt og mere generel form for problemløsning; det er nemlig meget hurtigere. [Larkin et al., 1980, s. 1338]

Det ser altså ud til, at det, der gør den kausale forklaring lettere, er, at det er en skridt for skridt metode. Der er således heller ikke tvivl om, at fysikken gennem nomologiske forklaringer tilbyder noget nyt i forhold til den umiddelbare forklaringsmetode. At kunne benytte nomologiske forklaringer betyder at kunne anskue et fænomen eller en problemstilling på en mere sammenfattende måde.

Jeg mener, Cartwrights forklaringsmodel kan bruges som inspiration til endnu en overvejelse angående, hvorfor de studerende har svært ved at løse cykelopgaven vha. den nomologiske forklaring, og hvilke kompetencer man har erhvervet, når man kan benytte nomologiske forklaringer. Cartwright lægger vægt på, at der er tale om at få teorien og

fænomenet til at møde hinanden. Teorien er retningsgivende for, hvordan fænomenet kan indpasses under teorien. Tænker man på en konkret situation, hvori der bliver bedt om en forklaring på et givent fænomen, så er det altså vigtigt i denne situation at have god styr på teorien. Det er afgørende at kunne se, hvilken teori det er relevant at benytte, og dette kræver, at man dels er bekendt med den relevante teori og kan udpege en særlig lovmæssighed frem for andre. Dels er det vigtigt med et grundigt kendskab til lovmæssighederne for, at de kan betragtes som teori, der kan bringes i anvendelse i en konkret situation. Disse to punkter hænger naturligvis sammen; det meget grundige kendskab til teorien er en forudsætning for at kunne trække den relevante lovmæssighed frem.

Man kan altså spørge, om problemet er, at de studerende, der løste cykelopgaven, ikke er tilstrækkeligt bekendte med teorien de har behov for, således at den ikke kan bruges som retningslinie for deres opgavebesvarelse? Umiddelbart vil jeg helst svare »nej, det kan ikke være problemet«, for der er tale om universitetsstuderende og den generelle lovmæssighed, der skulle anvendes til den nomologiske forklaring, var ikke andet end energibevarelsessætningen. Men måske er det alligevel her, der er problemer, for energibevarelsessætningen bliver ofte brugt i forbindelse med kinetisk og potentiel energi. I dette tilfælde skal sætningen formuleres i termer af arbejde, hvilket ikke bliver brugt ofte.

Men er der så virkelig tale om, at teorien ikke er i beredskab, eller er det hele situationen, der er svær at analysere for at se at energien bevares? Jeg har tidligere været inde på, at i cykelopgaven betragtes systemet ganske anderledes af den trænede fysiker og af de studerende. Så måden hvorpå fænomenet analyseres har naturligvis betydning for, hvordan lovmæssighederne og teorien anvendes. Men her vil jeg fremhæve kendskabet til teori som en forudsætning for at kunne analysere fænomenet mest fordelagtigt. Jeg mener, der i nogen grad er tale om, at teorien ikke er tilstrækkeligt indarbejdet til at være i beredskab. Hvis ikke energibevarelsessætningen ligger parat som beredskab i forbindelse med cykelopgaven, kan det meget vel være fordi, sætningen ikke er indlært i forbindelse med lignende opgaver, og altså dermed ikke er i beredskab på samme måde som hos den trænede opgaveløser. På denne måde kan man tale om, at teorien ikke bliver styrende i opgaveløsningen hos de studerende. I forbindelse med at anvende nomologiske forklaringer må et grundigt kendskab til teorien altså optrænes.

Jeg mener, at den abstrakte tankegang, der optrænes i forbindelse med forklaringer, der benytter generelle lovmæssigheder, i høj grad er med til at udvikle eleven. At kunne overskue problemer på en enkel måde, er en kompetance, der i mange forskellige sammenhænge giver et godt overblik og øger evnen til at reagere fordelagtigt i forhold til problemer. Desuden mener jeg ikke, at tilsvarende tankestrukturer optrænes inden for andre fag. De nærmest sammenlignelige fag er kemi og matematik. Men i kemien har lovmæssighederne for det meste en anden status. De er ikke på samme måde generelle og kan ikke på samme måde dække over mange forskellige fænomener. Matematikken er ganske vist meget generel og abstrakt, men indeholder på den anden side ikke lovmæssigheder angående fænomener i omverdenen og naturen. Fysikkens forhold til naturen vil jeg komme nærmere ind på i de følgende afsnit.

Ved at belyse, hvorfor de abstrakte, nomologiske forklaringer er svære, håber jeg, at jeg har kunnet gøre det lidt tydeligere, hvilke tænkemåder man lærer ad denne vej; nemlig abstraktionen ved at anvende generelle lovmæssigheder, evnen til på en enkel måde at overskue komplekse fænomener, anvende forklaringer, der sammenfatter meget

forskellige fænomener.

4.2 Natur og teori

Fysikken handler grundlæggende om naturen. Jeg mener, det er meget væsentligt at være opmærksom på dette umiddelbart indlysende udsagn, fordi naturen og omverdenen i forbindelse med megen fysikundervisning stort set ikke optræder. Dette finder jeg paradoksalt, problematisk og interessant for en nærmere diskussion.

Jeg bruger her ordet 'natur' om de genstande og fænomener, der eksisterer uafhængigt af menneskets tankeverden. Både om tekniske fænomener og genstande, om den grønne uberørte natur og om den grønne kultiverede natur.

Der er for mig at se to overordnede grunde til, at det i sig selv er vigtigt at lære noget om naturen. Den ene grund er, at naturen udgør den verden, der er vores livsgrundlag. Den anden grund er, at det er vigtigt at forstå den form for viden, vi kan have om naturen. Det er også i dannelsesperspektivet vigtigt, at opnå redskaber man kan bruge, når man skal forholde sig til den verden, man lever i.

Grunden til, at jeg mener, det er væsentligt at opnå kendskab til den viden om naturen, som er at finde i fysikken, er, at denne type viden dels adskiller sig markant fra den type viden, der f.eks. er at finde i biologien, særligt pga. de abstrakte og nomologiske forklaringer jeg har behandlet i de foregående afsnit. Viden i fysikken står også i kontrast til den type viden, der er at finde i f.eks. de humanistiske fag. Her er viden i højere grad noget, der konstueres af det sociale fællesskab. I fysikken opstår viden i samspil med noget uden for mennesket. For at forstå, hvordan fysikken indeholder viden om naturen og hvilken type viden, der er tale om, må man se nærmere på forholdet mellem det, der skal forklares (fænomenet), og det, der forklarer (teorier og lovmæssigheder). Dette vil jeg gøre i den følgende diskussion.

Angående forholdet mellem teori og fænomen vil jeg især trække på Cartwrights forklaringsmodel. Hun beskæftiger sig i modsætning til Hempel specielt med forbindelsen mellem teorien og naturen, og hvordan man via en fysisk model etablerer denne forbindelse. Jeg mener, at de fysiske modeller overses i faget og i undervisningen, og at dette er grunden til, at det kan være svært at se på hvilken måde, fysikfaget handler om naturen.

I afsnit 3.3.3 brugte jeg ganghastighedsopgaven som eksempel på, at en fysisk model bliver brugt for at forbinde benet på en person med den matematiske beskrivelse. Denne model består af et pendul. Jeg vil påstå, at det for de fleste mennesker ikke er særligt interessant i sig selv at kunne beskrive et pendul, til gengæld mener jeg, at de fleste mennesker vil kunne have glæde at kunne bruge pendulet som model på mange forskellige fænomener. Ved at kunne beskrive et pendul åbnes der mulighed for at kunne forklare en lang række fænomener, eller sagt med andre ord; et bredere udsnit af naturen. Cartwrights forklaringsmodel handler netop om dette at kunne anvende teorien på et bredere udsnit af naturen.

Opgaven omkring ganghastighed er lige som opgaven i indledningen omkring kanoen et eksempel på, hvad jeg har valgt at kalde, en modelrelateret forklaring. I indledningen skelnede jeg mellem teori-afledte og modelrelaterede forklaringer. Hvor de teori-afledte forklaringer har en meget tættere forbindelse til teorien end de modelrelaterede forklaringer. I de følgende afsnit vil jeg diskutere denne distinktion yderligere. Dels vil

jeg argumentere for, at modelrelaterede forklaringer anvendes i fysikvidenskaben, dette vil jeg gøre for at vise, at også modelrelaterede forklaringer er et særkende for fysikfaget og kan bidrage med forståelse af forholdet mellem teori og natur. Dette vil jeg gøre ved at inddrage endnu et historisk eksempel. Dels vil jeg diskutere de modelrelaterede forklaringer, hvordan der skabes en forbindelse mellem fænomenets kausale struktur og en teoriafledt forklaring.

Som endnu et eksempel på anvendelsen af fysiske modeller i forbindelsen mellem natur og teori vil jeg henvise til følgende eksempel omhandlende Faraday. Igen har jeg valgt et historisk eksempel fra videnskaben, for at vise, at de elementer i forklaringerne, som jeg nu vil behandle, faktisk spiller en afgørende rolle i fysikken som videnskab.

4.2.1 Faraday og Aragos hjul

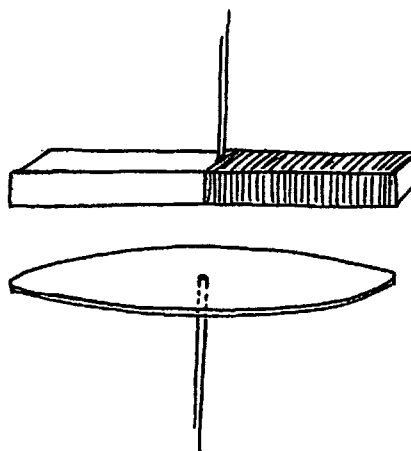
Ole Knudsen beskriver i bogen *Elektromagnetismens historie 1820-1831 og Faradays opdagelse af induktionen* [Knudsen, 1980], hvorledes Faraday opdagede induktionen. I forbindelse med opdagelsen af induktionen bliver det muligt for Faraday at forklare fænomenet kaldet *Aragos hjul*, som det indtil da ikke havde været muligt at forklare. Faraday fremlægger selv en forklaring på Aragos hjul i en artikel først udgivet i *Philosophical Transactions of The Royal Society* senere i et værk, *Experimental Researches in Electricity*, hvor alle Faradays artikler om elektricitet og magnetisme blev samlet. [Knudsen, 1980, s. 57]

Aragos hjul består af en magnet og en kobberskive, placeret så de kan dreje i parallelle planer. Se figur 4.7. Hvis kobberskiven drejes vil magneten følge med i en tilsvarende roterende bevægelse. Hvis magneten drejes vil kobberskiven følge med. [Knudsen, 1980, s. 40-41]

Faraday forklare Aragos hjul ved at henvise til det fænomen, at der induceres en strøm, når ladninger bevæges i forhold til et magnetfelt, samt det, at en magnetnål og en strømførende leder bevæges i forhold til hinanden, når de holdes tæt sammen. [Knudsen, 1980, s. 116-117]

The experiments described combine to prove that when a piece of metal (and the same may be true of all conducting matter [...]) is passed either before a single pole, or between the opposite poles of a magnet, or near electro-magnetic poles, whether ferruginous or not, electrical currents are produced across the metal transverse to the direction of motion; and which therefore, in Arago's experiments, will approximate towards the direction of radii. If a single wire be moved like the spoke of a wheel near a magnetic pole, a current of electricity is determined through it from one end towards the other. If a wheel be imagined, constructed of a great number of these radii, and this revolved near the pole, in the manner of the copper disc [...], each radius will have a current produced in it as it passes by the pole. If the radii be supposed to be in contact laterally, a copper disc results, in which the directions of the currents will be generally the same, being modified only by the coaction which can take place between the particles, now that they are in metallic contact. [Experimental Researches in Electricity by Faraday gengivet i [Knudsen, 1980, s. 116-117]]

Faraday argumenterer for, at skiven, der drejes i forhold til magneten, svarer til at en ladning bevæges i forhold til et magnetfelt. Ligeledes argumenterer han for, at skiven



Figur 4.7 Figuren viser en skitse af Aragos hjul.

svarer til en strømførende leder og derfor vil bevæges i forhold til en magnetnål. Det Faraday gør i sin forklaring er altså at argumentere for en forbindelse mellem det fænomen han ønsker at forklare og simple, overskuelige fænomener, som er mere velkendte.

For at forstå fænomenet tænker han altså på elektriske ladninger, strømførende ledninger og magnetfelter i stedet for på roterende kobberskiver og stangmagneter. På denne måde forenkles fænomenet, således at det udelukkende består af noget teoretisk velkendt og veldefineret (f.eks. har en ladning teoretisk set kun den egenskab at være ladet dvs. være omgivet af et elektrisk felt, mens en virkelig ladning som en elektron samtidig har f.eks. en masse). Faraday har dermed lavet en model af Aragos hjul, som jeg mener svarer udemærket til den type modeller Cartwright omtaler, og som jeg har kaldt fysiske modeller. Aragos hjul modelleres ganske vist ikke vha. sammenligning til et enkelt andet fænomen sådan, som det er tilfældet, når benet modelleres vha. pendulet. Modellen af Aragos hjul består i stedet af en sammensætning af flere forskellige elementer. Kendskab og fortrolighed med de enkelte dele medfører en forståelse for helheden. Jeg har valgt at kalde en forklaring som denne for en modelrelateret forklaring. Den modelrelaterede forklaring har det tilfældes med kausale forklaringer, at der også her er tale om en skridt for skridt forklaring.

Aragos hjul kobles til lovmæssigheder gennem en opsplittning i mindre dele. Opdelingen af fænomenet i de enkelte elementer sker for at kunne sammenligne disse med andre fænomener. Opdelingen sker samtidig på baggrund af og i overensstemmelse med fænomenets kausale struktur. Faradays forklaring og modellering bygger altså på fænomenets kausale struktur og en forståelse af fænomenets enkeltdele. Den modelrelaterede forklaring skaber således en sammenhæng mellem en kausal forståelse af fænomenet og teorien. Herigennem er det, at også forståelsen af den kausale struktur spiller en væsentlig rolle i videnskaben. Modelrelaterede forklaringer indeholder elementer af både kausale og nomologiske forklaringer. Som det ses i dette eksempel omkring Faraday og

Aragos hjul kommer elementet fra de kausale forklaringer ind i billedet gennem arbejdet med og forståelsen af nye hidtil ikke forklarede fænomener. Elementet fra de nomologiske forklaringer kommer ind i billedet via den fysiske models forhold til teorien. Dette vil jeg komme nærmere ind på i næste afsnit.

4.2.2 Den fysiske model

Både pendulet, der anvendes som model i ganghastighedsopgaven, og en bevæget ladning i et magnetfelt, der anvendes som model af Faraday, mener jeg har en særligt status i fysikken. Pendulet og ladningen i magnetfeltet er ikke blot modeller for netop benet og Aragos hjul. Pendulet og ladningen i magnetfeltet har den fordel, at de kan bruges som modeller i mange forskellige tilfælde. Det er min opfattelse, at fysikken indeholder en række sådanne særlige fænomener, der kan drages frem som modeller. Disse særlige fænomener er både velkendte og grundigt beskrevet. Der er ikke tale om et fast afgrænset sæt af særlige fænomener, dog er der tale om en forholdsvis overskuelig mængde fænomener. Disse kan kombineres på mange forskellige måder, som det f.eks. er tilfældet når Faraday forklarer Aragos hjul, hvor ladninger og strømførende ledere kombineres til en sammenhængende model.

Disse særlige fænomener er ofte karakteriseret ved ikke at være naturligt forekommende i almindelige menneskers hverdag. Pendulet optræder i de flestes liv kun som et sært stykke legetøj. Og en ladning i et magnetfelt støder man slet ikke på uden for særlige laboratorier. Disse særlige fænomener er altså fysikerens fænomener eller eksemplarer, man kunne også som Cartwright kalde dem laboratoriefænomener eller nomologiske maskiner. Laboratoriefænomenerne relaterer sig til teorien gennem en teoriafledt forklaring. I indledningen brugte jeg satellitopgaven som eksempel på en teoriafledt forklaring. Senere brugte jeg samme opgave som eksempel i forbindelse med Hempels forklaringsmodel. Den teoriafledte forklaring ligger altså tæt op ad den nomologiske forklaring. Jeg har alligevel valgt to forskellige ord til at betegne den samme forklaring, for med 'nomologisk forklaring' at kunne lægge vægt på forklaringens abstraktionsniveau, og med 'teoriafledt forklaring' at kunne lægge vægt på den deduktive og tætte sammenhæng mellem teori og fænomen.

Når jeg diskuterer forholdet mellem teori og fænomen er det i sig selv ikke særligt interessant at kunne beskrive og forklare laboratoriefænomener. Interessen for disse strækker sig i denne forbindelse kun så langt, som at laboratoriefænomenerne kan optræde som fysiske modeller i forklaringen af naturen. På trods af dette støder man ofte på laboratoriefænomener i fysikken, mens man ikke ofte støder på f.eks. menneskers gangshastighed. Dette mener jeg ikke er mærkeligt i fysikken som videnskab, da meget af videnskaben handler om at etablere disse laboratoriefænomener, netop for at kunne anvende dem som modeller på andre fænomener og dermed frembringe nye forklaringer. Men i fysikken som undervisningsfag og som et led i menneskers dannelse, mener jeg, det er paradoksalt, at laboratoriefænomenerne spiller så stor en rolle i forhold til naturens fænomener. Jeg mener ikke, at fokus skulle være omvendt, således at laboratoriefænomenerne udelades til fordel for naturen. Laboratoriefænomenerne er som eksemplerne viser helt centrale i forklaringen af naturen. Blot mener jeg, at der i langt højere grad bør være fokus på det, der er årsag til den oprindelige interesse for fysik. En større grad af fokus på naturen har desuden den fordel som konstruktivismen som undervisningssyn peger på, nemlig at de fleste elever har brug for at kunne forholde ny

viden til noget allerede kendt.

Jeg kan tænke mig forskellige grunde til, at de fysiske modeller overses både i videnskaben og i undervisningen, f.eks. at disse modeller er så integreret en del af det at bedrive videnskab, at videnskabsfolkene selv ikke lægger mærke til brugen af disse modeller. En anden grund kunne være, at man i videnskaben ofte arbejder med fænomener, der ikke har meget med hverdagen at gøre, men i stedet er særlige laboratoriefænomener. For disse særligt udvalgte fænomener gælder, at de enten er udvalgte, fordi forklaringen kan udledes meget direkte fra teorien, eller de er udvalgte fordi man ønsker at forme teorien således, at den tætte forbindelse til netop dette fænomen opstår. I begge tilfælde er det tale om, at der arbejdes med teoriafledte forklaringer. Der er således ikke behov for en model for at kæde teori og fænomen sammen. De teoriafledte forklaringer er således også kendetegnet ved manglende sammenhæng til en bredere del af naturen. Jeg forestiller mig, at videnskabens manglende fokus på sammenhængen til naturen smitter af på undervisningens indhold. Jeg mener, at dette er uheldigt, da naturen i fysikken vil fremstå som noget helt abstrakt, nemlig udelukkende laboratoriefænomener, hvis ikke der er opmærksomhed på forholdet til naturen. Naturen bliver abstrakt, når den ses i lyset af fysikkens lovmæssigheder. Hvis ikke man ser, hvordan de abstrakte lovmæssigheder forholder sig og knytter sig til den kendte natur, er det ikke muligt at se, at den erkendelse, der ligger i faget, faktisk har noget med naturen at gøre. Man kan muligvis se, at lovmæssighederne har noget med teknik at gøre, men sammenhængen til den mere grønne natur er meget svær at få øje på.

Jeg mener, Cartwright har en væsentlig pointe mht. den fysiske model som forbindelse led i forklaringen. Det er vigtigt at være opmærksom på brugen af fysiske modeller, hvis man vil forstå, hvordan fysikken indeholder viden om naturen. Samtidig bliver det tydeligt, at en stor udfordring i forbindelse med forklaringer består i at kunne hæfte fænomenet sammen med en fordelagtig model og teori. Det er min opfattelse, at cykelopgaven bl.a. er svær, fordi der er tale om at forklare et virkeligt fænomen, og at dette indebærer at lave en passende model, der kan forbinde fænomenet med den mest fordelagtige teori. De studerende laver netop ikke en simplere model af cyklen, de betragter i stedet den kausale struktur uden at kunne abstrahere fra denne. I modsætning hertil betragter den trænede fysiker cykelsystemet som ét samlet system. Modellen, der betragtes af den trænede fysiker, består af en boks med et input i form af trampet i pedalerne, og et output i form af arbejdet mellem vej og hjul. Der er ikke tale om en sort boks, for der anvendes flere detaljer i de videre betragtninger, men dette er den overordnede model.

Der er i den trænede fysikers betragtninger måske ikke tale om en fysisk model på samme måde, som pendulet er en model af benet. Men der er tale om en model på den måde, at hele systemet i skitseform betragtes på en enklere og mere overskuelig måde. Når jeg i de foregående afsnit i forbindelse med cykelopgaven har diskuteret, hvordan den trænede fysiker i modsætning til de studerende er i stand til at abstrahere fra fænomenets kausale struktur, så findes der måske her en antydning af, hvordan denne abstraktion kommer i stand.

Jeg mener, at opgaver, der handler om laboratoriefænomener og dermed teoriafledte forklaringer, hvor fysiske modeller ikke indgår, har fuld berettigelse i fysikundervisningen. Det kan f.eks. være opgaver, der handler om satellitter eller penduler. For at kunne bruge laboratoriefænomenerne som modeller er det nødvendigt med et grundigt kendskab til disse. Som nævnt mener jeg blot, at denne type opgaver ikke har en berettigelse

i sig selv.

Ifølge Cartwright er teorien retningsgivende for, hvordan modellen bygges eller vælges, således at modellen kommer til at passe til teorien. Men pointen er jo også, at det oprindelige fænomen/naturen ad denne vej skal komme til at passe til teorien. Modellen vælges altså ikke blot på baggrund af teorien med også på baggrund af fænomenet man ønsker at forklare. Her kommer den kausale forklaring ind i billedet. Jeg mener ikke, man kan lave en anvendelig fysisk model uden en grundig forståelse af den kausale forklaring. Det er kun muligt, at sammenligne personens ben med et pendul, hvis man ved, at et ben bevæger sig omkring noget, der kan sammenlignes med et punkt i hoften, hvis man ved, at benet bl.a. - men ikke udelukkende - bevæges vha. tyngdekraften. Man skal forstå, at tyngdekraften er den størrelse, der har betydning for den mest afslappende ganghastighed. Dette må vist betragtes som indsigt i den mere detaljerede kausale forklaring af fænomenet.

Jeg mener, det er væsentligt at fremhæve, to forskellige ting, der er at lære i denne forbindelse. Dels forståelsen for, hvordan fysikken siger noget om naturen, karakteren af den viden, der findes i fysikken. Dels kompetancen til at anvende fysikkens forskellige særlige laboratoriefænomener som modeller på virkeligt forekommende og kendte fænomener og derigennem blive i stand til at finde enkle løsninger på tilsyneladende indviklede problemer. Denne kompetance er væsentligt at fokusere på, herigennem optrænes evnen til at kunne anvende fysikken aktivt på nye problemer. Det er denne kompetance til at skabe forbindelse mellem virkelige fænomener og teori, der er attraktiv i dannelsesperspektivet.

4.2.3 Det videnskabsteoretiske standpunkt

Her til slut vil jeg tillade mig at binde en lille sløjfe i forhold til den videnskabsteoretiske diskussion angående objektivisme over for konstruktivisme. Det er nemlig vigtigt for mig at fremhæve, at jeg på ingen måde mener diskussionen er uinteressant.

I afsnit 2.3 konkluderede jeg, at det videnskabssyn, der er i bedst overensstemmelse med fysikkens praksis, vil være en blanding af de mere radikale videnskabsteoretiske eller filosofiske synspunkter. Jeg mener dog ikke, at diskussionen af denne grund er uinteressant, og at der hermed er grund til at afvise diskussionen. Jeg mener i høj grad, der især for læreren er grund til at gøre sig overvejelser angående det videnskabsteoretiske standpunkt. Som Thomsen fremhæver, mener jeg også, at en eksplicit forholden sig til diskussionerne er bedre end sund fornuft. Jeg vil dog give nogle andre begrundelser for dette synspunkt end Thomsen.

Den videnskabsteoretiske diskussion angående objektivisme og konstruktivisme har betydning for forståelsen af forholdet mellem teori og natur. Forstår man objektivismen som indeholdende realisme, vil f.eks. Cartwrights fremstilling af forbindelsen mellem teori og fænomen via en model være uacceptabel for objektivisten. Forstår man konstruktivismen som indeholdende antirealisme, vil forklaringen af satellittens omløbstid ikke have mere med naturen at gøre end enhver tilfældig sludreforklaring indeholdende en helt tilfældigt opdigtet ligning. Jeg mener, at både de modelrelaterede og de teoriafledte forklaringer har deres berettigelse. Som sådan bygger min egen forståelse af forholdet mellem teori og natur ikke alene på de modelrelaterede forklaringer, men også på den opfattelse af nogle fænomener har en mere direkte og realistisk sammenhæng med teorien. Jeg vil udtrykke det således, at teorien knyttes direkte til nogle enkelte fæ-

nomener eller holdepunkter i naturen. Cartwright er inde på lignende holdepunkter, når hun omtaler laboratoriefænomener, og jeg har allerede været inde på, at disse optræder på en særlig måde i fysikken. Jeg vil dog ikke skarpt inddele forklaringer i realistiske forklaringer (teoriafledte forklaringer) og ikke-realistiske forklaringer (modelrelaterede forklaringer). Jeg kan også i modelrelaterede forklaringer se en forbindelse mellem teori og fænomen, der absolut ikke er tilfældig eller ren konstruktion. Jeg kan f.eks. i forbindelse med cykelopgaven ikke umiddelbart vurdere overensstemmelsen mellem besvarelsens resultat og det virkelige forhold mellem kræfterne på pedal og dæk, uden at måle dette virkelige forhold. Alligevel kan man gennem et kendskab til lovmæssigheder (det at have set, at lovmæssighederne passer på laboratoriefænomenerne) og gennem en forståelse af systemets kausale struktur overbevise sig om, at det udregnede forhold nødvendigvis må være rigtigt, om ikke absolut korrekt, så i hvert fald være omtrent rigtigt, og de faktorer, der indgår i besvarelsen, må have afgørende indflydelse på det virkelige resultat. Således kombineres også i de enkelte forklaringer forskellige videnskabsteoretiske synspunkter, og den objektivisme, der er at finde i en forklaring som denne, er også væsentlig at fremhæve.

Dette er min forståelse af forholdet mellem teori og natur, og den er naturligvis ikke endegyldig. Men jeg mener som sagt, at det er vigtigt som lærer at være bevidst om denne videnskabsteoretiske diskussion, fordi den har betydning for forståelsen af forholdet mellem teori og natur, og fordi jeg mener, det er væsentligt at viderebringe til eleverne en eller anden forståelse af dette forhold. Jeg mener ikke nødvendigvis, at der i undervisningen direkte skal indgå videnskabsteoretiske diskussioner, men forståelsen af forholdet mellem natur og teori skal på en eller anden måde formidles (jeg vil ikke gå ind i hvordan), ellers overses let, at fysikken overhovedet handler om andet end laboratoriefænomenerne. Dette har jeg også allerede været inde på tidligere. Under alle omstændigheder er et kendskab til mange forskellige aspekter af fysikken nødvendigt for overhovedet at kunne forstå og diskutere forholdet mellem natur og teori og den form for viden, der er at finde heri. Dette er i sig selv en begrundelse for at lære fysik.

Jeg mener altså, at et eksplicit videnskabssyn er vigtigt for læreren i forhold til at viderebringe forståelse af forholdet mellem teori og natur. Jeg mener også, at det set i dannelsesperspektivet er mest fordelagtigt, hvis forklaringernes forskellige aspekter ikke ses isoleret, men at det bliver tydeligt, hvordan de supplerer hinanden. Netop dette, at forklaringernes forskellige aspekter supplerer hinanden er væsentligt, hvis man skal forstå den form for viden, der er at finde i fysikken.

Et eksplicit videnskabssyn er naturligvis interessant i forbindelse med alle fag. Dog mener jeg også, at fysikken har noget særligt at tilbyde i denne forbindelse. Jeg mener, at diskussionen mellem f.eks. objektivisme og konstruktivisme i særlig grad kan tydeliggøres gennem fysikfaget. Diskussionen kan tydeliggøres her, fordi der både findes eksempler, hvor sammenhængen mellem de generelle lovmæssigheder og naturens fænomener er ganske tæt, som satellitopgaven, og eksempler, hvor en mere omfattende tilpasning er nødvendig, som ganghastighedsopgaven. Især er de eksempler, hvor overensstemmelsen mellem teori og fænomen er tæt, så vidt jeg kan se, en mangelvare i andre fag. Således bliver diskussionen inden for fysikfaget tydeligere og mere righoldig på synspunkter.

5 Konklusion

Problemformuleringens spørgsmål lød: Hvordan kan videnskabsteoriens opfattelser af fysiske forklaringer bidrage til refleksioner angående fysikundervisning? For at svare på dette spørgsmål vil jeg starte med at fastslå, at jeg mener dette projekt har vist, at videnskabsteorien faktisk med fordel *kan* inddrages, når man vil diskutere begrundelser for fysikundervisning. Videnskabsteorien kan belyse faget udefra, hvilket netop er en fordel, når man ønsker at diskutere faget som dannelsesfag. Diskuteres faget udelukkende fra et internt fysikfagligt synspunkt overses let elementer i faget, der er stærkt indarbejdede. Jeg mener dog, det er nødvendigt at gå mere konkret ind i videnskabsteorien for at finde frem til de nyttige syn på fysikfaget. Jeg mener ikke, et overfladisk kendskab udelukkende til videnskabsteoriens radikale synspunkter bringer tilstrækkelig indsigt i det enkelte fag. Jeg mener f.eks. det har været en stor fordel for mig indgående at arbejde med konkrete eksempler.

Der findes givetvis en stor mængde svar på mit spørgsmål; jeg har gennem mit arbejde med tre forskellige videnskabsteoretiske forklaringsmodeller og på baggrund af ideer om, at undervisning skal være dannende, fundet frem til to svar. I begge tilfælde er der tale om, at videnskabsteorien med sine særlige distinktioner kan kaste lys over forskellige typer forklaringer. Disse to svar bidrager til begrundelsesdiskussionen omkring fysikfaget som dannende fag. Dvs. de to distinktioner kan pege på, hvilke elementer i faget, der gør faget attraktivt i et dannende perspektiv.

Den ene distinktion er distinktionen mellem nomologiske og kausale forklaringer. Jeg har vist, at kausale forklaringer umiddelbart er lettere at anvende, når man står over for et nyt problem. De nomologiske forklaringer anvender et højere abstraktionsniveau og er derfor sværere at lære at benytte. Jeg mener, der er tale om at kunne abstrahere netop fra den kausale forklaring, og betragte de givne problemer med et mere enkelt overblik. De nomologiske forklaringer kan til gengæld bidrage til dannelsen af det enkelte menneske med nye tankestrukturer, som er meget gavnlige at kunne benytte i forbindelse med mange problemstillinger både i hverdagen og i samfundet. Jeg mener, der er tale om tankestrukturer, som er særegne for fysikfaget. Dvs. at man ikke kan optræne tilsvarende kompetencer gennem arbejdet med andre fag. Dette mener jeg, er en ganske væsentlig grund til at betragte fysik som et dannende fag og ikke blot som studieforberedende eller jobkvalificerende fag.

Den anden distinktion, der kan udpege en begrundelse for fysikundervisning er distinktionen mellem modelrelaterede og teoriaffedte forklaringer. Disse to typer forklaringer dækker over to forskellige sammenhænge mellem teori og natur. For de teoriaffedte forklaringer gælder, at sammenhængen mellem teori og fænomen er ganske tæt og deduktiv. De antagelser, der gøres i forbindelse med disse forklaringer, er overskuelige og mulige at vurdere effekten af. For de modelrelaterede forklaringer gælder, at teorien forbindes til et bredere udsnit af naturen gennem en fysisk model. Her er det ofte nød-

vendigt at gøre antagelser omkring fænomenet, som ikke umiddelbart kan overskues og vurderes i alle detaljer. Jeg mener, at især de modelrelaterede forklaringer er vigtige at være opmærksomme på i forbindelse med undervisningen, fordi de let overses. At kunne benytte fysiske modeller og modelrelaterede forklaringer, er en forudsætning for at kunne bruge fysikken aktivt, dvs. at kunne benytte fysikken i forbindelse med den type problemer man kan støde på i dagliglivet. En sådan kompetance er altså slet ikke uvæsentlig at opøve. Jeg mener, at både de modelrelaterede og de teoriafledte forklaringer er særegne for fysikfaget. Samtidig mener jeg, at man gennem en forståelse af disse sammenhænge mellem teori og natur opnår en god forståelse af f.eks. hvad det er muligt gennem naturvidenskaben at vide om naturen og hvilken type viden, der er tale om. Dette mener jeg, er ganske væsentligt, dels hvis man vil lære noget om naturen i det hele taget, dels hvis man vil opnå en forståelse af videnskab og viden som sådan, hvilket er fordelagtigt i et vidensbaseret samfund.

Undervisning i fysik og særligt fysiske forklaringer kan altså begrundes ved at fysiske forklaringer bibringer eleverne nye tænkemåder, og fordi de giver en forståelse af forholdet mellem teori og natur. Men for at kunne viderebringe dette til eleverne er det vigtigt, at især læreren er opmærksom på hvilke forklaringstyper, der indeholder hvilke tænkemåder og forståelser.

Summary

In the present thesis I have intended to investigate explanations in physics and the teaching of physics. It has been my intention to point out some important aspects concerning physical explanations that may prove relevant in the discussion of why it is meaningful generally to teach physics. In order to do this I have been studying the philosophy of science, in particular Carl G. Hempel, Bas van Fraassen and Nancy Cartwright and their specific views of scientific explanations.

I have been able to point out two distinctions related to explanations that I believe are of importance to the teaching of physics and to the general discussion of why it is important to teach physics. The first distinction stands between nomological explanations and causal explanations. The other distinction stands between model-related and theory-based explanations. I have chosen these terms to denote the different kinds of explanations on the basis of the terms used by the above three philosophers of science.

The distinction between nomological and causal explanations refers to the fact that some explanations operate on a very high level of abstraction (nomological explanations), whereas others are based on the structure and mechanisms of the phenomenon of interest (causal explanations). The distinction between model-related and theory-based explanations refers to the fact that theory and phenomenon are very closely and deductively related for some explanations (theory-based explanations), while other explanations are in the need for a model of the phenomenon to establish a relation between the theory and the phenomenon (model-related explanations).

It is my conception that the attention to these different kinds of explanations are of great importance to the teaching of physics as well as to the discussion of why the teaching of physics is important. On the basis of the distinction between nomological and causal explanations, it will be easier to put more emphasis on teaching the students how to use a method based on abstraction and general laws when solving problems. When focusing on the distinctions between model-related and theory-based explanations, it will be easier for the teacher to navigate between the radical conceptions of the relation between theory and nature in general. Based on this, it is my belief that the two distinctions also are of interest to the discussion of why it is important to teach physics. Focusing on what it is possible to learn when working with physical explanations helps making clear that it is possible for the students to learn how to use the nomological method when solving problems and not only the causal method. The distinction between model-related and theory-based explanations points our attention to the fact that through physics, the students are able to get a more differentiated picture of the relation between theory and nature.

Litteratur

- Andersson, B. [1992]. På vej mod et konstruktivistisk syn på læring og viden, in H. Nilsen & A. C. Paulsen (eds), *Undervisning i fysik - den konstruktivistiske idé*, Gyldendal, Nordisk Forlag A.S., Copenhagen.
- Bird, A. [1998]. *Philosophy of Science*, UCL Press, London.
- Cartwright, N. [1983]. *How the laws of physics lie*, Clarendon Press, Oxford.
- Cartwright, N. [1999]. *The Dappled World*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Dolin, J. [2003]. *Fysikfaget i forandring*, Imfufa, Roskilde Universitetscenter, Roskilde, Denmark.
- Gasper, P. [1991]. Causation and explanation, in R. Boyd, P. Gasper & J. D. Trout (eds), *The Philosophy of Science*, Massachusetts Institute of Technology, pp. 289-297.
- Hacking, I. [1999]. *Representing and intervening. Introductory topics in the philosophy of science*, Cambridge University Press, Cambridge.
- Hempel, C. G. [1965]. *Aspects of Scientific Explanation. And Other Essays in the Philosophy of Science*, The Free Press, New York.
- Hempel, C. G. [1991]. Laws and their role in scientific explanation, in R. Boyd, P. Gasper & J. D. Trout (eds), *The Philosophy of Science*, Massachusetts Institute of Technology, pp. 299-315.
- Imfufa [1996]. *Opgavesamling; Breddekursus i fysik (Imfufatekst 322)*, Imfufa, Roskilde Universitetscenter, Roskilde, Denmark.
- Imfufa [2003]. *Opgavesamling; Breddekursus i fysik, 1976-2003 (Imfufatekst 421)*, Imfufa, Roskilde Universitetscenter, Roskilde, Denmark.
- Jensen, J. H. [2000]. Læseropgaver i kvant, *Kvant, Tidsskrift for Fysik og Astronomi* 1: 23-24.
- Jensen, J. H. [2003]. Breddeopgaver nr. 11, 12 og 13, *Kvant, Tidsskrift for Fysik og Astronomi* 1.
- Knudsen, O. [1980]. *Elektromagnetismens historie 1820-1831 og Faradays opdagelse af induktionen*, Gyldendalske Boghandel, Nordisk Forlag A.S., København.
- Kragh, H. & Pedersen, S. A. [1991]. *Naturvidenskabens teori*, Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, København.
- Larkin, J., McDermott, J., Simon, D. P. & Simon, H. A. [1980]. Expert and novice performance in solving physics problems, *Science* 208: 1335-1342.
- Nola, R. [1998]. Constructivism in science and science education: A philosophical critique, in M. R. Matthews (ed.), *Constructivism in Science Education, A Philosophical Examination*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Pedersen, O. [1966]. Om udviklingen af galileis mekanik, in O. Bostrup & H. Meyer (eds), *Debat om matematik-, fysik- og kemiundervisningen*, Gyldendal, Nordisk Forlag A/S, København.

- Sjøberg, S. [1998]. *Naturfag som allmenndannelse, en kritisk fagdidaktikk*, Ad Notam Gyldendal, Oslo.
- Thomsen, P. V. [1992]. Videnskabsfilosofiske smuler, in H. Nielsen & A. C. Paulsen (eds), *Undervisning i fysik - den konstruktivistiske idé*, Gyldendal, Nordisk Forlag A.S., Copenhagen.
- van Fraassen, B. C. [1980]. *The Scientific Image*, Clarendon Press, Oxford.

Liste over tidligere udsendte tekster kan ses på IMFUFA's hjemmeside: <http://mmf.ruc.dk> eller rekvireres på sekretariatet, tlf. 46 74 22 63 eller e-mail: imfufa@ruc.dk.

- 332/97 **ANOMAL SWELLING AF LIPIDE DOBBELTLAG**
Specialrapport af: Stine Korremann
Vejleder: Dorte Posselt
- 333/97 **Biodiversity Matters**
an extension of methods found in the literature on monetisation of biodiversity
by: Bernd Kuemmel
- 334/97 **LIFE-CYCLE ANALYSIS OF THE TOTAL DANISH ENERGY SYSTEM**
by: Bernd Kuemmel and Bent Sørensen
- 335/97 **Dynamics of Amorphous Solids and Viscous Liquids**
by: Jeppe C. Dyre
- 336/97 **Problem-orientated Group Project Work at Roskilde University**
by: Kathrine Legge
- 337/97 **Verdensbankens globale befolkningsprognose**
- et projekt om matematisk modellering
af: Jørn Chr. Bendtsen, Kurt Jensen, Per Pauli Petersen
- 338/97 **Kvantisering af nanolederes elektriske ledningsevne**
Første modul fysikprojekt
af: Søren Dam, Esben Danielson, Martin Niss,
Esben Friis Pedersen, Frederik Resen Steenstrup
Vejleder: Tage Christensen
- 339/97 **Defining Discipline**
by: Wolfgang Coy
- 340/97 **Prime ends revisited - a geometric point of view -**
by: Carsten Lunde Petersen
- 341/97 **Two chapters on the teaching, learning and assessment of geometry**
by: Mogens Niss
- 342/97 **A global clean fossil scenario DISCUSSION PAPER prepared by Bernd Kuemmel**
for the project **LONG-TERM SCENARIOS FOR GLOBAL ENERGY DEMAND AND SUPPLY**
- 343/97 **IMPORT/EKSPORT-POLITIK SOM REDSKAB TIL OPTIMERET UDNYTTELSE**
AF EL PRODUCERET PÅ VE-ANLÆG
af: Peter Meibom, Torben Svendsen, Bent Sørensen

- 344/97 **Puzzles and Siegel disks**
by: Carsten Lunde-Petersen
- 345/98 **Modeling the Arterial System with Reference to an Anesthesia Simulator**
Ph.D. Thesis
by: Mette Sofie Olufsen
- 346/98 **Klyngedannelse i en hulkatode-førstøvningsproces**
af: Sebastian Horst
Vejledere: Jørn Borggren, NBI, Niels Boye Olsen
- 347/98 **Verificering af Matematiske Modeller**
- en analyse af Den Danske Eulerske Model
af: Jonas Blomqvist, Tom Pedersen, Karen Timmermann, Lisbet Øhlenschläger
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek
- 348/98 **Case study of the environmental permission procedure and the environmental impact assessment for power plants in Denmark**
by: Stefan Krüger Nielsen
project leader: Bent Sørensen
- 349/98 **Tre rapporter fra FAGMAT - et projekt om tal og faglig matematik i arbejdsmarkedsuddannelserne**
af: Lena Lindenskov og Tine Wedege
- 350/98 **OPGAVESAMLING - Bredde-Kursus i Fysik 1976 - 1998**
Erstatter teksterne 3/78, 261/93 og 322/96
- 351/98 **Aspects of the Nature and State of Research in Mathematics Education**
by: Mogens Niss
- 352/98 **The Herman-Swiatec Theorem with applications**
by: Carsten Lunde Petersen
- 353/98 **Problemløsning og modellering i en almindende matematikundervisning**
Specialrapport af: Per Gregersen og Tomas Højgaard Jensen
- 354/98 **A Global Renewable Energy Scenario**
by: Bent Sørensen and Peter Meibom
- 355/98 **Convergence of rational rays in parameter spaces**
by: Carsten Lunde Petersen and Gustav Ryd

- 356/98 **Terrænmodellering**
Analyse af en matematisk model til konstruktion af digitale terrænmodeller
Modelprojekt af: Thomas Frommelt, Hans Ravnkjær Larsen og Arnold Skimminge
Vejleder: Johnny Ottesen
- 357/98 **Cayleys P-problem**
En historisk analyse af arbejdet med Cayleys problem fra 1870 til 1918
Et matematisk videnskabsfagsprojekt af: Rikke Degn, Bo Jakobsen, Bjarke K.W.
Hansen, Jesper S. Hansen, Jesper Udesen, Peter C. Wulff
Vejleder: Jesper Larsen
- 358/98 **Modeling of Feedback Mechanisms which Control the Heart Function in a View to an Implementation in Cardiovascular Models**
Ph.D. Thesis by: Michael Danielsen
- 359/99 **Long-Term Scenarios for Global Energy Demand and Supply**
Four Global Greenhouse Mitigation Scenarios
by: Bent Sørensen (with contribution from Bernd Kuemmel and Peter Meiborn)
- 360/99 **SYMMETRI I FYSIK**
En Meta-projekt rapport af: Martin Niss, Bo Jakobsen & Tune Bjarke Bonné
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 361/99 **Symplectic Functional Analysis and Spectral Invariants**
by: Bernhelm Booss-Bavnbek, Kenro Furutani
- 362/99 **Er matematik en naturvidenskab? - en udspænding af diskussionen**
En videnskabsfagsprojekt-rapport af: Martin Niss
Vejleder: Mogens Nørgaard Olesen
- 363/99 **EMERGENCE AND DOWNWARD CAUSATION**
by: Donald T. Campbell, Mark H. Bickhard, and Peder V. Christiansen
- 364/99 **Illustrationens kraft - Visuel formidling af fysik**
Integreret speciale i fysik og kommunikation
af Sebastian Horst
Vejledere: Karin Beyer, Søren Kjærup
- 365/99 **To know - or not to know - mathematics, that is a question of context**
by: Tine Wedege
- 366/99 **LATEX FOR FORFATTERE - En introduktion til LATEX og IMFUFA-LATEX**
af Jørgen Larsen
- 367/99 **Boundary Reduction of Spectral Invariants and Unique Continuation Property**
by: Bernhelm Booss-Bavnbek
- 368/99 **Kvartvejsrapport for projektet SCENARIER FOR SAMLET UDNYTTELSE AF BRINT SOM ENERGIBÆRER I DANMARKS FREMTIDIGE ENERGISYSTEM**
Projektleder: Bent Sørensen
- 369/99 **Dynamics of Complex Quadratic Correspondences**
by: Jacob S. Jørgensen
Supervisor: Carsten Lund Petersen
- 370/99 **OPGAVESAMLING - Bredde-Kursus i Fysik 1976 - 1999**
Eksamensopgaver fra perioden 1976 - 1999. Denne tekst erstatter tekst nr. 350/98
- 371/99 **Bevisets stilling - beviser og bevisførelse i en gymnasial matematik undervisning**
Et matematikspeciale af: Maria Hermannsson
Vejleder: Mogens Niss
- 372/99 **En kontekstualiseret matematikhistorisk analyse af ikke-lineær programmering: Udviklingshistorie og multipel opdagelse**
Ph.d.-afhandling af Tinne Hoff Kjeldsen
- 373/99 **Criss-Cross Reduction of the Maslov Index and a Proof of the Yoshida-Nicolaescu Theorem**
by: Bernhelm Booss-Bavnbek, Kenro Furutani and Nobukazu Otsuki
- 374/99 **Det hydrauliske spring - Et eksperimentelt studie af polygoner og hastighedsprofiler**
Specialeafhandling af: Anders Marcussen
Vejledere: Tomas Bohr, Clive Ellegaard, Bent C. Jørgensen
- 375/99 **Begrunder for Matematikundervisningen i den lærde skole hhv. gymnasiet 1884-1914**
Historiespeciale af Henrik Andreassen, cand.mag. i Historie og Matematik
- 376/99 **Universality of AC conduction in disordered solids**
by: Jeppe C. Dyre, Thomas B. Schrøder
- 377/99 **The Kuhn-Tucker Theorem in Nonlinear Programming: A Multiple Discovery?**
by: Tinne Hoff Kjeldsen
- 378/00 **Solar energy preprints:**
1. Renewable energy sources and thermal energy storage
2. Integration of photovoltaic cells into the global energy system
by: Bent Sørensen

- 379/00 **EULERS DIFFERENTIALREGNING**
Eulers indførelse af differentialregningen stillet over for den moderne
En tredjesemesters projektrapport på den naturvidenskabelige basisuddannelse
af: Uffe Thomas Volmer Jankvist, Rie Rose Møller Pedersen, Maja Bagge Pedersen
Vejleder: Jørgen Larsen
- 380/00 **MATEMATISK MODELLERING AF HJERTEFUNKTIONEN**
Isovolumetrisk ventrikulær kontraktion og udpumpning til det cardiovascularære
system
af: Gitte Andersen (3. moduls-rapport), Jakob Hilmer og Stine Weisbjerg (speciale)
Vejleder: Johnny Ottesen
- 381/00 **Matematikviden og teknologiske kompetencer hos kortuddannede voksne**
- Rekognosceringer og konstruktioner i grænselandet mellem matematikkens didaktik
og forskning i voksenuddannelse
Ph. d. -afhandling af Tine Wedege
- 382/00 **Den selvundvigende vandring**
Et matematisk professionsprojekt
af: Martin Niss, Arnold Skimminge
Vejledere: Viggo Andreasen, John Villumsen
- 383/00 **Beviser i matematik**
af: Anne K.S.Jensen, Gitte M. Jensen, Jesper Thrane, Karen L.A.W. Wille, Peter
Wulff
Vejleder: Mogens Niss
- 384/00 **Hopping in Disordered Media: A Model Glass Former and A Hopping Model**
Ph.D. thesis by: Thomas B. Schrøder
Supervisor: Jeppe C. Dyre
- 385/00 **The Geometry of Cauchy Data Spaces**
This report is dedicated to the memory of Jean Leray (1906-1998)
by: B. Booss-Bavnbek, K. Furutani, K. P. Wojciechowski
- 386/00 **Neutrale mandatfordelingsmetoder - en illusion?**
af: Hans Henrik Brok-Kristensen, Knud Dyrberg, Tove Oxager, Jens Sveistrup
Vejleder: Bernhard Booss-Bavnbek
- 387/00 **A History of the Minimax Theorem: von Neumann's Conception of the Minimax
Theorem - - a Journey Through Different Mathematical Contexts**
by: Tinne Hoff Kjeldsen
- 388/00 **Behandling af impuls ved kilder og dræn i C. S. Peskins 2D-hjertemodel**
et 2. moduls matematik modelprojekt
af: Bo Jakobsen, Kristine Niss
Vejleder: Jesper Larsen
- 389/00 **University mathematics based on problemoriented student projects: 25 years of
experience with the Roskilde model**
By: Mogens Niss
Do not ask what mathematics can do for modelling. Ask what modelling can do for
mathematics!
by: Johnny Ottesen
- 390/01 **SCENARIER FOR SAMLET UDNYTTELSE AF BRINT SOM ENERGIBÆRER I
DANMARKS FREMTIDIGE ENERGISYSTEM Slutrapport, april 2001**
Projektleder: Bent Sørensen
Projektledere: DONG: Aksel Hauge Petersen, Celia Juhl, Elkraft System[®]: Thomas
Engberg Pedersen[®], Hans Ravn, Charlotte Søndergren, Energi 2[®]: Peter Simonsen,
RISØ Systemanalyseafd.: Kaj Jørgensen, Lars Henrik Nielsen, Helge V. Larsen,
Poul Erik Morthorst, Lotte Schleisner, RUC: Finn Sørensen[®], Bent Sørensen
[®]Indtil 1/1-2000 Elkraft, [®] fra 1/5-2000 Cowi Consult
[®]Indtil 15/6-1999 DTU Bygninger & Energi, [®] fra 1/1-2001 Polypeptide Labs.
Projekt 1763/99-0001 under Energistyrelsens Brintprogram
- 391/01 **Matematisk modelleringskompetence - et undervisningsforløb i gymnasiet**
3. semesters Nat.Bas. projekt af: Jess Tolstrup Boye, Morten Bjørn-Mortensen, Sofie
Inari Castella, Jan Lauridsen, Maria Götzsche, Ditte Mandøe Andreasen
Vejleder: Johnny Ottesen
- 392/01 **"PHYSICS REVEALED" THE METHODS AND SUBJECT MATTER OF
PHYSICS**
an introduction to pedestrians (but not excluding cyclists)
PART III: PHYSICS IN PHILOSOPHICAL CONTEXT
by: Bent Sørensen.
- 393/01 **Hilberts matematikfilosofi**
Specialerapport af: Jesper Hasmark Andersen
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 394/01 **"PHYSICS REVEALED" THE METHODS AND SUBJECT MATTER OF
PHYSICS**
an introduction to pedestrians (but not excluding cyclists)
PART II: PHYSICS PROPER
by: Bent Sørensen.
- 395/01 **Menneskers forhold til matematik. Det har sine årsager!**
Specialeafhandling af: Anita Stark, Agnete K. Ravnborg
Vejleder: Tine Wedege
- 396/01 **2 bilag til tekst nr. 395: Menneskers forhold til matematik. Det har sine årsager!**
Specialeafhandling af: Anita Stark, Agnete K. Ravnborg
Vejleder: Tine Wedege

397/01 En undersøgelse af solventis og kædelængdes betydning for anomal swelling i phospholipiddobbeltlag
2. modul fysikrapport af: Kristine Niss, Arnold Skimminge, Esben Thormann, Stine Timmermann
Vejleder: Dorte Posselt

398/01 Kursusmateriale til "Lineære strukturer fra algebra og analyse" (E1)
Af: Mogens Brun Heefelt

399/01 Undergraduate Learning Difficulties and Mathematical Reasoning
Ph.D Thesis by: Johan Lithner
Supervisor: Mogens Niss

400/01 On Holomorphic Critical quasi circle maps
By: Carsten Lunde Petersen

401/01 Finite Type Arithmetic Computable Existence Analysed by Modified Realisability and Functional Interpretation
Master's Thesis by: Klaus Frovin Jørgensen
Supervisors: Ulrich Kohlenbach, Stig Andur Pedersen and Anders Madsen

402/01 Matematisk modellering ved den naturvidenskabelige basisuddannelse - udvikling af et kursus
Af: Morten Blomhøj, Tomas Højgaard Jensen, Tinne Hoff Kjeldsen og Johnny Ottesen

403/01 Generalisering i integralteorien
- En undersøgelse af Lebesgue-integralet, Radon-integralet og Perron-integralet
Et 2. modul matematikprojekt udarbejdet af: Stine Timmermann og Eva Uhre
Vejledere: Bernhelm Booss-Bavnbek og Tinne Hoff Kjeldsen

404/01 "Mere spredt fægning"
Af: Jens Højgaard Jensen

405/01 Real life routing
- en strategi for et virkeligt vrp
Et matematisk modelprojekt af: David Heiberg Backchi, Rasmus Brauner Godiksen, Uffe Thomas Volmer Jankvist, Jørgen Martin Poulsen og Neslihan Saglanmak
Vejleder: Jørgen Larsen

406/01 Opgavesamling til dybdekursus i fysik
Eksamensopgaver stillet i perioden juni 1976 til juni 2001
Denne tekst erstatter tekst nr. 25/1980 + efterfølgende tillæg

407/01 Unbounded Fredholm Operators and Spectral Flow
By: Bernhelm Booss-Bavnbek, Matthias Lesch, John Phillips

408/02 Weak UCP and Perturbed Monopole Equations
By: Bernhelm Booss-Bavnbek, Matilde Marcolli, Bai-Ling Wang

409/02 Algebraisk ligningsløsning fra Cardano til Cauchy
- et studie af kombinationers, permutationers samt invariansbegrebets betydning for den algebraiske ligningsløsning for Gauss, Abel og Galois
Videnskabsfagsprojekt af: David Heiberg Backchi, Uffe Thomas Volmer Jankvist, Neslihan Saglanmak
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek

410/02 2 projekter om modellering af influenzaepidemier
Influenzaepidemier- et matematisk modelleringsprojekt
Af: Claus Jørgensen, Christina Lohfert, Martin Mikkelsen, Anne-Louise H. Nielsen
Vejleder: Morten Blomhøj
Influenza A: Den tilbagevendende plage - et modelleringsprojekt
Af: Beth Paludan Carlsen, Christian Dahncke, Lena Petersen, Michael Wagner
Vejleder: Morten Blomhøj

411/02 Polygonformede hydrauliske spring
Et modelleringsprojekt af: Kåre Stokvad Hansen, Ditte Jørgensen, Johan Rønby Pedersen, Bjørn Toldbod
Vejleder: Jesper Larsen

412/02 Hopffurkation og topologi i væskestrømning - en generel analyse samt en behandling af strømmingen bag en cylinder
Et matematisk modul III professionsprojekt af: Kristine Niss, Bo Jakobsen
Vejledere: Morten Brøns, Johnny Ottesen

413/03 "Elevernes stemmer" Fysikfaget, undervisningen og lærerroller, som eleverne opfatter det i det almene gymnasium i Danmark
Af: Carl Angell, Albert Chr. Paulsen

414/03 Feltmediagrammer En vej til forståelse?
Et 1. modul fysikprojekt af: Ditte Gundermann, Kåre Stokvad Hansen, Ulf Rørbæk Pedersen
Vejleder: Tage Emil Christensen

415/03 FYSIKFAGET I FORANDRING Læring og undervisning i fysik i gymnasiet med fokus på dialogiske processer, autenticitet og kompetenceudvikling
Ph.d.-afhandling i fysikdidaktik af: Jens Dolin

416/03 Fourier og Funktionsbegrebet
- Overgangen fra Eulers til Dirichlets funktionsbegreb
Projektrapport af: Rasmus Brauner Godiksen, Claus Jørgensen, Tony Moyer Hanberg, Bjørn Toldbod
Vejleder: Erik von Essen

- 417/03 The Semiotic Flora of Elementary particles
By: Peder Voetmann Christiansen
- 418/03 Militærmatematik set med kompetencebriller
3. modul projektrapport af: Gritte Jensen og specialrapport af: Jesper Thrane
Vejleder: Tine Wedege
- 419/03 Energy Bond Graphs – a semiotic formalization of modern physics
By: Peder Voetmann Christiansen
- 420/03 Stemning og Musikalsk Konsonans
Et matematisk modelleringsprojekt af: Claus Jørgensen
Vejleder: Johnny Ottesen
- 421/03 OPGAVESAMLING
Bredde-kursus i fysik 1976 – 2003.
Denne tekst erstatter tekst nr. 370/99
- 422/03 Vurdering af dynamisk blodstrømningsmodel
- ved numerisk simulering med FEMLAB
Et 2. modul matematikprojekt af: Sofie Inari Castella, Ingunn Gunnarsdóttir og Jacob Kirkensgaard Hansen
Vejleder: Johnny Ottesen
- 423/03 Fysikkens historie i en almindelig fysikundervisning
- Eksemplificeret med Millikan Ehrenhaft kontroversen
Specialrapport af: Marianne Wilcken Bjerregaard
Vejleder: Albert Chr. Paulsen
- 424/03 Dielectric and Shear Mechanical Relaxation in Glass Forming Liquids
- A thorough analysis and experimental test of the DiMarzio-Bishop model
Master thesis in physics by: Kristine Niss and Bo Jakobsen
Supervised by: Niels Boye Olsen