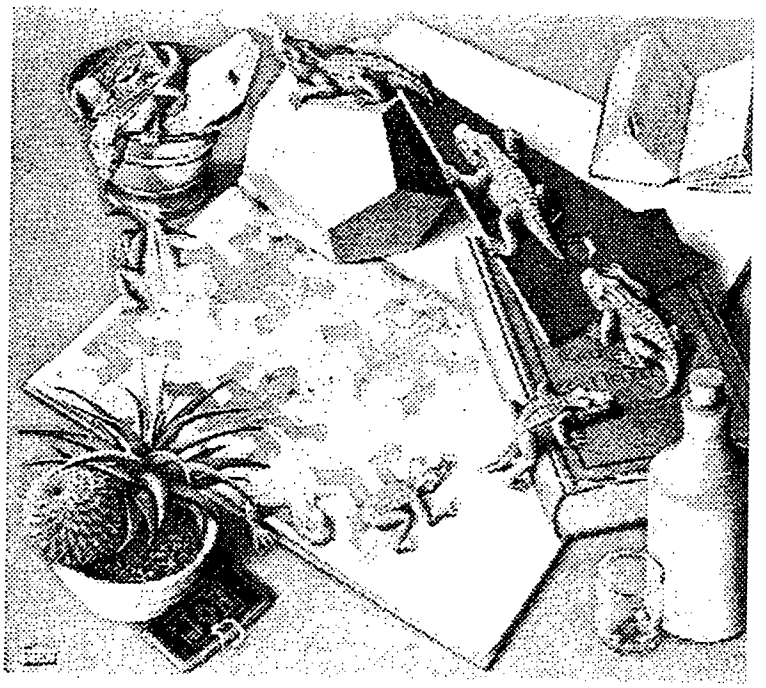
TEKST NR 308 1995



METAFORER I FYSIKKEN

En IMFUFA-tekst af:

Marianne Wilcken Bjerregaard
Frederik Voetmann Christiansen
Jørn Skov Hansen
Klaus Dahl Jensen
Ole Schmidt

Vejledere:

Peder Voetmann Christiansen og Petr Viščor

TEKSTER fra

IMFUFA **ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER**
INSTITUT FOR STUDIET AF MATEMATIK OG FYSIK SAMT DERES FUNKTIONER I UNDERVISNING, FORSKNING OG ANVENDELSER

IMFUFA, Roskilde Universitets Center, Postbox 260, 4000 Roskilde.

Klaus Dahl Jensen, Frederik Voetmann Christiansen, Marianne Wilcken Bjerregaard, Ole Schmidt og Jørn Skov Hansen: **Metaforer i Fysikken**

IMFUFA-tekst nr. 308/1995 125 sider ISSN 0106-6242

Abstract

Den foreliggende tekst omhandler brugen af metaforer og analogier i fysikken. Det teoretiske fundament for undersøgelsen er udarbejdet på baggrund af af filosoffen Charles Sanders Peirces videnskabsteori, fænomenologi og semiotik (tegnteori) og lingvisten George Lakoffs erkendelses- og metaforteori.
Der gives eksempler på brug af metaforer i udviklingen af astonomien/mekanikken (Johannes Kepler), termodynamikken (Sadi Carnot), elektrodynamikken (James C. Maxwell), kvantemekanikken (Niels Bohr), samt brugen af elektriske analogmodeller, eksemplificeret ved en model for entalpirelaksation i en væske (Niels B. Olsen).

Indhold

Indledning iv

Indholdsbeskrivelse vii

Målgruppe viii

Læsevejledning viii

DEL I: TEORETISK FUNDAMENT 1

1 Peirces videnskabsteori 1

1.1 Videnskabelige slutningsformer 1

1.1.1 Deduktion 1

1.1.2 Induktion 1

1.1.3 Abduktion 2

Opsamling 7

2 Peirces fænomenologi og semiotik 8

2.1 Peirces fænomenologi 8

2.1.1 De tre kategorier 10

2.1.2 Newtons love set som udtryk for kategorierne 14

2.2 Peirces semiotik 16

2.2.1 Kategorisering af tegnets dele 19

Opsamling 22

3 Grundlaget for Lakoffs metaforteori 23

3.1 Førsproglig strukturering 23

3.2 Grundkategorier 27

3.3 Erkendelsesapparatets brug af kategorier 28

Opsamling 29

4 Hvad er en metafor ? 30

4.1 Lakoffs & Johnsons metaforteori 30

4.1.1 Den metaforiske funktion 31

4.1.2 Invariansprincippet 32

4.2 Metaforens funktion i erkendelsen udfra Peirces erkendelsesteori 33

4.2.1 Metaforisk ræsonneren 34

4.2.2 Semiotisk karakterisering af metaforer 40

4.3 Videnskabelig brug af metaforer 42

Opsamling 45

DEL II: BRUG AF METAFORER 47

5 Johannes Kepler 47

5.1 Fysisk harmoni 49

5.2 Matematisk harmoni 52

5.3 Teologisk harmoni 54

5.4 Analogier i Keplers videnskabelige arbejde 58

5.5 Keplers tre harmonier 61

6 Sadi Carnot 64

6.1 Carnots videnskabelige ståsted 64

6.2 Analogien 65

6.3 Analyse af analogien 67

7 James Clerk Maxwell 69

7.1 Æteren 69

7.2 Rotationen 69

7.3 Maxwells hvirvelmodel 71

7.4 Modellens ontologiske status 74

8 Niels Bohr 77

8.1 Bohrs komplementaritetsprincip 77

8.2 Grundlaget for Bohrs komplementaritetsprincip 79

8.3 Analyse af Bohrs brug af analogier 85

8.4 Bohrs opfattelse af komplementaritet 88

9 Netværksmodeller **90**

9.1 Passive elementer i elektriske kredsløb og deres mekaniske ækvivalenter 91

9.2 Elektrisk analogi til entalpi-relaksation i en væske 93

9.2.1 Underafkøling og glasovergang 94

9.2.2 Relaksation og viskositet 95

9.2.3 Frekvensafhængig varmekapacitet 96

9.2.4 Modellen 97

Opsamling på eksemplerne **102**

DEL III: AFSLUTNING **104**

10 Diskussion **104**

10.1 Vores teoretiske fundament 104

10.2 Metaforens væsen 107

10.3 Konklusion 112

KILDELISTE **114**

Denne projektrapport er udarbejdet i foråret 1995 af Frederik V. Christiansen, Jørn S. Hansen, Klaus D.Jensen, Marianne W. Bjerregaard og Ole H. Schmidt, som alle pt. er studerende på overbygningsuddannelsen i fysik på Roskilde Universitets Center. Rapporten opfylder projektbindingen til fysikstudiets "metaprojekt". Bindingen lyder:

> "Projektet skal eksemplarisk behandle en problemstilling inden for teknologiteori, videnskabsteori eller erkendelsesteori, som angår faget fysik."[1]

Indledning

Som overordnet emne for projektet, har vi valgt at arbejde med *metaforers* anvendelse i, og betydning for, fysikken. Lad os derfor, indledningsvis, ofre et par ord på at indkredse, i hvilken betydning vi bruger betegnelsen "metafor". Som enhver kan overbevise sig om ved at slå op i *nudansk ordbog*, er "metafor", i dagligsproget, synonymt med "billedligt udtryk" — altså slet og ret det, at ét fænomen bruges som *sprogligt billede* af et andet fænomen. Elementære eksempler på anvendelse af sådanne sproglige billeder er der masser af; vi kan i flæng nævne: Homers klassiske og velkendte (blandt gymnasieelever måske snarere berygtede) "rosenfingrede dagning", den "paddehattesky" man kan observere efter sprængning af en atombombe, eller den, ikke specielt poetiske, anvendelse af visse slagterivarer som betegnelse for en tyvs fingre — "kleptoman-pølser". Disse metaforer bygger alle på visuelle ligheder, men der er også eksempler på "sprogbilleder" baseret på andre former for sanseindtryk — et stykke musik kan f.eks. "være chokolade for øregangen". Og endelig kan den "lighed", som metaforen udtrykker, også bestå i et sammenfald af egenskaber af mere abstrakt/symbolsk natur, som f.eks. udtrykket "livet er som en rejse".
Kort sagt drejer alle disse eksempler sig om, at én ting beskrives med et udtryk for en anden ting, idet det underforstås, at det kun er nogle bestemte egenskaber ved den anden ting, man skal hæfte sig ved, og ignorere alle de egenskaber som er sagen "uvedkommende". Endnu kortere, og lidt mere abstrakt, kunne man sige, at metaforen består i en *overførsel* af visse af, men ikke alle, et objekts egenskaber til et andet objekt.
Nu kunne man spørge sig selv om, hvad i himlens navn alt dette dog har at gøre med fysisk erkendelse — for det skulle da forestille, at være emnet for et fysik-projekt, eller hvad? Billedsprog er da noget man bruger i digtekunsten, og ikke i en eksakt videnskab som fysikken, hvor man vel, om nogen steder, forstår at kalde en spade for en spade?
Imidlertid er der meget der tyder på, at metaforer bruges til andet og mere,

[1] Fysikstudieordning af 25. juni, 1993, s.4.

end blot at underholde os med alternative sproglige udtryk, og faktisk har en væsentlig funktion i videnskabelig erkendelse. Således skriver T.S. Kuhn (i en kritik af Richard Boyd's artikel "Metaphor and Theory Change"), at metaforer ligefrem har en konstituerende betydning for videnskabelig teoridannelse:

> "[..] genuine metaphors [..] are also fundamental to science, providing on occasions "an irreplacable part of the linguistic maschinery of a scientific theory," playing a role that is "*constitutive* of the theories they express, rather than merely exegetical [*fortolkende*]."[2]

Den form for erkendelse, som den mentale evne til at danne metaforer formodes at danne grundlag for, vil vi kalde "metaforisk ræsonneren". Metaforisk ræsonneren må grundlæggende være karakteristisk ved, at man opnår en slags forståelse af ét fænomen, ved at overføre, projicere, sammenhænge som i forvejen benyttes i ens forståelse af et andet fænomen — uden at der (nødvendigvis) er nogen kausal forbindelse mellem de to fænomener. Men vi skal ikke foregribe diskussionen af metaforens væsen og erkendelsesteoretiske status; den vender vi tilbage til senere i rapporten.

I moderne videnskabsteori skelnes der ofte mellem to forskellige undersøgelsesfelter: *Context of discovery* og *context of justification. Context of discovery* er den sammenhæng, som en given fysisk teori opstod i, eller mere konkret, det der satte forskeren eller forskerne i stand til at opdage, det han/hun/de nu engang opdagede. En given videnskabelig opdagelses *context of justification* betegner den sammenhæng, som betinger dens accept (eller forkastelse). Mange moderne videnskabsteoretikere mener, at *context of justification* er et mere interessant forskningsområde end *context of discovery*, fordi den førstnævnte kan medvirke til at udstikke retningslinjer for hvordan god videnskab skal bedrives. Det mener mange, at *context of discovery* ikke kan. William Whewell udtrykker det således:

> " Videnskabelige opdagelser må altid afhænge af en eller anden lykkelig tankegang, hvis oprindelse vi ikke kan spore; et heldigt præg af intellekt, hinsides alle regler. Der gives ingen maksimer der uundgåeligt fører til opdagelser."[3]

Denne holdning er, som sagt, stadigvæk meget dominerende inden for videnskabsteorien, og det har betydet en markant nedprioritering af *context of discovery* i moderne videnskabsteori — og så vidt vi kan skønne også i metaprojekter på fysikoverbygningen på RUC.

[2]Kuhn 1993. Fra Ortony 1993, s.538 (Boyds artikel findes i samme værk)
[3]William Whewell, 1847. Kragh og Pedersen, s.167

Whewell har sikkert ret i sin påstand om, at der ikke findes grundsætninger, som, hvis man følger dem slavisk, automatisk vil føre til en eller anden opdagelse. Men dette udelukker, efter vores mening, bestemt ikke muligheden for at der kan være fællestræk i de mentale processer som fører til videnskabelige opdagelser — og om der findes regler for disse processer eller ej, kunne man jo passende lade komme an på en prøve, i stedet for at afvise muligheden på forhånd.
Der skulle ikke mindst i forbindelse med brugen af metaforer i fysikken (jvf. ovenstående citat af Kuhn), være gode muligheder for at finde aspekter ved "opdagelsessammenhængen" som er værd at studere. Nogle få eksempler på videnskabelige opdagelser hvor metaforer har spillet en rolle, gives af Gentner & Jeziorski:

> "Analogy and metaphor[4] are central to scientific thought. They figure in discovery, as in Rutherford's analogy of the solar system for the atom or Faraday's use of lines of magnetized iron filings to reason about electric fields."[5]

Hvorom alting er: Vi vil i dette projekt gå imod hovedstrømmen, og primært interessere os for metaforens rolle i *context of discovery.*

En omfattende del af projektarbejdet, har ligget i afklaringen af metaforens erkendelsesmæssige placering på et *teoretisk grundlag.* Altså i indplaceringen af den metaforiske ræsonneren i en generel erkendelsesteoretisk begrebsramme, som gør det muligt at sætte den i forhold til ikke-metaforisk erkendelse. Denne grundlæggende begrebsafklaring har været både tids- og arbejdskrævende — men på den anden side har den også været en nødvendig forudsætning for den efterfølgende undersøgelse af konkrete eksempler på fysisk teoridannelse.

[4]Forfatterne regner analogier for at være en bestemt type af metaforer. Den definitoriske afgrænsning vender vi tilbage til inde i rapporten — indtil da vil vi kun bruge udtrykket "metafor", og underforstå at betegnelsen indbefatter analogier.
[5]Gentner & Jeziorski 1993. Fra Ortony 1993, s.447

Vores **problemformulering** indeholder to hovedpunkter; dens ordlyd er:

> **Hvad er en metafor og hvilke ligheder og forskelle er der mellem metaforisk ræsonneren og ikke-metaforisk ræsonneren?**
> **Hvilken rolle spiller metaforer i udviklingen af fysikken?**

Indholdsbeskrivelse

I forbindelse med projektets "begrebsafklaringsfase" har vi taget afst i to amerikanske tænkeres teorier: Filosoffen Charles Sanders Peirce (1839-1914), og den nulevende lingvist George Lakoff.

Lakoff forsyner os med en egentlig metaforteori, hvori visse lovmæssigheder eller regler, som "styrer" metaforens funktion, udledes på baggrund af en lang række konkrete iagttagelser.
Til dén begrebsafklaring, som vi har brug for, har vi valgt at "sammenkoble" Lakoffs metaforteori med Peirces erkendelsesteori. Peirce synes at give det ultimative svar på vort behov for en generel begrebsramme, idet hans erkendelses- og videnskabsteori agiveligt er et bud på en skematik, som skulle kunne rumme alle verdens fænomener, begreber, idéer samt videnskabelige opdagelsesprocesser. Blot har han ikke udtalt sig særligt uddybende om metaforer og metaforisk ræsonneren, hvilket dog ikke betyder, at disse emner falder uden for teorien.

Indholdsmæssigt supplerer de to teorier altså hinanden ganske udmærket — men derudover har det været af betydning for valget af disse to teorier, at Peirce og Lakoff befinder sig i "samme boldgade" med hensyn til et af de meget væsentlige skel indenfor videnskabsteorien, nemlig skellet mellem realisme og nominalisme. Kortfattet, og lidt firkantet, udtrykt mener realisterne, at objekters egenskaber er iboende — at de er træk ved virkeligheden der er uafhængige af vore sanseoplevelser. Nominalisterne mener derimod, at objekters egenskaber er noget der skabes af vores "fortolkning" af sanseindtrykkene.
Både Peirce og Lakoff er, grundlæggende, realister, hvilket er et ganske væsentligt kriterium for om der er mening i at koble de to teorier. Forudsætningen er særlig relevant når der, som her, fokuseres på metaforers erkendelsesteoretiske status — vi vil helst ikke risikere at havne i selvmodsigelser om, hvorvidt de egenskaber som "overføres", når man bruger en metafor, er udtryk for virkelige fællestræk mellem objekter, eller ikke.

I rapportens anden del behandler vi en række eksempler fra fysikkens udvikling, med udgangspunkt i vores samenkobling af Peirce og Lakoffs teorier. Eksemplerne er taget fra udviklingen af forskellige discipliner i fysikken: Som eksempel på udviklingen indenfor astronomien/mekanikken, har vi valgt Johannes Keplers arbejde; inden for termodynamikken har vi valgt nogle af Sadi

Carnots overvejelser om varmemaskiner; elektrodynamikken er repræsenteret ved James Clerk Maxwell og kvantemekanikken ved Niels Bohr. Desuden ser vi på brugen af elektriske analogmodeller i fysikken, som eksempel på at metaforisk ræsonneren ikke kun er relevant i forbindelse med store og revolutionerende opdagelser.

Målgruppe

På IMFUFA har der i adskillige år været en fortløbende diskussion af brugen af matematiske modeller. Hvad er en model, hvordan kan modeller bruges/misbruges, hvordan vurderes kvaliteten af matematiske modeller, samspillet mellem model, teori og eksperiment mv. I dette projekt vil vi ikke diskutere modeller, men rette blikket mod brugen af metaforer inden for fysikken. Det er imidlertid vores opfattelse, at der er mange ligheder mellem modeller og metaforer. Vi håber derfor at vores projekt kan tilføre den diskussion, der foregår på instituttet, noget nyt. Da metaforisk ræsonneren er et middel til opnåelse af ny erkendelse, vil projektet måske kunne give de studerende og vejledere, der har didaktikken, som deres primære interesse, noget. Endelig vil projektet kunne bruges af andre studerende, der står overfor at skulle skrive metaprojekt. Af alle disse grunde har det været naturligt at stile projektrapporten mod vejledere og studerende på instituttet for matematik og fysik på RUC (men andre må selvfølgelig gerne læse med).

Læsevejledning

Projektrapporten indeholder tre dele: For det første en teoretisk del, som omfatter kapitlerne 1 – 4. I kapitlerne 1 og 2 opridses hovedtræk af Peirces "teori-kompleks": Hans videnskabsteori i kapitel 1, og hans fænomenologi (eller kategorilære) og semiotik (tegnteori) i kapitel 2. I grunden er disse tre dele af Peirces teori forbundne på kryds og tværs — men vi har valgt at lægge ud med videnskabsteorien, som er den lettest tilgængelige del. I kapitel 3 gennemgås grundlaget for Lakoffs metaforteori, og kapitel 4 afslutter den teoretiske del af rapporten; heri sammenkædes de to teoribygninger, de relevante konklusioner drages og perspektiveres historisk.
Gennemgangen af eksempler fra fysikkens historie (og nutid) findes i kapitlerne 5 – 9 og endelig kommer diskussion og konklusion i kapitel 10.

Litteraturhenvisninger angives ved brug af fodnoter. Hvor det drejer sig om citater, markeres i fodnoterne først *hvem* der bliver citeret samt årstal for udtalelsen (om muligt). Herefter gives en henvisning til en udgivelse (der kan findes i litteraturlisten sidst i rapporten), udgivelselsesår, samt sidetal. Oplysningsreferencer gives ved henvisning til udgivelse og sidetal.

DEL I: TEORETISK FUNDAMENT

1 Peirces videnskabsteori

Grundsubstansen i Peirces teori om videnskabelig erkendelse består, kort sagt, i karakteriseringen af tre fundamentale måder at ræsonnere på, som al videnskabelig erkendelse skulle kunne koges ned til. I dette kapitel gives en kort introduktion til disse tre grundformer.

1.1 Videnskabelige slutningsformer

Peirces videnskabsteori tager, som skrevet, udgangspunkt i de tre forskellige slutningsformer, som han mener danner baggrund for alt videnskabeligt arbejde. Disse er henholdsvis *abduktion* (eller retroduktion som han senere kaldte det), *deduktion* og *induktion*. Læseren er formentlig bekendt med de to sidstnævnte slutningsformer, men for god ordens skyld vil vi ofre nogle ord på dem. Herefter vender vi os mod *abduktionen*, der gør Peirces videnskabsteori til noget særligt.

1.1.1 Deduktion

Deduktion består, kort sagt, i slutning fra det generelle til det specielle. Et eksempel på en deduktiv slutning er[6]:

Regel: Alle bønner fra denne sæk er hvide
Tilfælde: Disse bønner er fra denne sæk

Resultat: Disse bønner er hvide.

Som det fremgår af eksemplet, følger konklusionen nødvendigvis af præmisserne (Alle huse har et tag og X er et hus, ergo har X et tag). Indenfor videnskaben er det især i matematikken at denne slutningsform hyldes, men også i fysikken spiller deduktionen en væsentlig rolle — for eksempel i forbindelse med eksperimentelle undersøgelser. Hvis man går ud fra en eller anden teori, kan man ved deduktion slutte sig til, hvordan tingene vil være i den specielle situation som eksperimentet udgør.

1.1.2 Induktion

Induktion er slutning fra det specielle til det almene. Denne slutningsform adskiller sig fra den deduktive slutning ved ikke at være logisk nødvendig. Et

[6] Peirce, 1878. Fra Dinesen og Stjernfelt, 1994, s.152

eksempel på en induktion er[7]:

Tilfælde: Disse bønner er fra denne sæk
Resultat: Disse bønner er hvide

Regel: Alle bønner fra denne sæk er hvide.

Som det ses, er en induktiv slutning ikke nødvendigvis sand; vi kan kun sige at den er sand med en vis sandsynlighed. Ikke desto mindre er induktionen en slutningsform, der er helt central for videnskaben.
I den positivistiske videnskabsteori[8] anses induktionen for at være den mest centrale slutningsform: Universelle udsagn formuleres på baggrund af konkrete iagttagelser. Deduktion og induktion er altså ifølge dette videnskabssyn hjørnestenene i den videnskabelige proces: På baggrund af iagttagelser (så mange som muligt) udledes universelle udsagn ved induktion. Disse universelle udsagn kan undersøges eksperimentelt eller bringes i anvendelse ved deduktion.

1.1.3 Abduktion

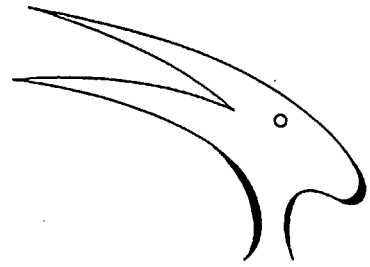
Den positivistiske videnskabsopfattelse har imidlertid lidt alvorlige knæk i dette århundrede, og det er i denne sammenhæng at Peirce bliver relevant. Peirce mener nemlig ikke at de to hidtil beskrevne slutningsformer er de eneste, der er relevante for den videnskabelige proces: Der findes en tredje slutningsform, der er mindst lige så væsentlig. Men for at forstå relevansen af denne slutningsform må vi først forstå, hvorfor induktionen og deduktionen ikke er tilstrækkelige til at redegøre for det videnskabelige forløb.
Som beskrevet mente positivisterne, at videnskab bestod i at udlede universelle udsagn på baggrund af iagttagelser. Jo større ens empiriske materiale er, desto større tillid kan man fæste til de udledte udsagn. Problemet er bare, at man ikke i praksis behandler emipiri på den måde som det er antaget i denne redegørelse. Man går ikke bare rundt og observerer bevidstløst, for derefter at slutte sig til universelle udsagn. Det forholder sig snarere sådan, at man har (eller i umiddelbart samspil med omgivelserne får) en idé, som man derefter undersøger empirien med. Karl Popper, der uafhængigt af Peirce udviklede en lignende videnskabsteori, bad jævnligt tilhørerne til sine forelæsninger om at "observere". Når tilhørerne spurgte, hvad det var de skulle observere var hans (og Peirces) pointe slået fast.
Der er således en vis "teoriladethed" forbundet med enhver observation, såvel i den videnskabelige undersøgelse som i den helt grundlæggende kategorisering af huse, træer, borde, stole osv. Figur 1 [9] kan tjene til illustration af

[7]Peirce, 1878. Fra Dinesen og Stjernfelt, 1994, s.154

[8]Positivismen er en nominalistisk retning inden for videnskabsteorien, der kun anerkender empirisk viden som grundlag for videnskabelig forskning. Jævnfør f.eks. Kragh og Pedersen, 1991. s. 118 for en beskrivelse af Ernst Machs positivisme.

[9]Figuren stammer fra Kragh & Pedersen, 1991. s.194

dette. Pointen med figuren er, at vores klassifikation af tegningen som fore-



Figur 1: På tegningen ses enten en antilope eller en fugl

stillende enten en fugl eller en antilope, er udtryk for at vor erkendelse er teoriladet. Vores erkendelsesapparat "foreslår" os en måde, hvorpå vi kan forstå stregerne på papiret: Enten som en antilope eller som en fugl — ikke som begge dele. Der er altså noget, der tyder på, at det at indsamle empiri og forstå det involverer en slutningsform, der hverken er deduktion eller induktion; denne form kalder Peirce for *abduktion*. Peirce karakteriserer den bduktive slutning som dannelse af en hypotese — et (måske kvalificeret) gæt:

> "Lad os antage, at jeg går ind i et rum og finder et antal sække, der indeholder forskellige slags bønner. På bordet er der en håndfuld hvide bønner; efter at jeg har søgt lidt, finder jeg, at en af sækkene kun indeholder hvide bønner. Jeg slutter mig straks til, at det er en mulighed eller et rimeligt gæt, at denne håndfuld blev taget fra den sæk. En slutning af denne slags kalder man at *danne en hypotese*. Det vil sige, at man slutter sig til et *enkelttilfælde* ud fra en *regel* og et *resultat*."[10]

Altså[11]:

Regel: Alle bønner fra denne sæk er hvide
Resultat: Disse bønner er hvide

Tilfælde: Disse bønner er fra denne sæk.

Peirce giver et par eksempler mere:

> "Jeg gik en gang i land i en havn i en tyrkisk provins; og da jeg gik op til det hus, jeg skulle besøge, mødte jeg en mand til hest, omgivet af fire ryttere, der holdt en baldakin over hans hoved. Da guvernøren

[10]Peirce, 1878. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.153
[11]Peirce, 1878. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.154

for provinsen var den eneste personage, jeg kunne komme i tanke om, som ville blive så højt æret, sluttede jeg mig til, at det var ham. Det var en hypotese.
Man finder nogle fossiler; lad os sige, at de ligner fossiler af fisk, men bliver fundet langt inde i landet. For at forklare dette fænomen antager vi, at havet engang dækkede dette land. Dette er en anden hypotese. Utallige dokumenter og monumenter refererer til en erobrer ved navn Napoleon Bonaparte. Skønt vi ikke har set manden, kan vi ikke forklare det, vi har set, nemlig alle disse dokumenter og monumenter, medmindre vi antager, at han virkelig eksisterede. Dette er også en hypotese."[12]

Som det antydes i eksemplerne er abduktionen en virkelig grundlæggende slutningsform. Abduktionen er imidlertid mere generel end de ovenstående eksempler antyder: Som illustreret med figur 1 omfatter abduktionen også de helt grundlæggende kategoriseringer som vi foretager — de såkaldte *perceptuelle domme.* Disse ser Peirce altså som særtilfælde af abduktion:

"[..] abduktiv inferens glider over i en perceptuel dom uden nogen skarp demarkationslinje imellem dem; eller med andre ord skal vores første præmisser, de perceptuelle domme, betragtes som et ekstremt tilfælde af abduktive slutninger, som de adskiller sig fra ved at være hævet over enhver kritik. Det abduktive forslag kommer til os som et lynglimt. Det er et tilfælde af *indsigt*, om end en yderst fejlbarlig indsigt. Det er sandt, at vi havde de forskellige elementer i hypotesen i tankerne før da ; men det er ideen om at sætte noget sammen, som vi aldrig havde drømt om at sætte samme, der i et glimt viser os det nye forslag, som vi kan overveje."[13]

I citatet siges, at det abduktive forslag kommer til os som en (fejlbarlig) *indsigt.* De tidligere nævnte eksempler er udmærkede til at illustrere at abduktionen kan være fejlbarlig. Den perceptuelle dom er imidlertid hævet over enhver tvivl for personen der udfører dommen: Vi betvivler ikke at vi ser de ting vi ser. Selv i tilfældet med antilopen og fuglen (figur 1) er vi ikke i tvivl om at vi ser det rigtige — vi kan ikke se dem samtidig. Figur 1 er derfor et godt eksempel på, at vores kategoriseringsevne faktisk er fejlbarlig. Peirce fortsætter:

"Den perceptuelle dom er på sin side resultatet af en proces, skønt af en proces, der ikke er tilstrækkeligt bevidst til at kunne kontrolleres, eller, for at udtrykke det mere korrekt, som ikke er kontrollerbar og derfor ikke fuldt bevidst. Hvis vi underkastede denne underbevidste

[12]Peirce, 1878. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.155
[13]Peirce, 1903. Fra Dinesen & Stjernfelt 1994, s.164

> proces en logisk analyse, ville vi finde, at den sluttede i, hvad analysen ville repræsentere som en abduktiv slutning, der hviler på resultatet af en lignende proces, som en lignende logisk analyse ville repræsentere som afsluttet i en lignende abduktiv slutning, og så videre *ad infinitum*. Denne analyse ville svare nøjagtigt til den, som sofismen om Achilleus og Skildpadden foretager af Achilleus' forsøg på at indhente skildpadden, og af samme grund ville det ikke lykkes for den at repræsentere den virkelige proces. Nemlig at ligesom Achilleus ikke behøver at fortage en serie adskilte bevægelser, sådan som han bliver repræsenteret i dette paradoks, så behøver den proces at foretage en perceptuel dom ikke at foregå som en række af adskilte slutninger — fordi processen er underbevidst og dermed ikke tilgængelig for logisk kritik — men handlingen udføres i ét kontinuert forløb."[14]

Den sidste del af citatet kan godt tåle uddybelse. Lad os prøve at fortage en sådan hypotetisk "logisk analyse" af en perceptuel dom:

> *Man ser foran sig en bunke grene der sidder sammen på mystisk vis. Hvis det man så foran sig var et træ, så ville den mystiske sammensætning af grene give mening. Man slutter, at det er et træ.*

Men hvordan ved vi at der er tale om grene? Det ved vi for eksempel fordi der er blade på. Men hvordan ved vi at der er tale om blade? Fordi de sidder på en gren? Det bliver hurtigt til en diskussion af hønen og ægget. Det er forkert at tro, at der er tale om en række adskilte slutninger eksempelvis farve, blad, gren, træ. Den perceptuelle dom er derfor, ifølge Peirce, ikke analyserbar — man må blot konstatere, at det menneskelige erkendelsesapparat er i stand til at udføre sådanne domme, uden at vi er den mindste smule i tvivl om rigtigheden af dem (selvom der nogen gange er grund til at være det). Det samme gælder for abduktioner, blot med den forskel at vi godt kan være usikre med hensyn til rigtigheden af disse.

Akilleus og Skildpadden

For at give endnu et eksempel på umuligheden af at analysere den perceptuelle dom, vil vi referere en historie skrevet af Lewis Carroll, der blandt andet har skrevet, "Alice i Eventyrland" — en samtale mellem Akilleus og Skildpadden[15]. Af pladsmæssige årsager, kan vi ikke gengive hele historien, men blot skitsere handlingen (den kunstneriske værdi er derfor faldet gevaldigt). Hvorom alt er: Akilleus har lige indhentet skildpadden og sidder placeret på dens ryg. Skildpadden spørger Akilleus, om han har lyst til at høre om en løbebane, som de fleste tror de kan klare på få trin, men som i virkeligheden består af et uendeligt antal afstande. Akilleus indvilliger, og lover at

[14]Peirce, 1903. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.165
[15]Carroll, 1895

tage notater i sin notesbog. Skildpadden skitserer nedenstående følgeslutning (Euklids først læresætning):

- (A) Hvis to ting er ligedannede med en tredje, er de indbyrdes ligedannede.
- (B) De to sider i denne trekant er lig med den samme side.
- (Z) De to sider i denne trekant er lig hinanden.

Akilleus er enig i slutningen. Skilpadden siger: "Jeg vil nu bede dem om [..] at tvinge mig med logikkens midler til at acceptere, at Z er sand.".
For at få Skildpadden til at acceptere slutningen, prøver Akilleus at indføre en "ekstra" slutning — et bevis for beviset:

- (C) Når A og B er sande, må Z være sand.

Skildpadden accepterer C, men nægter fortsat at acceptere sandheden af Z. Akilleus forsøger derfor med endnu en følgeslutning:

- (D) Hvis A og B og C er sande, må Z være sand.

Men lige meget nytter det — Skildpadden vil hele tiden have et nyt bevis for at det tidligere bevis var gyldigt. Ethvert bevis står overfor et krav om at gyldigheden af det skal kunne bevises, men bevisernes beviser står overfor det samme krav, som det bevis de beviser — nemlig at de skal kunne bevises. Akilleus kan derfor notere nok så meget i sin notesbog uden at komme et skridt videre.
Historien viser, at det ikke nytter at forestille sig, at man kan analysere alting. Visse grundlæggende regler/fænomener må man tage for givet — og Peirce mener altså, at de perceptuelle domme er et eksempel på et sådant grundniveau. Som vi skal se senere i rapporten er det faktisk muligt at sige noget fornuftigt om på hvilket grundlag de perceptuelle domme dannes, så vi er ikke helt enige med Peirce i at grænsen for analyse går ved de perceptuelle domme. Vi er imidlertid helt med på, at der må være nogle grundregler, som vi går ud fra, og som det altså ikke nytter noget at prøve at analysere.
Peirces påstand er altså, at vi ikke kan analysere os til, hvordan en given hypotese opstår. Karl Popper har, på et langt senere tidspunkt, givet udtryk for et lignende synspunkt:

> "Det forekommer mig, at den indledende fase, undfangelse eller opfindelsen af en teori, hverken kræver en logisk analyse eller kan gøres til genstand herfor. Spørgsmålet om, hvordan en ny teori opstår hos et menneske — det være sig et musikalsk tema, en dramatisk konflikt eller en videnskabelig teori — kan være af stor interesse for den

> empiriske psykologi; men det er irrelevant for den logiske analyse af videnskabelig viden. [..] Jeg skal derfor skelne skarpt mellem, hvorledes en ny ide undfanges, og metoder og resultater til en logisk undersøgelse af den. [..] der findes ikke nogen logisk metode til at få nye ideer og ingen logisk rekonstruktion af denne proces."[16]

Peirce ville være enig i, at der ikke findes nogen *logisk* metode til at få nye idéer. Han ville også være enig i, at hypotesedannelsen er en psykologisk betinget proces, der ikke kan underlægges logisk analyse — men ikke i, at man ikke bør beskæftige sig med det at få gode idéer[17].
Inden vi går videre, vil vi give et eksempel på en abduktion i den videnskabelige udvikling. Et af de mest berømte eksempler er Kekulés redegørelse for, hvordan han fik idéen til kulstofatomernes placering i benzenmolekylet (ringformet). Denne er gengivet i Naturvidenskabernes Teori:

> "En aften, da han sad og blundede foran ilden, så han for sig pludselig kulstofatomer danse i "lange rækker, nogle gange tættere sammenbundet, bugtende og drejende sig i slangeformede bevægelser". "Men se!" fortsætter Kekulé sin beretning, "Hvad var det? En af slangerne havde fået fat i sin egen hale og strukturen hvirvlede spottende rundt foran mine øjne. Som ved et glimt af lynet vågnede jeg: Og også denne gang tilbragte jeg resten af natten med at udarbejde konsekvenserne af min hypotese"."[18]

Opsamling

I dette afsnit har vi set på de tre fundamentale slutningsformer som Peirce opererer med i sin videnskabsteori. Peirce sætter fokus på *abduktionen*, det vil sige *hypotesedannelsen*, men han underkender (selvfølgelig) ikke betydningen af de to andre slutningsformer — deduktion og induktion.
Perceptuelle domme karakteriseres som en særlig form for abduktion, men de adskiller sig fra hypotesedannelse ved at være hævet over enhver kritik (hvilket ikke skal forstås sådan, at man ikke kan tage fejl).

[16]Popper, 1959. Fra Kragh & Pedersen 1991, s.168
[17]For eksempel gjorde Peirce brug af hvad han kaldte Grublespillet, eller "the Play of Musement", hvori Grubleren benytter sit instinkt for hypotesedannelse til at gætte på et tegns mening (Brent, 1993, kap. 6)
[18]Fra Kragh & Pedersen 1991, s.169

2 Peirces fænomenologi og semiotik

2.1 Peirces fænomenologi

Fænomenologien er læren om fænomenerne som de fremstår for os, det vil sige som vi oplever dem gennem vore sanser. Peirce kalder selv sin fænomenologi for faneroskopi (fra græsk *faneros*: "åbenbar", "tydelig")[19]. Et faneron er altså et fænomen som vi forstår det, men ikke nødvendigvis som det er i sig selv, uafhængigt af vores opfattelse af det. Peirce giver selv følgende beskrivelse af faneroskopien:

> "Det, jeg kalder *faneroskopi*, er den forskningsgren, som karakteriserer forskellige, meget brede klasser af faneroner — idet den støtter sig til en direkte iagttagelse af faneroner og generaliserer ud fra sine iagttagelser; beskriver hver klasses distinktive træk; viser, at skønt klasserne er så uløseligt blandet sammen, at ingen af dem kan ses isoleret, er det alligevel tydeligt, at deres egenskaber er helt forskellige; dernæst beviser, hævet over enhver tvivl, at en vis meget kort liste omfatter alle disse brede kategorier af eksisterende faneroner; og til sidst påtager sig den omstændelige og vanskelige opgave det er at opregne de vigtigste underafdelinger af disse kategorier.
> Ud fra det, der er blevet sagt, vil det være klart, at faneroskopi intet har at gøre med spørgsmålet om, i hvilken udstrækning de faneroner den undersøger, svarer til ydre realiteter. Den afholder sig omhyggeligt fra al spekulation over mulige forbindelser mellem dens kategorier og fysiologiske fakta af cerebral eller anden art. Den giver sig ikke af med, men undgår ihærdigt, hypotetiske forklaringer af nogen art. Den udforsker simpelthen det, der direkte viser sig [i sanserne], og stræber efter at kombinere minutiøs nøjagtighed med de bredest mulige generaliseringer."[20]

Faneroskopien bygger altså på induktive slutninger om forskellige klasser af fænomeners egenskaber. Den viser, ifølge Peirce, at klasserne ikke er uafhængige af hinanden selvom der er stor forskel på de forskellige klasser (eller kategorier) — og at "en vis meget kort liste omfatter alle disse brede kategorier af eksisterende faneroner". Denne liste omfatter tre kategorier, som han benævner "førstehed", "andethed" og "tredjehed".
Det er klart at denne inddeling af alverdens fænomener må være ekstremt generel; Peirce beskriver dem selv som:

> "[..] ideer der er så brede, at man kan betragte dem snarere som stemninger eller antydninger af tanker end som deciderede begreber, men

[19] Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.14
[20] Peirce, 1905. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.27-28

som alligevel har stor betydning. Betragtet som talord, der kan anvendes på hvilke som helst objekter, er de virkelig kun tynde skeletter af tanker, hvis ikke de blot og bart er ord."[21]

Terminologien (første, andet, tredje) er således ikke tilfældig: Kun talordene er så anonyme, at de kan fange tredelingens generalitet. Peirce skriver:

"[..] ét, to, tre er mere end blot tælleord som "ælle, bælle, mig fortælle" og rummer store om end vage ideer."[22]

Begrundelsen for de tre kategorier

Inden vi går i gang med at beskrive kategorierne, vil det være passende at redegøre for, hvorfor der netop er *tre* kategorier og ikke to, ti eller femten. Peirce overvejer det selv:

"[..] jeg er tvunget til at indrømme, at jeg har en særlig tilbøjelighed for tallet tre i filosofien. Faktisk gør jeg så meget brug af trefoldige inddelinger i mine spekulationer, at det forekommer mig bedst at begynde med at foretage en kort indledende undersøgelse af den forestilling, som alle den slags inddelinger må hvile på."[23]

Vi har allerede én gang stiftet bekendtskab med en af Peirces tredelinger, nemlig abduktion, deduktion og induktion. Grunden til at netop tredelingen har Peirces interesse er:

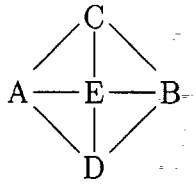
"[..] at mens det er umuligt at danne en genuin triade, hvordan man end modificerer en dyade, uden at indføre noget af en anden natur end enheden og parret, kan man danne fire, fem og ethvert højere tal ved blotte komplikationer af treheder."[24]

For at understøtte det foregående giver Peirce et eksempel på en tresidet relation: "A giver B en gave C". Denne relation kan ikke forstås ved hjælp af tosidede relationer (A-B, B-C, C-A):

"A kan berige B, B kan tage imod C, og A kan skille sig af med C, og alligevel behøver A ikke nødvendigvis give C til B."[25]

[21] Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.77-78
[22] Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.84
[23] Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.77
[24] Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.84
[25] Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.84

For at vise at en "firhed" kan opløses i en trehed giver han eksemplet "A sælger B til C for prisen D". Den firsidede relation kan vi illustrere således A-B-C-D. Denne kan vi forstå ved hjælp af to triader nemlig A-E-C (der sker "noget" (E) mellem A og C) og B-E-D (det "noget" (E) der sker mellem A og C er salget af B for prisen D). Efter således at have redegjort for Peirces



Figur 2: Opløsning af firesidet relation i to tresidede relationer

grunde til at inddele i treheder, vil vi beskrive de tre kategorier.

2.1.1 De tre kategorier

Meget overordnet kan man sige, at førstehederne er udtryk for noget *potentielt*, andethederne for noget *aktuelt* og tredjehederne for noget *generelt*. Mere uddybende kan det siges således:

> "Det første [førsteheden] er det, der simpelthen har sin væren i sig selv, som ikke refererer til noget eller ligger bag noget. Det andet er det, der er hvad, det er, i kraft af noget som det er sekundært i forhold til. Det tredje er det, der er hvad det er, i kraft af ting, som det formidler imellem og som det bringer i relation til hinanden."[26]

Nedenfor følger en mere udførlig gennemgang af de tre kategorier. Som det iøvrigt vil fremgå, er de tre videnskabelige slutningsformer som vi så på i afsnit 1 repræsentanter for hver sin kategori.

Førsteheden

Lad det være sagt straks: Det er umuligt at beskrive hvad førsteheden er, for førsteheden er en temmelig flygtig størrelse:

> "Ideen om det absolut første må adskilles fuldstændig fra enhver forestilling om eller reference til noget andet; for det, der involverer et andet, er selv et andet i forhold til det. Det første må derfor være nærværende og umiddelbart, således at det ikke er andet i forhold til en repræsentation. [..] Man kan ikke tænke på det på en artikuleret

[26] Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.78

måde: hvis man bekræfter det, har det allerede mistet sin karakteristiske uskyld; for bekræftelse indebærer altid benægtelse af noget andet. Hvis man stopper op for at tænke over det, er det fløjet væk! Hvad verden var for Adam, den dag han åbnede sine øjne for den, før han havde draget distinktioner eller var blevet bevidst om sin egen eksistens — det vil sige primær, nærværende, umiddelbar, frisk, ny, original, spontan, fri, levende, bevidst og flygtig. Husk blot, at enhver beskrivelse må gøre det uret."[27]

Det er altså ikke muligt for os at beskrive det absolut første, men det betyder ikke, at førsteheder ikke er en diskussion værd — førsteheden er nemlig forudsætningen for andet- og tredjeheden. Man må blot gøre sig klart, at en diskussion af førsteheden (uden at inddrage andet- og tredjeheden) altid vil ramme ved siden af. Den er det umiddelbare, det potentielle (i betydningen *forudsætningen*). Den bliver af Peirce forsøgt beskrevet som en ren følelse, der f.eks kan være en ren lyd man hører i så lang tid, at den er den eneste følelse der er i sindet.
Førsteheden er en kvalitet uden eksistens i sig selv. Der findes ikke førsteheder, der består af flere elementer — for de ville i så fald rumme relationer. En førstehed kan derfor heller ikke rumme en negation. For at vi kan forstå relationer, må vi tage stilling til *hvilken bestemt repræsentation* førsteheden besidder, og den ville dermed ikke kun være *potentiel*, men *aktuel*.

Abduktion har vi beskrevet som et, mere eller mindre, kvalificeret gæt. Abduktionen kan betragtes som forudsætningen for at det giver mening at tale om videnskab — thi uden hypoteser ville der ikke være nogen regler deduktionerne kunne bygge på, og derfor heller ikke noget grundlag for at foretage induktion. Desuden er sandheden af abduktionen kun en *mulighed*; det er muligt at bønnerne i sækken er hvide, men abduktionen giver ingen sandhedsgaranti. Af de nævnte grunde kan vi betragte slutningsformen abduktion som et udtryk for førstehed.

Andetheden

Andetheden er den aktuelle relation mellem førsteheder. Peirce giver følgende beskrivelse af forholdet mellem første- og andethed:

> "Ideen om det første er så skrøbelig, at man ikke kan røre den uden at ødelægge den; men ideen om det andet er eminent hård og håndgribelig. Den er også meget velkendt; den bliver dagligt påtvunget os; den er den vigtigste lære i livet. I ungdommen er verden frisk, og vi synes at være frie; men erfaringens belæring består i begrænsning, konflikt, tvang og andethed i almindelighed. Med hvilken førstehed

[27] Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.78-79

Drager den sejlklædte ud fra sin hjemlige bugt;

med hvilken andethed

Vender hun tilbage, Med hærgede spanter og lasede sejl."[28]

Andetheden er noget aktuelt, en erfaring, en begivenhed, en modstand, en skelnen, en realitet. Andetheden er fornemmelsen af at virkeligheden rammer os:

> "A court may issue *injunctions* and *judgements* against me and I not care a snap of my fingers for them. I may think them idle vapour. But when I feel the sheriff's hand on my shoulder, I shall begin to have a sense of actuality. Actuality is something *brute* There is no reason in it. I instance putting your shoulder against a door and trying to force it open against an unseen, silent, and unknown resistance. We have a two-sided consciousness of effort and resistance, which seems to me to come tolerably near to a pure sense af actuality. On the whole, I think we have here a mode of being of one thing which consists in how a second object is. I call that secondness."[29]

Peirce beskriver her forskellen mellem noget potentielt og noget aktuelt, ved forskellen mellem at få et tilhold eller en dom af retten og den brutale følelse af aktualitet, når man føler sheriffens hånd på skulderen.
Peirce understreger i citatet, at der ingen *ræsonneren* er i aktualiteten (konsekvensen); den foregår mekanisk og øjeblikkeligt. I eksemplet med åbning af den lukkede dør, er det fornemmelsen af både anstrengelse og modstand samtidig, der er andetheden. Peirce mener, at man ikke kan have en fornemmelse af anstrengelse uden også at fornemme modstand, og omvendt. Der findes kun de to måder at beskrive den samtidige følelse på; det er en en dobbelt følelse eller konstatering.

Hvis vi igen tænker tilbage til de videnskabelige slutningsformer, ser vi, at når man laver deduktion, efterprøver man en regel, der allerede antages at gælde. Det bliver en mekanisk test af reglen uden nogen videre ræsonneren over hvad den indeholder. Man ved at alle bønnerne fra sækken er hvide og at bønnerne er fra sækken, så man kan helt mekanisk slutte sig til at bønnerne er hvide. Derfor udtrykker deduktionen andethed.

Tredjeheden

Tredjeheden er det generelle, det vil sige vanen eller lovmæssigheden. Peirce beskriver den således:

[28]Peirce, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.80. Verset er fra Shakespeares "Købmanden i Venedig". Vores fremhævelse.

[29]Peirce, 1903. Fra Buchler, 1955, s.75-76

> "A rule to which future events have a tendency to conform is ipso facto an important thing, an important element in the happening of those events. This mode of being which *consists*, mind my word if you please, the mode of being which *consists* in the fact that future facts of secondness will take on a determinate general character, I call a Thirdness."[30]

Forudsigelighed er således et vigtigt asekt af tredijehedens princip. Som følge heraf, er tredjeheden også det, der "bygger bro" mellem første- og andetheden; dette sidste er ikke umiddelbart indlysende, men et eksempel på denne sammenhæng kommer ganske klart til udtryk i det følgende citat:

> "[Førsteheden og andetheden] sætter os i stand til at foretage en grov beskrivelse af de kendsgerninger, der foreligger for erfaringen, og de stiller bevidstheden tilfreds i meget lang tid. Men til sidst findes de utilstrækkelige, og det tredje er det begreb, der så er brug for. [..] Oldtidens mekanik betragtede kræfter som årsager, der havde den umiddelbare virkning at frembringe bevægelse, idet den ikke så længere end den essentielt tosidede forbindelse af årsag og virkning. Det var derfor, den ikke kunne komme nogen vegne med dynamikken. Galileis og hans efterfølgeres værk gik ud på at vise, at kræfter er accelerationer, der gradvist frembringer [en] bestemt tilstand af hastighed. Ordene "årsag" og "virkning" bliver stadig hængende, men mekanikkens filosofi har droppet de gamle forestillinger; for det faktum, vi nu kender, er, at i visse relative positioner gennemgår legemer visse accelerationer. Nu er en acceleration, i stedet for ligesom en hastighed at være en relation mellem to succesive positioner, en relation mellem tre; således at den nye doktrin har bestået i, at den — meget passende — har introduceret forestillingen om trehed. Hele den moderne fysik er bygget på denne idé."[31]

Kort sagt: givet et legemes relative position i forhold til andre legemer (en førstehed), kan vi beregne dets acceleration, som *foreskriver* ændringen af dets hastighed (en andethed). Accelerationen er altså en tredjehed, idet den foreskriver hastighedens udvikling — og er samtidig det formidlende bånd mellem førsteheden og andetheden. Peirce giver en række yderligere eksempler:

> "Begyndelsen er det første, slutningen det sidste [andethed], midten er det tredje. Målet er et andet, midlet er et tredje. Livstråden er et tredje; skæbnen, som klipper den over, er et andet. En vejgaffel er et tredje, den forudsætter tre veje; en lige vej, blot betragtet som en

[30] Peirce, 1903. Fra Buchler, 1955, s.76-77
[31] Perice, ca. 1890. Fra Dinesen & Stjernfelt 1994, s.80-81

> forbindelse mellem to steder, er et andet, men for så vidt som den indebærer, at man passerer gennem mellemliggende steder, er den et tredje. Position er det første, hastighed eller relationen mellem to succesive positioner er det andet, accelerationen eller relationen mellem tre successive positioner er det tredje. Men for så vidt som hastighed er kontinuert, indebærer den også et tredje. Kontinuitet repræsenterer Tredjehed næsten til fuldkommenhed. Enhver proces falder ind under dén rubrik. Moderation er en form for Tredjehed. Grundformen af et adjektiv er et første, superlativet et andet, komparativet et tredje. Al overdreven sprogbrug, "enestående", "fuldkommen", "mageløs", "gennemgribende", er et inventar i hjerner, der tænker i andetheder og glemmer tredjeheder. Handling er et andet, mens handlemåde er et tredje. Lov som aktiv kraft er et andet, men orden og lovgivning er et tredje. Medfølelse, kød og blod, det, hvormed jeg føler min næstes følelser, er et tredje."[32]

Som det fremgår af det ovenstående, kan tredjeheden ud over at være en lovmæssighed eller vane også beskrives som det, der medierer mellem første- og andetheden, eller som giver dem betydning.
Ved et induktivt ræsonnement, slutter man fra et specifikt tilfælde til en generel regel, eller lovmæssighed. *Hvis* slutningen er sand (hvad den jo ikke altid er), kan man ud fra reglen slutte sig til andre specifikke tilfælde.
Førsteheden er her det observerede tilfældes hypotetiske tilhørsforhold til den klasse, som reglen formodes at gælde for — det vil sige abduktion. Andetheden er de specifikke tilfælde som kan udledes fra reglen — det vil sige deduktion. Tredjeheden er dét som forbinder førstehed og andethed, nemlig erkendelsen af den generelle regel — hvilket vil sige den induktive slutning.
For nu at vende tilbage til de famøse bønner: Det vides, eller formodes, at bønnerne er fra en bestemt sæk, og det konstateres at de er hvide, hvoraf man induktivt slutter at sækken kun indeholder hvide bønner. Induktionen bygger bro mellem formodningen (førsteheden) og det faktuelle (observationen, andetheden); induktion er derfor et udtryk for tredjehed.

2.1.2 Newtons love set som udtryk for kategorierne

Som en slags opsummering på Peirces fænomenologi, vil vi forsøge at beskrive Newtons love ved hjælp af første-, andet-, og tredjeheder.
Newtons love danner som bekendt grundlag for den klassiske mekanik, og kan (ved deduktion) benyttes til at forudsige konkrete begivenheder. Det giver umiddelbart alle tre love status som tredjeheder. Men *det lovene beskriver* er forskelligt, og kan bruges til at eksemplificere de tre kategorier.

[32]Peirce, årstal ukendt. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.63-64

3. LOV: "Aktion er lig reaktion". Loven beskriver en andethed, da der i det fænomen, som loven udtaler sig om, mindst indgår to objekter: Ét der "udfører" aktionen, og ét der "udfører" reaktionen.
Meget forkælede mennesker kunne hævde, at det er en uretfærdig lov, for den betyder, at man ikke bare kan gå rundt og slå løs på omverdenen — omverdenen slår nemlig præcist lige så hårdt igen. Den øjeblikkelige modstand, som det andet mønstrer, som følge af det førstes indledende provokation, er andetheden i en nøddeskal.

2. LOV: "Summen af kræfter er lig masse gange acceleration". Denne lov beskriver en lovmæssighed mellem ydre påvirkninger og et objekts reaktion på dem. Hvis man kender alle de kræfter, der påvirker objektet (andetheden), kan man opstille bevægelsesligningerne for objektet. Hvis man omvendt kender bevægelsesligningerne, kan man beskrive den resulterende kraft. Newtons anden lov beskriver således naturens "vaner", og udtrykker således et godt eksempel på tredjehed. Kigger man nærmere på lovens beskaffenhed, finder man andetheden i den inerti, massen repræsenterer.

1. LOV: "En partikel, der ikke er påvirket af kræfter, vil være i en uforandret mekanisk tilstand". Nu venter læseren sikkert spændt på at vi skal karakterisere førsteheden ud fra Newtons 1. lov — men som vi også redegjorde for i beskrivelsen i afsnit 2.1.1, er denne en temmelig flygtig størrelse. Det er umuligt at tale om absolutte førsteheder, og den regel må selv Newtons 1. lov bøje sig for. Alligevel kan vi forstå noget om både første-, andet- og tredjeheder ved at betragte loven:
Partiklens tilstand er en førstehed — dvs. den kvalitet vi kan kalde "upåvirkethed".
Manglen på "forholden sig til den virkelige verden" i loven er en førstehed — tanken om en partikel, der befinder sig i en upåvirket mekanisk tilstand, er et uopnåeligt ideal, da der er adskillige partikler i universet og tyngdekraftens rækkevidde er uendelig. Disse andre partikler vil derfor påvirke partiklen. Den kvalitet som førsteheden fra denne betragtning udgør kan vi passende kalde "urealistiskhed".
Partiklens aktualitet er en andethed — den adskiller sig fra det rum (andet) den befinder sig i.
Partiklens position (uden fixpunkt) er en førstehed — position som noget der potentielt giver mening (når der er et fixpunkt).
Partiklens position (med fixpunkt) eller en eventuel relativ bevægelse er en andethed — position som en aktuel placering et sted i rummet fremfor et andet i kraft af inertialsystemet eller den relative bevægelse.
Formuleringen af loven med henblik på brug er en tredjehed — den tillader os at forudsige hvordan partikler bevæger sig.

2.2 Peirces semiotik

Som det fremgik af det sidste eksempel, kommer kategorierne til udtryk på mange forskellige niveauer, selv i en lov der forekommer os temmelig simpel (som 1. lov). Det skyldes at vi tænker i *tegn*, der er indbyrdes forbundne, og hvert tegn har sine første-, andet- og tredjeheder. I dette afsnit gennemgås nogle hovedtræk af Peirces semiotik — det vil sige tegnlære.

Et tegn består, ifølge Peirce, af tre dele som han kalder *repræsentamenet*, *objektet* og *interpretanten*. Disse dele er udtryk for henholdsvis første-, andet- og tredjehed. Peice definerer de tre dele af tegnet og relationerne mellem dem således:

> "Et *Tegn*, eller *Repræsentamen*, er et Første, der står i en ægte triadisk relation til et Andet, der kaldes dets *objekt*, og derved er i stand til at udvirke, at et Tredie, der kaldes dets *Interpretant*, indtager den samme triadiske relation til dets objekt, som tegnet selv står i til det samme objekt."[33]

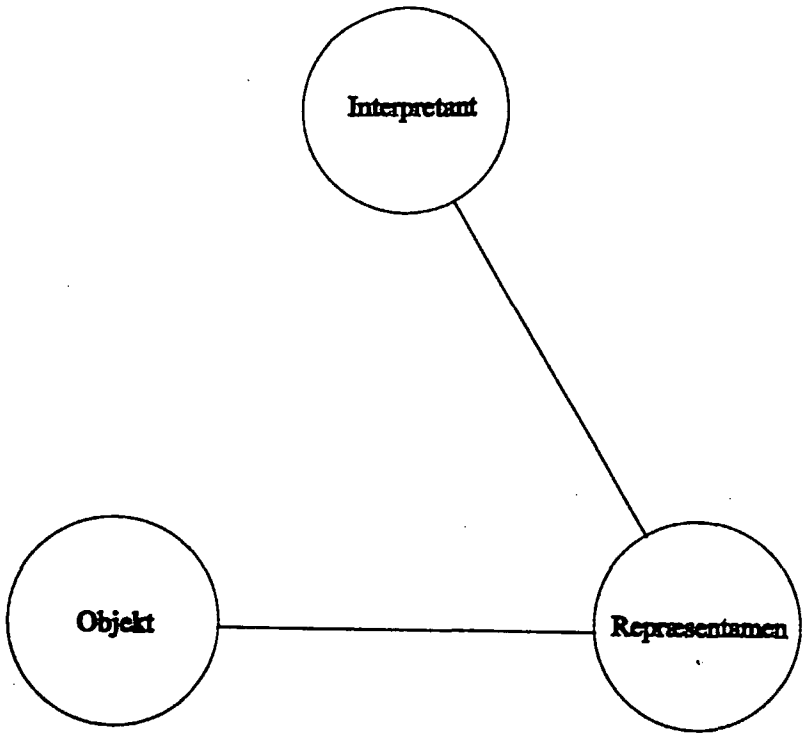
Vi har altså et første, der står i relation til et andet, samt et tredje der forstår det andet gennem det første, som skitseret på figur 3. Eller: Repræsentamenet er det, der repræsenterer Objektet for Interpretanten (fortolkeren). Interpretanten behøver ikke nødvendigvis være et menneske — tegnprocesser finder også sted i naturen. Som eksempel kan vi give tegnet "en bog".

> **Eksempel.** I en bog er det skrift, der er potentialet (førsteheden) for tolkningen af den. Skriften svarer derfor til repræsentamenet. Skriften i bogen henviser til et objekt (andethed), det kan for eksempel være en begivenhed (hvis det er en historiebog) eller en tanke (hvis det er en filosofibog). Når vi læser bogen svarer vores fortolkning til tredjeheden i tegnrelationen (interpretanten).

Af definitionen af tegnet fremgår det, at interpretanten kun "ser" objektet gennem repræsentamenet — interpretanten bliver derfor nødt til at indtage den samme relation til objektet som repræsentamenet har.
Andetsteds giver Peirce denne alternative definition:

> "Et tegn står *for* noget *i forhold* til den idé, som det frembringer eller modificerer. Eller det er et udtryksmiddel, der formidler noget til bevidstheden udefra. Det, tegnet står for, kaldes dets *objekt*; det, som det formidler, dets *mening*; og den idé, det giver anledning til, dets *interpretant*. Objektet for repræsentationen kan ikke være andet end en repræsentation, der først bliver repræsenteret i interpretanten.

[33] Peirce, årstal ukendt. Fra Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.116



Figur 3: Tegnet består af tre dele. Et repræsentamen, der repræsenterer et objekt for en interpretant.

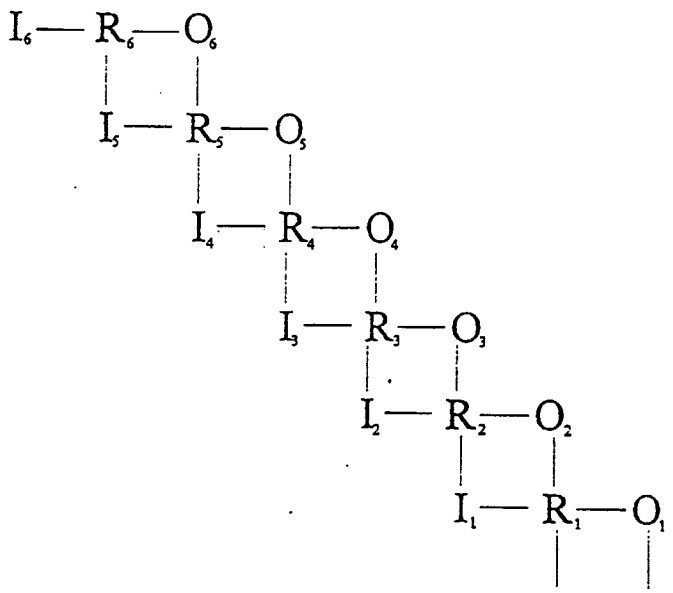
> Men en endeløs serie af repræsentationer, der hver repræsenterer den forudgående repræsentation."[34]

Tegn hænger altså, som det fremgår i dette citat, sammen i kæder. Den fortolkning af objektet, der foregår i interpretanten, danner et nyt tegn. Eller rettere, interpretantens fortolkning bliver repræsentamen i et tegn, der er et skridt længere oppe i tegnkæden. Dette er søgt illustreret på figur 4. Lad os som eksempel på en tegnkæde kigge på et fysikforsøg:

> **Eksempel.** Det fysikeren vil studere er et fænomen i naturen. Dette fænomen er undersøgelsens primære objekt (O_1). Måleapparatet reagerer på et signal, eller repræsentamen (R_1). Det kan være en spændingsforskel eller lignende. Den første interpretant er derfor måleapparatet (I_1).
> Måleapparaturet danner et nyt tegn (f.eks ved angivelse af størrelsen af spændingsforskellen i displayet). Disse måledata, der altså er repræsentamen i det nye tegn (R_2), refererer til repræsentamenet i det gamle tegn (R_1). Repræsentamenet i det gamle tegn bliver således objekt i det nye tegn.

[34]Peirce, Dinesen & Stjernfelt, 1994, s.64

Fysikeren der fortolker skriften på displayet er interpretanten i det nye tegn (I_2), og han forstår at der har været en spændingsforskel (O_2). Han skriver måske sin fortolkning af forsøget ned på et papir og derved dannes et nyt tegn. Dette tegn (R_3) bliver stillet til rådighed for andre fysikere (I_3), der har mulighed for at fortolke det nye (dynamiske) objekt (tallene på displayet) (O_3) anderledes end den fysiker, der udførte forsøget. Disse fysikere kan eventuelt skrive artikler, som en studerende læser og danner en ny fortolkning af de omfortolkede forsøgsresultater.



Figur 4: Tegnkæde. Interpretanten (I) danner et repræsentamen (R) i et nyt tegn. Objektet (O) i det nye tegn er repræsentamenet i det gamle. Det første tegn i kæden bygger også på et tegn, men det kan vi med reference til Akilleus og Skildpadden se bort fra.

Eksemplet viser, at der er en uendelig kæde af fortolkning og dannelse af tegn, og der er mange flere tegn involveret end just beskrevet. Det er selvfølgelig ikke helt nye tegn der dannes, for de nye tegn *hænger sammen med de foregående*, men kan altså ses som adskilte tegn. Forbindelsen til de foregående tegn går via objektet, der, når man taler om tegnkæder, derfor kaldes *dynamisk*.
Et andet godt eksempel på, hvordan tegn danner nye tegn, er tegnet "et teaterstykke":

Eksempel. Forfatteren har skabt et tegn (et stykke). Han har altså været interpretant (I_1) længere nede i tegnkæden. Instruktøren (I_2)

læser stykket (R_2), og instruerer skuespillerne. Det han siger til skuespillerne er således et tegn (R_3), som skuespillerne fortolker og danner et nyt tegn af til premieren. Publikum fortæller deres venner og bekendte om forestillingen og så videre.

Lad os opsummere:

Repræsentamenet er det tegn, som interpretanten ser for objektet. Det er tegnets fremtrædelsesform, men fremtrædelsesformen tager ikke hensyn til hvad objektet er eller hvilken betydning det har. Repræsentamenets funktion er således udelukkende referentiel. I selve tegnrelationen står det for førsteheden.

Objektet er dét, som repræsentamenet repræsenterer i tegnrelationen. Objektet er ikke nødvendigvis noget fysisk eksisterende, det kan ligeså godt være en tanke eller en idé. Peirce skelner mellem det objekt der oprindeligt var for tegnrelationen og de objekter der opstår når et tegn bliver interpreteret. De objekter der opstår i udviklingen af tegnrelationen kalder han "dynamiske objekter" og de viser alle tilbage til det oprindelige objekt. Objektet er andetheden i tegnrelationen.

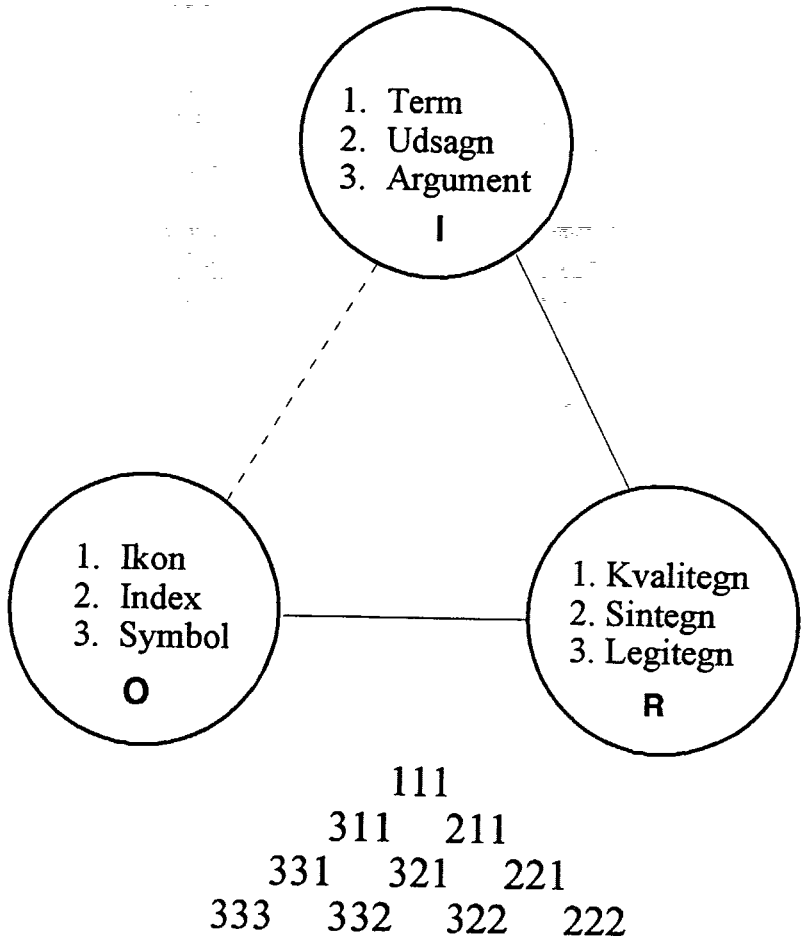
Interpretanten er dét, der fortolker det tegn, der fremkommer (repræsentamenet), og samtidig skaber et nyt tegn. Interpretanten behøver ikke at være en person, men kan også være alt muligt andet. Det vigtige ved interpretanten er, at det tegn, der bliver interpreteret, udvikler sig til et nyt tegn, i kraft af at det bliver interpreteret. Interpretanten er tredjeheden i tegnrelationen, eftersom det er dén der viderefører tegnrelationen, og dermed determinerer det nye objekt.

2.2.1 Kategorisering af tegnets dele

Ligesom tegnets dele kan beskrives ved første-, andet- og tredjeheder kan tegndelene beskrives ved hjælp af kategorierne.[35] Repræsentamenet, objektet og interpretanten kan altså hver især beskrives ved en tilstand der svarer til første-, andet-, eller tredjehed. Da repræsentamenet er forudsætningen for tegnet, er det klart, at et repræsentamen, der er repræsenteret ved sin førstehed, ikke kan give anledning til en interpretant eller et objekt, der er udtrykt ved sin andet- eller tredjehed.
Der er altså nogle "regler" for hvilke typer tegn der kan eksistere. Når vi derfor taler om objektets andethed, betyder det at repræsentamenet *mindst* er beskrevet ved sin andethed, mens interpretanten højst kan være beskrevet ved sin andethed. Dette vil vi komme tilbage til efter en gennemgang af de forskellige tegntyper.

[35]Dette afsnit bygger på Gall Jørgensen, 1993, s.28-32; Christiansen, 1988, s. 25-33; Dinesen og Stjernfelt, 1994, s.98-104

Vi vil nu gennemgå de tegntyper der svarer til førsteheden, andetheden og tredjeheden i de tre dele af tegnet. Peirce kalder repræsentamenets tegntyper



Figur 5: Går vi ud fra den ovenstående tegnrelation, er der 10 forskellige tegntyper. Det første ciffer i hvert tal markerer repræsentamenets tilstand, det andet markerer objektets, og det tredje interpretantens

henholdsvis *kvalitegn*, *sintegn* og *legitegn* og beskriver dem således:

1. Et kvalitegn (førstehed) er, som navnet siget, en kvalitet der i sig selv er et tegn.

2. Et sintegn (andethed) er i sig selv noget reelt eksisterende, en genstand eller en hændelse. "Reel eksistens" kan imidlertid kun forstås udfra kvaliteter, derfor må et sintegn indebære et eller flere kvalitegn.

3. Et legitegn (tredjehed) er en generel regel eller lov, som selv er et tegn; et sådan tegn kan ikke i selv være en konkret genstand eller hændelse, men legitegnet får sin betydning i kraft af de enkelttilfælde hvor det kommer til udtryk. Disse enkelttilfælde er sintegn (jvf. definitionen ovenfor), så der gælder altså at legitegnet indebærer et eller flere sintegn.

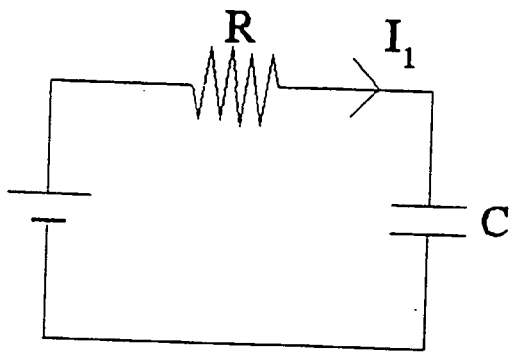
Peirce kalder objektets tegntyper henholdsvis *ikon*, *index* og *symbol* og beskriver dem således:

1. Et ikon (førstehed) er et tegn, der *ligner* objektet, det skal repræsentere. Det udtrykker den umidddelbare kvalitet objektet har. Det refererer til objektet i kraft af nogle egenskaber som ikonet har, uafhængigt af objektet. Det kan f.eks være billeder eller diagrammer.

2. Et index (andethed) er et tegn, der hentyder til objektet enten direkte eller ved en form for mekanisk association. Det objekt, som ikonet har udtrykt nogle simple kvaliteter ved, er nu et konkret objekt.

3. Et symbol (tredjehed) er et tegn, der henviser til objektet i kraft af en vane eller lovmæssighed. Det giver ingen mening at tale om et symbol uden en interpretant, da det er denne der determinerer vanen/lovmæssigheden.

På figur 6 ses de forskellige former objektet kan have, eksemplificeret ved et elektrisk kredsløb. Der findes ikoner, index og symboler i diagrammet. Hvis



Figur 6: Et elektrisk kredsløb kan beskrives ved hjælp af objektets tilstande

man starter med "ledningen" angiver stregen et potentiale for en strøm ved lighed med ledningen — ledningen er altså et ikon. Pilen, der angiver retningen af strømmen, er et index, da den strøm, der uden pilen var potentiel, nu er en bestemt strøm. I_1, der angiver størrelsen (talværdi og måleenhed) er et symbol. De øvrige elementer i kredsløbet kan beskrives på samme måde. Kigger vi for eksempel på modstanden er "takkerne" et ikon; At R'et er placeret i nærheden af takkerne er det indexikale, og R'et er symbolet[36].
Interpretantens første-, andet- og tredjehed kaldes henholdsvis term, udsagn og argument.

[36]Efter Christiansen, 1995, s.2

1. En *term* (førsteheden) er et tegn, der er en kvalitativ mulighed for en interpretant. Det kan for eksempel være et ord der har mulighed for flere betydninger (f.eks: fyr), hvor det er nødvendigt at få flere informationer før man kan fastslå hvilken betydning ordet har.
   Videnskabelige begreber er som oftest om *termiske symbolske legitegn*, *termiske indexikale legitegn* og *termiske ikoniske legitegn*.

2. Et *udsagn* (andethed) er et tegn, der står for noget faktisk eksisterende for interpretanten. Udsagnet klargører hvordan interpretanten skal forstå termen ved at sætte den i den rette sammenhæng.

3. Et *argument* (tredjehed) er en meningsfuld sammenkædning af udsagn. Det står for en lovmæssighed/vane for interpretanten. En slutning kan forstås som argumenter, der rummer udsagn og termer.

Der er, som før omtalt, nogle udvælgelsesregler for hvordan de enkelte dele af tegnet afhænger af hinanden. Repræsentamenet (førstehed) sætter begrænsninger for hvilken tilstand objektet (andetheden) kan have, der igen sætter begrænsninger for interpretanten (tredjeheden). Man kan kun blive på samme niveau eller gå ned i niveau, når man går opad i tegnkæden. Et kvalitegn kan f.eks ikke give anledning til et symbol. Ser vi på et enkelt tegn kan det manifestere sig sm én af ti forskellige tegntyper, som angivet på figur 5.

Opsamling

Vi har i dette afsnit set på Peirces fænomenologi og semiotik. Vi har set, at Peirces inddeling i treheder er meget konsekvent. Som en huskeregel kan man groft sagt beskrive førsteheden som det potentielle eller som en kvalitet. Andetheden er det aktuelle og tredjeheden er det generelle. De tre kategorier, svarer til tegnets tre dele (repræsentamen, objekt og interpretant). Tegn hænger sammen i lange kæder, hvor interpretanten i det foregående tegn danner et nyt repræsentamen. Dette nye repræsentamens objekt er repræsentamenet i det gamle tegn. De tre dele der indgår i et tegn, kan hver især beskrives ved en første-, andet-, eller tredjehed. Repræsentamenets tilstand er bestemmende for objektets tilstand på den måde, at objektet ikke kan være i en "højere" tilstand end repræsentamenet. Tilsvarende er objektet bestemmende for interpretantens tilstand. Dette giver anledning til ti forskellige "tegntyper".

3 Grundlaget for Lakoffs metaforteori

Lakoff er professor i lingvistik ved University of California, Berkeley. Han har sammen med filosoffen Mark Johnson skrevet bogen "Metaphors we Live by" (1980) og sidenhen en lang række artikler og et par bøger. "Metaphors we live by" redegør for, hvordan metaforen indgår som en væsentlig komponent i vores forståelse af omverdenen. Dette er gjort ved at undersøge en lang række sproglige eksempler. I bogen "Women, Fire, and Dangerous Things" fra 1987 opridser Lakoff det erkendelsesteoretiske fundament for metaforteorien, samtidig med at han giver en lang række nye eksempler. Det bliver i det væsentlige sidstnævnte, vi kommer til at bruge i koblingen af Lakoffs og Peirces teori.

Lakoff opererer med to typer struktureringer der styrer vores erkendelsesapparat. Den første type er førsproglige, eller grundlæggende struktureringer, der danner grundlag for sproget, og som vi forstår vores omverden ved hjælp af. Denne struktureringsmekanisme kan, med Peirce i baghovedet, beskrives som en strukturering, der sætter os i stand til at foretage perceptuelle domme. Struktureringen angår altså den helt grundlæggende kategorisering og kaldes hhv. billedskemaer og grundkategorier.
Den anden type strukturering er den metaforiske. Den metaforiske strukturering ligner på sin vis billedskemaerne og grundkategorierne, men sætter os i stand til at forstå komplicerede begreber, ting eller fænomener ved hjælp af andre velkendte begreber, ting eller fænomener.
Det er altså disse grundlæggende typer struktureringer Lakoff arbejder med. Det skal ikke forstås sådan, at der er tale om struktureringer der benyttes uafhængigt af hinanden. Metaforisk strukturering gør brug af billedskemaer og grundkategorier, men er ikke i sig selv blot udtryk for sådanne. Vi vil komme tilbage til den metaforiske funktion i næste kapitel, men lad os først kigge på de førsproglige struktureringer.

3.1 Førsproglig struktureringer

Lakoff er lingvist, og som følge deraf er hans arbejdsområde sproget. Den centrale tese i Lakoffs teori er, at sproget er et udtryk for, hvordan vores erkendelsesapparat fungerer. I begyndelsen af "Women, Fire and Dangerous Things" skriver Lakoff om sin arbejdshypotese:

> "At this point I will adopt the working hypothesis that language does make use of general cognitive mechanisms — at least categorization mechanisms. Under this working hypothesis, we will use linguistic evidence to study the cognitive apparatus used in categorization. On the basis of all the available evidence, I will argue in chapter 9-17 that our

> working hypothesis is indeed correct and that as a result our understanding of both language and cognition in general must be changed considerably."[37]

Sproget kan, mener Lakoff altså, ses som et udtryk for hvordan erkendelsesapparatet fungerer. Lakoff mener, at det, der giver vores begreber mening, dels er billedskemaer og dels grundkategorier. I det følgende vil vi beskrive dette dobbelte fundament for begrebssystemet.

Billedskemaer

Lakoff, og i særdeleshed hans samarbejdspartner Mark Johnson, har i deres arbejde understreget hvordan det menneskelige erkendelsesapparat i vid udstrækning bygger på, hvad man kunne kalde kropslig erfaring. Denne kropslige erfaring ligger til grund for hvad Lakoff og Johnson kalder billedskemaer. Disse er at betragte som grundlæggende erfaringer, som vi benytter til at forstå vores omverden med. Hvis vi skal sammenligne med Peirces beskrivelse af de perceptuelle domme, så er billedskemaerne de "byggeklodser" der indgår i den (ubevidste) hypotese, der er involveret i kategoriseringen. Billedskemaerne kan således ses som et supplement til den forståelse af de perceptuelle domme vi har fra Peirce — men også en ændring, for som vi har set i sidste afsnit, mener Peirce ikke, at det kan betale sig at gætte på hvad det er for nogle mekanismer, der ligger bag vores perceptuelle domme. Billedskemaer er netop et sådant bud, og Lakoff går dermed et skridt længere ned i den menneskelige psyke end Peirce gør. Billedskemaerne er strukturer, der, med udgangspunkt i vores egen kropslighed, kan bruges til at forstå omverdenen. Det er vores indledende erfaringer med vores egne kroppe, der danner grundlaget for dannelsen af billedskemaerne. Det er vigtigt at bide mærke i, at billedskemaerne er en *struktur*, ligesom der imellem første-, andet-, og tredjehederne er en struktur. Billedskemaerne er udstyret med en vis indre logik, der altid er overholdt, på samme måde som et tredje ikke kan eksistere uden et første og et andet.
I det følgende beskrives de billedskemaer, som Lakoff skitserer i "Women Fire and Dangerous Things". Ved gennemgangen af hvert enkelt billedskema redegør vi for dets forbindelse til kroppen, den struktur det har og den grundlæggende logik, der er gældende for billedskemaet.[38]

Beholder skemaet

Dette skema er et af de mest centrale skemaer vi benytter til at strukturere vores omverden med. Vi vil gå lidt mere i dybden med dette skema, dels af pædagogiske årsager og dels fordi det er et meget centralt skema. Lakoff citerer Johnson:

[37] Lakoff, 1987, s.67
[38] Næste afsnit bygger på Lakoff, 1987, s.269-304

"The CONTAINER schema defines the most basic distinction between IN and OUT. We understand our own bodies as containers — perhaps the most basic thing we do are ingest and excret, take air into our lungs and breathe it out. But our understanding of our own bodies as containers seems small compared with all the daily experience we understand in CONTAINER terms:
Consider just a small fraction of the orientational feats you perform constantly in your daily activities — consider, for example, only a few of the many *in-out* orientations that might occur in the first few minutes of an ordinary day. You wake *out* of a deep sleep and peer *out* from under your covers *into* the room- You gradually emerge *out* of your stupor, pull yourself *out* from under the covers, climb *into* your robe, stretch *out* your limbs, and walk *in* a daze *out* of your bedroom and *into* the bathroom. You look *in* the mirror and see you face staring *out* at you. You reach *into* the medicine cabine, take *out* the toothpaste, squeeze *out* some toothpaste, put the toothbrush *into* your mouth, brush your teeth, you rinse *out* your mouth. At breakfast you perform a host of further *in-out* moves — pouring *out* the coffee, setting *out* the dishes, putting toast *in* the toaster, spreading *out* the jam on the toast, and on and on."[39]

Begreberne IND og UD er altså en del af BEHOLDER skemaet, og vi bruger, som eksemplet med al tydelighed viser, disse to begreber til at strukturere en lang række forskellige situationer.

- Kropslig erfaring (skemaets baggrund): Vi oplever vores kroppe både som beholdere, og som ting i beholdere (lokaler).
- Strukturelle elementer (de forskellige dele der udgør skemaet): Indre, ydre, grænse.
- Grundlæggende logik: En genstand befinder sig enten i eller udenfor beholderen. Hvis beholder A er i beholder B og X er i A, så er X i B.

Lakoff mener at kategorier forstås som beholdere. Et element er således i eller uden for en kategori. Da deduktionen er gældende i disse kategorier mener Lakoff, at deduktion kan forstås som en kobling af beholder skemaets logik og en metaforisk afbildning af beholdere over på kategorier. Vi vender senere tilbage til Lakoffs forståelse af kategorier.

Del-helhed skemaet

Del-helhed skemaet ligger ifølge Lakoff til grund for, at vi kan agere og bevæge os rundt i verden. Skemaet har betydning på dette niveau, fordi delene

[39]Lakoff, 1987, s.271

ofte har med objekters funktioner at gøre, delene bestemmer formen og vi interagerer med helhedernes dele. Derfor er det essentielt, at vi dels kan opfatte helheder som bestående af dele og samle dele til helheder.

- Kropslig erfaring: Vi oplever vores kroppe som helheder med dele, som vi kan manipulere.
- Strukturelle elementer: Helhed, dele, sammensætning.
- Grundlæggende logik: Den grundlæggende logik adskiller sig fra beholder-skemaet ved at være asymmetrisk: Hvis A er en del af B, er B ikke en del af A. Derudover er relationen irreflexiv, da A ikke er en del af A. En helhed kan ikke eksistere uden sine dele, men dele kan eksistere uden nødvendigvis at danne en helhed. Helhed opstår kun hvis en sammensætning af delene er i funktion.

Led skemaet

- Kropslig erfaring: Først og fremmest navlestrengen, og i tiden efter holder et barn fat i ting og mennesker for at sikre sin position.
- Strukturelle elementer: To bestanddele A og B, samt et led til at forbinde dem.
- Grundlæggende logik: Hvis A er sammenkædet med B, er B sammenkædet med A.

Kilde-vej-mål skemaet

- Kropslig erfaring: Når vi bevæger os, er der et sted, som vi starter fra, et sted, som vi ender i, en serie af positioner mellem disse, og en retning.
- Strukturelle elementer: Udgangspunkt, destination, vej, retning.
- Grundlæggende logik: Hvis man bevæger sig fra et udgangspunkt til destinationen langs en vej, må man undervejs passere gennem alle punkter på vejen, og jo længere man er på vejen, desto længere tid er der gået siden man var i udgangspunktet.

Center-periferi skemaet

- Kropslig erfaring: Vi oplever, at vores kroppe har centre (indre organer) og periferier (fingre, tæer, hår). Et centrum anses for vigtigere end periferien på to forskellige måder: Skader i centrum er alvorligere end skader på periferien og centrum definerer et individs personlighed stærkere end periferien.

- Strukturelle elementer: Entitet, centrum, periferi.
- Grundlæggende logik: Periferien er afhængig af centrum, men ikke omvendt.

Der findes mange andre af disse skemaer, eksempelvis op-ned skemaet, som vi dog ikke vil trætte læseren med.

3.2 Grundkategorier

Den anden del af Lakoffs teori, som vi vil beskrive er opdelingen i kategorier herunder især grundkagorier[40]. Lakoff mener, at der findes kategorihierakier og at man kan foretage deduktion nedad i hierakiet. Det specielle ved Lakoffs forståelse er, at han lægger vægt på et specielt niveau i kategorihierakiet. Et sådant hieraki er opbygget ved at egenskaberne går fra det generelle til det mere specielle, således at hvad der gælder på det mest generelle niveau, også gælder på det mest specifikke. Eksempelvis er pattedyr-rovdyr-hund-Fido et sådant kategorihieraki. For at placere et objekt i en kategori tager Lakoff udgangspunkt i, hvordan vi erkender disse kategorier. Her benytter han psykologen Elanor Roschs teorier om prototyper og grundkategorier. På baggrund af empiriske undersøgelser har Rosch vist, at vi anser visse elementer i en kategori for at være mere typiske medlemmer af kategorien end andre. Derfor må der indenfor kategorien være en struktur, der udmøntes i gode og dårlige eksempler på en kategori. Eksempelvis anses en rødkælk for at være et bedre eksempel på en fugl end en pingvin. Pointen i Roschs (og dermed Lakoffs) kategoriopfattelse er derfor, at kategoriseringen ikke kun er bestemt af elementernes fællesegenskaber, men at erkenderen er indvolveret. Dette giver anledning til et hieraki med tre niveauer: Overordnet (dyr, møbel), grundlæggende (hund, stol), underordnet (retriever, gyngestol).
Lakoff mener, at vi instinktivt kategoriserer udfra det grundlæggende niveau, derfor grundkategorier. Han argumenter for, at dette niveau er det grundlæggende, blandt andet ved følgende:

1. Perception: På dette niveau opfattes formen som et hele og danner et enkelt mentalt billede (man har ikke et billede af et møbel, men derimod af en stol). På dettè niveau identificerer vi hurtigst genstande.
2. Funktion: På grundkategoriniveau er vi bevidste om, hvordan vi fysisk skal håndtere objektet (hvordan man skal sætte sig i en stol, men hvordan gør man med et møbel?).
3. Kommunikation: Vi benytter elementer i denne kategori, når vi refererer. Objekterne har korte ord, og det er den kategori, som børn først kan benytte.

[40]Dette afsnit bygger på Lakoff, 1987, s.39-57

Som det fremgår, er Roschs teori om kategorisering ret forskellig fra den "matematiske" definition af hvad en kategori er, fordi et niveau fremstår som mere centralt end de andre (og det er ikke det mest generelle). Vi danner grundkategorier på baggrund af prototyper (bedste eksempler) og resten af kategorihierakiet dannes på baggrund af grundkategorier.
Den inddeling af verden i kategorier, der foregår i erkendelsen er således meget anderledes end den kategoriopfattelse, der benyttes i logikken. Det er fordi vi er i kontakt med vores omverden. Det er ikke tilfældige abstrakte symboler, som vi manøvrerer med i vores inddeling af verden. Det er ting og begreber, som vi er i kontakt med i dagligdagen, med hvilke vi har en virkelig (fysisk eller psykisk) interaktion. For at illustrere vigtigheden af denne pointe giver Lakoff i "Women, Fire and Dangerous Things" et eksempel på hvordan Dyirbal-sproget (et aboriginal sprog) er inddelt i forskellige kategorier.

3.3 Erkendelsesapparatets brug af kategorier

Når en der taler Dyirbal skal sige et navneord, må han forinden klassificere dette inden for én af fire kategorier: Bayi, Balan, Balam eller Bala. Princippet er det samme som danskeres brug af intetkøn og fælleskøn. Opdelingen af universet er således:

1. Bayi: Men, kangaroos, possums, bats, most snakes, most fishes, some birds, most insects, the moon, storms, rainbows, boomerangs, some spears, etc.
2. Balan: women, bandicoots, dogs, platypus, edchina, some snakes, some fishes, most birds, fireflies, scorpions, crickets, the stars, shields, some spears, some trees, etc.
3. Balam: all edible gruit and the plants that bear them, tubers, ferns, honey, cigarettes, wine, cake etc.
4. Bala: parts of the body, meat, bees, wind, yamsticks, some spears, most trees, grass, mud, stones, noises and language etc.[41]

Ifølge Roschs teori burde der være prototyper inden for hver af disse kategorier. Det er også tilfældet:

1. Bayi: (human) males; animals
2. Balan: Women; water; fire; fighting
3. Balam: Nonflesh food
4. Bala: everything not in the other classes[42]

Lakoff viser, at der kan gives begrundelser for disse inddelinger og for eventuelle afvigelser. En sådan begrundelse er "the domain-of-experience priciple":

[41] Lakoff, 1987, s.92
[42] Lakoff, 1987, s.93

> "If there is a basic domain of experience associated with A, then it is natural for entities in that domain to be in the same category as A."[43]

Som eksempel gives at fiskegrej (spyd) er i klasse 1 (med fisk), og ikke i klasse 4 som man ellers skulle tro. En anden begrundelse for placering i en bestemt kategori er "the myth-and-belief priciple":

> "If some noun has characteristic X (on the basis of which its class membership is expected to be decided) but is, though belief or myth, connected with characteristic Y, then generally it will belog to the class corresponding to Y and not that corresponding to X."[44]

Som eksempel skriver Lakoff, at fugle (som man ellers skulle tro hørte til klasse 1) hører til i klasse 2, fordi en myte fortæller at fugle er døde kvinders sjæle. Lakoff giver en række eksempler på, hvordan inddelingen kan forstås i lyset af menneskets interaktion med omverdenen og de konventioner der er dannet for kategoriseringen. Det væsentlige ved eksemplet er, at sådanne begrebslige inddelinger ikke er tilfældige, og kan forstås i lys af menneskets interaktion med omgivelserne. De kategorier vi opererer med i vores erkendelsessystem er således ikke vilkårlige. Dette er en central pointe i forståelsen af metaforer og brugen af disse.

Opsamling

I dette kapitel har vi set på det kognitive fundament for Lakoffs metaforteori. Dette fundament består af to typer førsproglige struktureringer — dels gør vores begrebsapparat brug af billedskemaer, der er meget tæt knyttet til vores kropslige erfaring. Disse strukturer bruger vi til at forstå overordnede strukturer i de sanseindtryk vi får. Desuden gør vi brug af grundkategorier. Disse opstår på samme måde som billedskemaerne, fordi vi har en krop, som vi er i kontakt med omverdenen med.
En grundkategori befinder sig på det niveau i kategori-hierakiet, som vi umiddelbart kan danne os et mentalt billede af. Dette mentale billede udgør den prototype, som vi benytter til at forstå kategorien som helhed. Vores forståelse og inddeling af omverdenen bygger, som eksemplet med Dyirbal-sproget tyder på, altså på grundkategorier og billedskemaer.
Lakoff går et skridt længere i forståelsen af erkendelsesapparatet end Peirces perceptuelle domme: Peirce konstaterede blot at vi er i stand til at foretage perceptuelle domme. Lakoff giver os et praj om, på hvilket grundlag disse kan forstås.

[43] Lakoff, 1987, s.93
[44] Lakoff, 1987, s.94

4 Hvad er en metafor ?

Vi har hidtil set på de kognitive grundlag for henholdsvis Peirces og Lakoffs teorier. I dette afsnit vil vi vende os mod det første spørgsmål i vores problemformulering, og prøve at forstå hvad en metafor er. Til dette formål vil vi først beskrive nogle af de centrale træk i Lakoffs metaforteori, der bygger på forståelsen af billedskemaer og grundkategorier; herom handler afsnit 4.1. Det er imidlertid vores opfattelse at Lakoffs teori kan udbygges på væsentlige punkter, ved anvendelse af Peirces videnskabsteori og semiotik; dette er emnet for afsnit 4.2.

4.1 Lakoffs & Johnsons metaforteori

Der er mange forskellige teorier for hvad en metafor er, og det er noget der er blevet diskuteret livligt inden for lingvistikken og litteraturvidenskaben. Med Lakoffs og Johnsons bog "Metaphors we live by" er metaforen imidlertid blevet sat på dagsordenen i sammenhænge der strækker sig ud over den "afvigelse fra normalsproget", som det normalt er blevet set som. De indledende ord i "Metaphors we Live by" ridser dette op:

> "Metaphor is for most people a device of the poetic imagination and the rhetorical flourish — a matter of extraordinary rather than ordinary language. Moreover, metaphor is typically viewed as characteristic of language alone, a matter of words rather than thought or action. For this reason, most people think they can get along perfectly well without metaphor. We have found, on the contrary, that metaphor is pervasive in everyday life, not just in language but in thought and action. Our ordinary conceptual sytem, in terms of which we both think and act, is fundamentally metaphorical in nature."[45]

Metaforen er, som citatet antyder, altså ikke bare noget der kommer til udtryk i sproget, men er en central ingrediens i vores tænken og handlen og vores begrebsapparat er i sig selv metaforisk. Hvordan kan det nu forstås? Lakoff og Johnson giver i deres bog en lang række eksempler. Et af disse er ARGUMENT IS WAR — eller skænderi/diskussion er krig. Når vi skal beskrive meningsudvekslinger eller skænderier, benytter vi ord der ellers hører til inden for krig[46]:

[45] Lakoff & Johnson 1980, s.1
[46] Lakoff & Johnson, 1980, s.4

Your claims are *indefensible.*
He *attacked every weak point* in my argument.
His criticism were *right on target.*
I *demolished* his argument.
I never *won* an argument with him.
You disagree? Okay, *shoot!*
If you use that *strategy*, he'll *wipe you out.*
He *shot down* all of my argument

Det er ikke alle de ovennævnte eksempler der kan oversættes direkte til dansk, men også på dansk finder vi koblingen mellem skænderi og krig (for eksempel han gik i forsvarsposition, skyd bare løs, du ramte plet). Eksemplerne viser, at det ikke blot er de enkelte ord ("argument" og "war") der bruges i metaforen, men også en lang række andre ord der har en eller anden form for tilknytning til de overordnede begreber (f.eks. defence, attack, shoot, strategy, win, lose). Et begreb er således ikke bare et ord, men et system af forskellige aspekter, der hver især har "tilknyttede" sproglige udtryk. Begrebet en bil rummer således rat, hjul, skrog, motor, vinduesviskere osv. Lakoff og Johnson giver i deres bog en lang række eksempler på *begrebsmetaforer* der, ligesom ARGUMENT IS WAR, er metaforiske koblinger mellem to forskellige overordnede begreber. Nedenfor er nogle eksempler på sådanne[47]:

Tid er penge	(Kan du *låne* mig 5 minutter)
Idéer er objekter	(Han *gav* mig en idé)
Livet er en rejse	(Jeg er *kommet* til en blindgyde)
Ideer er planter	(Det er en *frugtbar* måde at tænke på)
Teorier er bygninger	(Teorien har et *svagt fundament*)

Mange af de begreber som vi benytter, strukturerer vi altså ved hjælp af andre begreber. Det er oplagt, at begrebsmetaforerne ikke er universelle (som billedskemaerne) — der er en vis sprog- og kulturrelativisme, men alligevel er det overraskende hvor mange begrebsmetaforer der er ens f.eks. på dansk og på engelsk. Men lad os prøve at gå lidt mere systematisk til værks for at forstå, hvad det egentlig er der foregår, når vi laver koblinger som de ovenstående.

4.1.1 Den metaforiske funktion

Grunden til at metaforisk tænkning er særdeles praktisk er, at metaforer hjælper os til at forstå noget, som eller er svært at forstå:

> "Metaphor is one of our most important tools for trying to comprehend partially what cannot be comprehended totally: our feelings, aesthetic experiences, moral practices, and spiritual awareness."[48]

[47] Lakoff & Johnson 1980, s.26-51
[48] Lakoff & Johnson, 1980, s.193

Derfor er det nok ikke tilfældigt, at metaforen tidligere har været noget som man først og fremmest forbandt med lyrikken. Lyrikken er jo en genre hvor "svære" følelser og fænomener ofte søges beskrevet. I en metafor er der altid to begreber involveret. Ét, som man søger beskrevet og et som man bruger til beskrivelsen. Hvis vi tager et udtryk som "teoribygning", kan vi forstå det metaforisk i den forstand, at vi gerne vil forstå hvad en teori er, og vi bruger forestillingen om en bygning til at gøre det. Det som man gerne vil forstå, kalder Lakoff for *målområdet* (target domain), og det som man forstår målområdet ved hjælp af kaldes *kildeområdet* (source domain). I det konkrete eksempel er *teori* altså målområde, og *bygning* er kildeområde. Når vi forstår udtryk som "fysikkens teoribygninger" er det fordi vi foretager en afbildning af kildeområdet over på målområdet. I eksemplet "fysikkens teoribygninger" afbildes "bygninger" over på målområdet (fysikken) — der er tale om flere bygninger (flertalsform), svarende til flere discipliner i fysikken. Kildeområdets struktur er klart defineret. Det der bruges som kildeområder er oftest grundkategorier og/eller billedskema-strukturer — og disse to typer strukturereringer er, som vi så i afsnit 3.1, det som vi forstår før vi overhovedet får et sprog. I det konkrete tilfælde er kildeområdet en grundkategori, nemlig "en bygning".
Det er meget forskelligt hvad der afbildes, eller rettere hvad vi vælger at afbilde når vi forstår en metafor. For eksempel giver det god mening at tale om en teoris fundament — og evt. forskellige etager, mens det ikke umiddelbart giver mening at tale om teoriens værelser eller faldstamme. Det skyldes, at afbildningen er partiel, og at ligesom kildeområdet har en struktur, så har målområdet det også — selvom denne struktur er sværere at overskue. Målområdet lader sig ikke strukturere med hensyn til faldstammen, fordi målområdet i en vis udstrækning har begrebsstruktur. Man kan spørge sig hvorfor metaforer er nødvendige, når målområdet har en struktur i forvejen — og Lakoff giver ikke et klart svar på dette. I det mindste ikke andet, end at kildeområdets struktur er mindre klar, end målområdets. Da målområdet ikke nødvendigvis er en grundkategori har vi sværere ved at overskue målområdets struktur. Når vi taler om brug af metaforer i fysikken bliver målområdets struktur selvfølgelig meget relevant. I fysikken er det nemlig, i visse tilfælde, muligt at undersøge målområdets struktur eksperimentelt. I det følgende vil vi derfor prøve at komme dette punkt i Lakoffs teori nærmere.

4.1.2 Invariansprincippet

Invariansprincippet indebærer, at i en metafor svarer kildeområdes struktur til målområdets struktur. Eller som Lakoff udtrykker det:

> "Metaphorical mappings preserve the cognitive topology (that is the image-schema structure) of the source domain, in a way consistent

with the inherent[49] structure of the target domain."[50]

Der er altså et sammenfald mellem målområdets struktur og kildeområdets struktur. Hvis vi for eksempel har et kildeområde som vi forstår ved hjælp af beholderskemaet, kan målområdet også forstås ved hjælp af dette skema. I dette tilfælde følger det af invariansprincippet at det ydre (i kildeområdet) svarer til det ydre (i målområdet), det indre svarer til det indre, og grænsen svarer til grænsen (jvf. omtalen af beholderskemaet side 24).
Derimod finder man ikke tilfælde, hvor det, der svarer til det ydre i kildeområdet afbildes over på det, der svarer til det indre i målområdet. Dette princip sætter os i stand til at forstå, at den metaforiske afbildning er partiel. Som eksempel kan vi tage udtrykket "min pige er en rose" — en metafor der bygger på begrebsmetaforen MENNESKER ER PLANTER. Det er ikke pigens tornede væsen, der afbildes i vores forståelse af denne metafor. Det er skønheden, duften osv. Invariansprincippet lægger altså begrænsninger på, hvad det er der kan afbildes.
I fysikken har invariansprincippet konsekvenser, da brugen af eksperimenter sætter os i stand til positivt at undersøge målområdets struktur eksperimentelt.

Til slut vil vi gengive et uddrag fra en opsummering af Lakoffs metaforteori, som han giver i artiklen "The Contemporary Theory of Metaphor":

> "Metaphor is the main mechanism through which we comprehend abstract concepts and perform abstract reasoning.
> Much subject matter, from the most mundane to the most abstruse scientific theories, can only be comprehended via metaphor. Metaphor is fundamentally conceptual, not linguistic, in nature.
> Though much of our conceptual system is metaphorical, a significant part of it is nonmetaphorical. Metaphorical understanding is grounded in nonmetaphorical understanding.
> Metaphor allows us to understand a relatively abstract or inherently unstructured subject matter in terms of a more concrete, or at least more highly structured subject matter."[51]

4.2 Metaforens funktion i erkendelsen udfra Peirces erkendelsesteori

Ifølge Lakoff & Johnson, skal en metafor forstås som en slags strukturbevarende projektion fra ét område, kildeområdet, over i et andet, målområdet,

[49] eventuelt rent hypotetiske
[50] Lakoff 1993. Fra Ortony 1993, s.215
[51] Lakoff, 1993. Fra Ortony, 1993, s.244

således at kildeområdet bidrager til forståelsen af målområdet.
Der er imidlertid et par væsentlige spørgsmål, som vi endnu ikke har fået afklaret: Hvad er forbindelsen mellem metaforisk projektion og ikke-metaforisk erkendelse — i citatet på side 33 skriver Lakoff at "Metaphorical understanding is grounded in nonmetaphorical understanding". Hvad mener han egentlig med det? Spiller grundkategorier og prototyper en rolle i "metaforisk erkendelse", og i givet fald hvilken?
I dette afsnit vil vi derfor søge at nå frem til en præcisering af metaforens væsen på baggrund af Peirces videnskabsteori, i håb om at dette vil kunne nuancere og udbygge Lakoffs teori.

Fremstillingen er delt i to underafsnit. Det første omhandler hvad vi har valgt at kalde "*metaforisk ræsonneren*"; udtrykket skal forstås i betydningen "*slutning baseret på metaforisk projektion*", og refererer til metaforen som middel til at opnå ny indsigt, ved overførsel af kausale strukturer fra kilde- til målområde. I underafsnittet derefter giver vi en semiotisk klassifikation af metaforer, der, som det viser sig, resulterer i to (udartede) metafortyper.

4.2.1 Metaforisk ræsonneren

Med hensyn til metaforens erkendelses-*skabende* funktion, har vi kun kunnet finde én konkret ledetråd hos Peirce; den er indeholdt i følgende citat:

> " There are in science three fundamentally different kinds of reasoning, Deduction (called by Aristotle {synagoge} og {anagoge}), Induction (Aristotles and Platos {epagoge}) and Retroduction (Aristotles {apagoge}, but misunderstood because of corrupt text, and as misunderstood usually translated abduction).
> Besides these three, Analogy (Aristotles {paradeigma}) combines the characters of Induction and Retroduction. "[52]

Den interessante del af citatet ligger i sidste sætning, hvor Peirce påstår at *analogien* er en slutningsform, som har træk tilfælles med abduktion såvel som med induktion. Da Peirce her eksplicit karakteriserer analogien som en slutningsform, antager vi at udtrykket skal forstås i en betydning, som er identisk med (eller i hvert fald kun nuanceforskellig fra) vor definition af "metaforisk ræsonneren"[53].

De indbyrdes relationer mellem slutningsformerne. Ifølge citatet ovenfor er metaforisk ræsonneren en *sammensat* slutningsform. Med henblik

[52]Peirce, 1896. CP 1.65

[53]Grunden til, at vi indfører udtrykket "metaforisk ræsonneren" i stedet for at benytte Perices terminologi, er at vi har reserveret "analogier" til at betegne en bestemt type metaforer (se evt. afsnit 4.2.2).

på at nå frem til en forståelse af denne påstand, vil vi først se på hvordan slutningsformerne generelt forholder sig til hinanden.
Lad os først resumere, hvad man forstår ved abduktion: Vi tænker os en eller anden observation, associeret med et fysisk system. *Abduktionen* er det intuitive indfald, som leverer en forklarende hypotese, det vil sige et *foreslået* tilhørsforhold af systemet til en klasse, således at de regler eller love, som gælder for klassens elementer, ville implicere den konkrete iagttagelse *deduktivt*.
Abduktionen kan derfor opfattes som en mulig klassificering, baseret på registrering af fællestræk mellem et observeret system og en klasses elementer. Da den metaforiske projektion netop involverer en "genkendelse" af fællestræk mellem kilde- og målområde, er det rimeligt klart, at abduktionen må spille en fremtrædende rolle i metaforisk sammenhæng.
Det har imidlertid ingen mening at tale om abduktion, hvis der ikke foreligger et generelt regelsæt, som gælder for klassens elementer — uden regelsættet ville tilhørsforholdet til klassen ikke kunne forklare noget som helst[54]. Her kommer *induktionen* altså ind i billedet, for kendskabet til almene regler er jo netop resultatet af induktiv generalisation, på baggrund af enkelttilfælde. Så induktion er altså en forudsætning for abduktion.
At hypotesen forudsætter den generelle regel, kan måske umiddelbart lyde underligt — ikke mindst i betragtning af, at vi i afsnit 2 netop har karakteriseret abduktion og induktion som udtryk for henholdsvis førstehed og tredjehed — hvad der her påstås, er altså at tredjeheden kommer *før* førsteheden. Det bliver dog mindre besynderligt, hvis man betænker at erkendelse kan ske på forskellige niveauer eller trin i tegnkæden, sådan at forstå, at eksempelvis induktiv generalisering på ét erkendelsestrin *forudsætter* deduktion og abduktion hørende til samme trin, og på den anden side *muliggør* abduktiv hypotesedannelse på det næste trin i kæden af tegn. Lad os prøve at skitsere, hvordan denne proces finder sted:

Vi begynder med en *abduktion*. Denne er vores repræsentamen (R_1). Den udtaler sig om et eller andet fænomen (O_1), der er objektet. Den interpretation, som en person ($I1$) foretager af abduktionen danner et nyt repræsentamen (R_2). Dette repræsentamen er deduktion. Vi har nu en deduktion (R_2) der refererer til repræsentamenet i det foregående tegn — altså abduktionen (R_1). Deduktionen bliver fortolket (I_2) af en eksperimentel situation. Denne eksperimentelle situation danner et nyt repræsentamen, der er induktion (R_3). Dette repræsentamen henviser til deduktionen (R_2). Induktionen bliver fortolket af en person, der danner et nyt tegn som er abduktionen.
Strukturen i ovenstående er altså: Formulering af hypotese, deduktiv slutning, undersøgelse af konsekvenserne og induktiv generalisation. Induktionen giver (fordi vi har lært noget om omverdenen) anledning til formulering af

[54]Og faktisk er det ret dunkelt, hvad man overhovedet skal forstå ved en klasse uden et regelsæt.

en ny hypotese, deduktion, induktion etc. Eller: Verden — abduktion — deduktion — induktion — abduktion — deduktion — induktion — etc.
Vi kan således danne os et billede af erkendelsen som en "spirallerende" proces, hvori hver af spiralens vindinger gennemløber de tre slutningsformer, abduktion, deduktion og induktion på et givet niveau i nævnte rækkefølge. Vi formoder at denne erkendelsesspiral fører tilbage til en "urabduktion", som ikke forudsætter induktion. Et bud på en sådan *kunne* være de Lakoffske billedskemaprojektioner (jvf. afsnit 3.1) hvor *reglen* er identisk med den *grundlæggende logik* som gælder for det pågældende skema, og bunder direkte i den kropslige erfaring. Disse er i det mindste så langt ned i tegnkæden, som vi er interesserede i at gå.

For nu at vende tilbage til hovedemnet: Dét, at induktion er en nødvendig forudsætning for abduktion, kan ikke umiddelbart bruges til at karakterisere metaforisk ræsonneren — forholdet er helt generelt, og gælder for al hypotesedannelse.
Vi vender os derfor mod den anden implikation i citatet på side 34): At metaforisk ræsonneren er en sammensat slutningsform. Almindeligvis ville vi tænke på de forskellige slutningsformer som skarpt adskilte. Således ville vi, i overensstemmelse med Peirce-citatet på side 4 om særtilfælde af abduktionen, formode at de love som gælder for en klasse af fænomener eller objekter, og som hypotesen via klassetilhørsforholdet henviser til, på forhånd må være tilstede i bevidstheden, og altså må være udledt ved induktion *før* abduktionen kan finde sted.
Vi mener imidlertid, at metaforisk ræsonneren bedst kan karakteriseres som en kognitiv proces, der, i modsætning til al anden hypotesedannelse, *sætter sig ud over*, eller måske snarere *går på tværs af*, konventionelle klasser. Altså som en erkendelsesform, der ikke begrænser sig til vor tilvante måde at klassificere verdens fænomener på (jvf. omtalen af erkendelsesapparatets brug af kategorier i afsnit 3.3), men er "kreativ" i den forstand, at den *skaber* den for abduktionen nødvendige klasseinddeling, ved at flytte omkring med skellene mellem konventionsbestemte eller tilvante klasser.

> **Eksempel.** En velkendt metafor fra "dagligsproget" bunder i sammenligning af mennesker med planter. Der findes adskillige varianter: En person kan eksempelvis "blomstre op", "visne hen", "gå i frø", være "en stueplante" eller sågar "en grøntsag". Kategorierne "mennesker" og "planter" opfattes normalt som skarpt adskilte, så anbringelsen af mennesker og planter i samme klasse er bestemt ukonventionel, hvilket kan ses som årsagen til at sammenligningen opfattes som metaforisk. Hvis vi derimod holder os inden for den konventionelle klasse "planter", og f.eks kalder en kuldskær plante der taber bladene i frostvejr for "en værre drivhusplante", er det vel de færreste der vil opfatte sammenligningen som metaforisk.

Hvis klassificeringen sker på en måde, som på en eller anden måde er "alternativ" i forhold til vor sædvanlige måde at danne og afgrænse begreber på, forekommer det mere sandsynligt at de regler som gælder for klassen, *ikke* på forhånd er etablerede i bevidstheden. Så kort sagt vil vi argumentere for påstanden:

> *Metaforisk ræsonneren er, til forskel fra den "rene" abduktion, en slags erkendelse, som sætter sig ud over vor anerkendte eller vedtagne måde at inddele verdens fænomener på.*
> *I metaforisk ræsonneren er den abduktive klassificering og induktive generalisering* integreret *i den kognitive proces.*

Vi vil, i henhold til det ovenstående, skelne mellem to former for kognition: Alt efter om den involverede klassificering er konventionel eller ukonventionel, vil vi tale om henholdsvis "konventionel klassificering" og "metaforisk ræsonneren".
Forskellen mellem de to former er imidlertid subtil, og grænsen mellem dem er flydende. Som det vil fremgå, er det faktisk muligt at forstå det mest karakteristiske træk ved metaforisk ræsonneren — den klare distinktion mellem kilde- og målområde — som et ekstremt grænsetilfælde af relationen mellem prototyper og de øvrige elementer indenfor en konventionel klasse[55]. Vi vil derfor først beskrive den konventionelle klassificering, da det kan tjene til at sætte den metaforiske ræsonneren i relief.

I konventionel klassificering, som altså pr. definition er i konformitet med en forud accepteret måde at inddele verden på, kan man se en tendens til, at visse elementer har en "kognitiv særstilling". Som den opmærksomme læser straks har gættet, hentyder vi til de såkaldte prototyper; ifølge Lakoff, benytter vi os i vid udstrækning af prototyper til at strukturere klasserne (se afsnit 3.2).
Der er imidlertid en forskel mellem en *strukturerende* og en egentlig metaforisk, funktion. Det er vanskeligt at udpege, præcis hvor grænsen går — men vi kan nemt finde eksempler, hvor det ene eller det andet umiddelbart ses at være fremherskende:
Selvom "hund" for eksempel opfattes som en prototype for klassen "rovdyr", og som sådan har en strukturerende funktion i forhold til "hyæner", "sjakaler" og "dingoer", opfatter vi ikke denne funktion som metaforisk. Hunde og sjakaler tilhører den samme konventionelle klasse, og lighederne imellem dem opleves som noget "selvfølgeligt" — sammenligningen "sjakalen er en hund" er med andre ord for banal til at være en metafor. Ganske anderledes forholder det sig, hvis vi finder på at sammenligne en *person* med en hyæne eller en sjakal ...!

[55]Dette skal ikke opfattes som en påstand af, at konventionel klassificering fandtes før metaforisk ræsonneren — vi ved det ikke, og det kan lige så vel forholde sig omvendt !

Metaforisk ræsonneren er karakteriseret derved, at et *kildeområde* har en *forklarende* funktion i forhold til et *målområde*. Dette træk har vi en mulig forklaring på, i karakteriseringen af metaforisk ræsonneren som en ukonventionel klassificering:

> *Dette, at klassificeringen er uvant i forhold til vores sædvanlige måde at inddele verden på, og som sådan fremmed for vor konventionelle begrebsverden, betyder at* prototypen *får en mere fremtrædende betydning for kognitionen, end tilfældet ellers er. Vi kan således opfatte metaforens kildeområde som prototype for en ukonventionel klasse. Men altså en prototype med en betydningsbærende funktion, der er så stærkt fremhævet at vi almindeligvis ikke er bevidste om klassen overhovedet.*

Sagt på en anden måde er vor hypotese: Jo mere uvant og akavet en given klasseinddeling er, desto større kognitiv betydning må vi tillægge prototyperne. Metaforen kan i den forbindelse opfattes som et grænsetilfælde, hvor *klassen* bliver næsten usynlig, således at vi ofte kun opfatter *prototypen*.
Den ukonventionelle klasse, der dannes i samspillet mellem kilde- og måleområde, spiller altså en "tilbagetrukken" rolle i forbindelse med metaforisk ræsonneren. Men vi fastholder at det er nødvendigt at tage den med i betragtning, hvis det skal være muligt at forklare metaforisk ræsonneren ud fra Peirces tre basale slutningsformer.

> **Eksempel.** Hvis vi siger om en drukkenbolt "Karl-Aage er en svamp", er sammenligningen tydeligvis ikke bogstaveligt ment — Karl-Aage er et menneske, og tilhører derfor ikke den konventionelle klasse "svampe". Hvad vi mener er at Karl-Aage har visse træk tilfælles med en svamp — de er begge tilbøjelige til at suge væske til sig. Så Karl-Aage og svampen tilhører en fælles klasse, hvis elementer opfylder denne almene lov. Nu er klassen af objekter der suger væske til sig ikke en klasse vi ofte benytter i vor begrebsdannelse, den er ukonventionel — så i stedet for at give den et navn, og benytte dét, når vi skal klassificere Karl-Aage, vælger vi blot at benytte prototypen "svamp".

Lad os nu se på det *regelsæt* som gælder inden for klassen, altså de love som deduktivt skal implicere det betragtede systems opførsel i en given eksperimentel sammenhæng. Etableringen af dette regelsæt må bestå i en induktiv generalisation af de regler, som gælder for klassens elementer, det vil i den aktuelle sammenhæng først og fremmest sige *prototypen*, altså kildeområdet. Udformningen af dette generaliserede regelsæt afhænger imidlertid ikke kun af kildeområdet, men også af målområdet. Med andre ord må det nødvendigvis være sådan, at *generalisationen frembringes af den kontekst, som kildeområdet og målområdet tilsammen bestemmer*. Det ser således ud til at den

induktive generalisering afhænger af den metaforiske sammenstilling af kilde- og målområde, og således *ikke* kan være tilvejebragt forud for den abduktive klassificering.
På den anden side ved vi også, at abduktion generelt *forudsætter* induktion: Det ene kan ikke eksistere forud for det andet — så der eksisterer åbenbart et *gensidigt* afhængighedsforhold mellem hypotesedannelsen og etableringen af det generaliserede regelsæt. Med andre ord kan vi, i overensstemmelse med citatet på side 34, karakterisere metaforisk ræsonneren som en syntese hvori induktion og abduktion danner en uopløselig helhed.

> **Eksempel.** For at konkretisere de ovenstående betragtninger om metaforisk ræsonneren, vil vi se på Carnots hypotese om hvordan varme omsættes til mekanisk energi. Ekemplet bliver gennemgået i detaljer i afsnit 6, så på dette sted vil vi blot nævne, at et *vandfald*, i Carnots analogi, benyttes som metaforisk billede på en *varmestrøm*.
> Den induktive del af processen, består i at de love som gælder for fysiske væsker — i særdeleshed for prototypen "vand" — "løftes op" på et mere alment niveau; lovene generaliseres med andre ord tilstrækkeligt til, at deres gyldighedsområde kommer til at inkludere varmestrømme. Eksempelvis har varmen ingen masse, så det faktum at varmen *strømmer* må have en fundamentalt anden årsag end vandets fald. Så skabelsen af metaforen må, logisk set, involvere en induktiv generalisation af tyngdeloven, en generalisation der både forudsiger f.eks en stens fald mod jorden og varmens "bevægelse" fra et sted med høj temperatur mod et andet sted hvor temperaturen er lav.
> Herved dannes en ny klasse, en "overkategori", som blandt andet omfatter fysiske væsker, og som varmen, ved abduktion, kan henregnes til. Associationen af varmen med denne overkategori er imidlertid ikke i sig selv det, der bibringer os (eller Carnot) en oplevelse af at "forstå" varmens opførsel; overkategorien opleves som noget temmelig abstrakt og uhåndgribeligt — så vidt vi ved, er den da heller ikke blevet navngivet, i hvert fald benytter Carnot sig ikke af nogen fællesbetegnelse for vand og varme. En helt anderledes konstruktiv rolle i kognitionen spiller delkategorien "fysiske væsker" og specielt prototypen "vand" som i dette eksempel bliver kildeområde for metaforen.

Opsummering på metaforisk og konventionel ræsonneren: På baggrund af betragtningerne i dette afsnit, kan vi karakterisere metaforisk ræsonneren som en kombineret slutningsform, en syntese, hvor de indgående komponenter, induktion og abduktion, er integrerede i processen.
Muligheden for metaforisk ræsonneren forudsætter en mental kreativitet, som sætter mennesket i stand til at ræsonnere på tværs af tilvante måder at inddele verdens fænomener på. Vores evne til at ræsonnere på tværs af de tilvante klasser, fungerer ved at *generalisere* udfra de konventionelle klasser; dette sy-

nes at være den eneste mulighed for at forklare metaforisk ræsonneren på baggrund af Peirces tre fundamentale slutningsformer.

Den konventionelle klassificering består i sammenligning mellem én ting eller klasse, og en anden ting eller klasse, der ligger inde for samme "begrebsdomæne". Sådanne klassificeringer er ikke metaforiske. Det betyder imidlertid ikke at der ikke er fælles træk mellem den konventionelle og den metaforiske ræsonneren. For eksempel er invariansprincippet også gældende inden for den konventionelle ræsonneren. Vi kan beskrive en traktor som en bil, men vi kan ikke med fornuften i behold beskrive en bil som et rat. Traktorens "kognitive topologi" (se afsnit 4.1.2) er bevaret i det første tilfælde, men bilens ditto er ikke bevaret i det andet. Når vi taler om konventionel klassificering, er invariansprincippet altså gældende. Da "grænserne" for begrebsdomæner selvsagt er en smule flydende kan man nok ikke sætte en helt skarp skillelinje mellem den metaforiske ræsonneren og den almene klassifikation — der er tale om en flydende overgang, og skillelinjen sættes i sidste ende i interpretantens hoved. Da det imidlertid er metaforer der har vores primære interesse vil vi lade den konventionelle klassificering ligge og i næste afsnit se på metaforen som tegn.

4.2.2 Semiotisk karakterisering af metaforer

Som forklaret i afsnit 2.2, kan et *tegn* helt generelt forstås som en relation mellem et *repræsentamen*, et *objekt* og en *interpretant*; disse tre komponenter siges at udfylde henholdsvis første, anden og tredje plads i tegnrelationen. Repræsentamenet, objektet og interpretanten kan hver for sig være udtryk for førstehed, andethed eller tredjehed, hvilket muliggør en opdeling af tegnene i et antal *tegnklasser*. Dette medfører f.eks den allerede omtalte specificering af tegnets dele: *Repræsentamen* som kvalitegn, sintegn eller legitegn, *objekt* som ikon, index eller symbol og *interpretanten* som term, udsagn eller argument (Se evt. 2.2.1.
Et særkende ved en metafor er, at den repræsenterer sit objekt i kraft af en direkte, strukturel og/eller billedlig, *lighed* mellem kildedområdet og målområdet. Det er således klart at objektet i en metaforisk tegnrelation er udtrykt ved sin førstehed. En metafor må således bygge på *ikonisk* repræsentation af målområdet — med andre ord er metaforer *ikoniske* tegn.
Som vi gjorde rede for i afsnit 4.2.1, forestiller vi os at en metafor dannes ved generalisation af de love som gælder for kildeområdet, hvorved der opstår en ukonventionel, generel klasse som omfatter målområdet. En metafor skal derfor forstås som en lovmæssighed, men en lovmæssighed, der udvikler sig fra metaforen dannes, til den er blevet en vane. Vi kan derfor klassificere en metafor, der lige er lavet, som et *ikonisk legitegn*[56] der, ifølge Peirce:

[56]som nævnt ovenfor er metaforer ikoniske tegn

> "[..] repræsenterer et repræsentamens repræsentative karakter ved at repræsentere en parallel hos noget andet [..] "[57]

Eller sagt på en anden måde: Som *ikonisk* tegn, må en metafor have "noget" tilfælles med det objekt som den repræsenterer. Specifikationen af metaforen som et legitegn angiver karakteren af dette "noget": Metaforen er i sig selv en generel lov, og kan som sådan repræsentere objekter eller tilfælde, som udtrykker denne lov.

Det er ifølge Peirce sådan, at ethvert tegn på et givent niveau indebærer tegn fra alle de lavere niveauer; at legitegn, som vi har set, indebærer sintegn som igen bygger på kvalitegn, er et specialtilfælde af dette princip. Dé lavere tegnklasser som et *ikonisk* legitegn bygger på, må imidlertid også selv være ikoniske.
Så en metafor må altså indebære ikoniske sintegn, såkaldte *diagrammer*, som "repræsenterer specifikke objekter ved at repræsentere relationerne mellem deres forskellige dele"[57]. Lakoffs iagttagelse, at metaforisk projektion overfører strukturer fra eet område til et andet (jvf. invariansprincippet, omtalt i afsnit 4.1.2), kan ses som et udtryk for dette princip.
De ikoniske sintegn indeholder igen ikoniske kvalitegn; såkaldte *billeder*, som "har del i objekternes simple kvaliteter"[57].
Dette giver anledning til at definere to forskellige, *"udartede"* klasser af metaforer. De to slags metaforer fremkommer når man nedtoner visse af de ovennævnte aspekter:

- Hvis man nedtoner sintegnenes betydning, kommer hovedvægten til at ligge på de "kvalitative" aspekter, det vil sige på de simple ligheder mellem kilde- og målområde (farve, smag, hårdhed etc). Resultatet er hvad vi passende kan kalde en *billedmetafor.*

- Hvis derimod kvalitegnene kun tillægges ringe betydning, må den *betonede* lighed bygge på relationerne mellem objektets dele i henholdsvis kilde- og målområde. Dette vil vi kalde en strukturel metafor eller *analogi.*

Denne brug af udtrykket "analogi" som betegnelse for en metaforisk association, hvor der udelukkende fokuseres på strukturelle overensstemmelser mellem kilde- og målområde (men *ikke* den ovenfor givne semiotiske definition) har vi overtaget fra Gentners & Jeziorskis artikel "The shift from Metaphor to Analogy in Western Science"[58].
Det skal pointeres, at både billedmetaforer og analogier, som skrevet, skal forstås som *grænsetilfælde* — alle de ovennævnte aspekter *må*, ifølge Peirces tegnlære, nødvendigvis være tilstede i en metaforisk projektion. Så selvom vi

[57]Peirce ca.1902, Dinesen & Stjernfeldt s.118
[58]Gentner & Jeziorski, 1993. Fra Ortony, 1993, s.447-480

f.eks vælger at "se bort fra" de rent billedlige similariteter mellem kilde- og målområde, så er de alligevel tilstede i vores bevidsthed — vi *er* nødt til at forestille os tingene som de ser ud. Den opmærksomme læser vil her sikkert spørge, hvordan et begreb eller en tanke ser ud. Svaret er, at det er meget forskelligt men at vi faktisk knytter en eller anden form, farve, lyd, skrift til begreber. Ellers ville begreberne ikke være havnet i vores hoveder.

For at vende tilbage til udviklingen af metaforen vil vi, med et eksempel, illustrere hvordan ikonet udvikles til et symbol.

Første gang vi bliver udsat for metaforen "Karl-Aage er en svamp" forstår vi (måske) ikke koblingen umiddelbart; den forekommer underlig, for Karl-Aage er ikke nogen svamp, men et menneske. Metaforen er endnu kun ikonisk.

Når vi (af den aktuelle kontekst) forstår metaforen, bliver den indeksikal — vi når en forståelse af hvad det er, svampen har tilfælles med Karl-Aage; altså en specifik kobling mellem Karl-Aages og svampens "væskesugende" karakter. Derefter forstår vi Karl-Aage som symbol for en generel klasse (drankere). På den måde kan vi forstå andre udsagn som "Kaj-Børge er en svamp" eller lignende. — Den metaforiske kobling mellem drankere og svampe bliver symbolsk. Metaforen bliver dermed en del af vores "vanetænkning", og vi kan umiddelbart forstå hvad der menes med den.

Karakteriseringen af metaforen som et ikonisk legitegn, gælder således kun i det første stadium. Ved gentagen brug, bliver dens mening efterhånden symbolsk. Når vi tolker metaforen (det ikoniske legitegn) indser vi at "repræsentamenets repræsentative karakter" svarer til det generelle regelsæt der gælder for "overkategorien" og "parallellen" er den lighed mellem kildeområde og målområde, som metaforen bygger på.

4.3 Videnskabelig brug af metaforer

Med hensyn til anvendelse af metaforer i forbindelse med videnskabelig tænkning, må man umiddelbart forvente at en naturvidenskabelig tradition der, som vor, må betragtes som værende *reduktionistisk* — hvilket vil sige at et objekts observerede egenskaber søges forklaret ud fra relationer mellem dets komponenter — kraftigt vil favorisere brugen af analogier frem for billedmetaforer.
Denne "forudsigelse" understøttes overbevisende af Gentner & Jeziorskis historiske analyse i ovennævnte artikel[58], hvor eksempler på brugen af metaforer i moderne videnskabelig tænkning sammenholdes med de metaforer som middelalderens alkymister benyttede sig af.
Analysen bekræfter betydningen af analogien, altså den strukturelle metafor, i moderne videnskab. Som kontrast hertil står alkymisterne, hvis verdensbillede, i langt højere grad end vort, har været udtryk for en helhedsopfattelse af

verdens objekter. I den alkymistiske tradition betragtedes visse simple kvaliteter af et objekt således i høj grad som udtryk for dets egentlige "væsen", en opfattelse som naturligt implicerer at ting som *ligner* hinanden i det ydre også må være "væsensbeslægtede". Et tydeligt udtryk for denne opfattelse fandtes i den middelalderlige signaturlære:

> "It is through similitudes that the otherwise occult parenthood between things is manifested and every sublunar body bears the traces of that parenthood impressed on it as a signature. "[59]

Det er på denne baggrund ikke overraskende, at alkymisternes skrifter er fyldt med metaforer, hvor billedlige ligheder mellem kilde- og målområde tillægges mindst lige så stor betydning som strukturelle ligheder. Her følger et eksempel herpå , "æggets nomenklatur", hvori ægget iøvrigt er en metafor for "de vises sten":

> "Nomenclature of the egg. This is the mystery of the art.
>
> 1. It has been said that the egg is composed of the four elements, because it is the image of the world and contains in itself the four elements. It is called also the "stone which causes the moon to turn," "stone which is not a stone," "stone of the eagle" and "brain of alabaster".
> 2. The shell of the egg is an element like earth, cold and dry; it has been called copper, iron, tin, lead. The white of the egg is the water divine, the yellow of the egg is couperose [sulfate], the oily portion is fire.
> 3. The egg has been called the seed and its shell the skin; its white and its yellow the flesh, its oily part, the soul, its aqueous, the breath of the air."[60]

Som det fremgår af paragraf 1, opfattes ægget som et billede af verden, som i sig selv indeholder de komponenter som verden formodes at være sammensat af, nemlig de fire elementer: Jord, vand, svovl ("couperose"?) og ild (jvf. paragraf 2). Korrespondensen "skal = jord" er helt klart baseret på overførsel af kvaliteterne "kold" og "tør" (det siges explicit), og med hensyn til "hvide = vand" er det højst sandsynligt at noget tilsvarende gør sig gældende. De to sidste korresondenser, "blomme = svovl" og "oily part = ild" er dog knap så indlysende. I paragraf 3 sammenlignes æggets dele endvidere med menneskets forskellige aspekter, men det vil vi ikke komme nærmere ind på her.
Ifølge Gentner & Jeziorskis konklusion, skete der en omfattende holdningsændring i datidens videnskabelige samfund i tiden omkring år 1600 — altså omkring begyndelse af den klassisk videnskabelige periode:

[59] U.Eco 1990. Fra Ortony, 1993, s.464
[60] St. Mark 10. eller 11. årh. Fra Ortony, 1993, s.465

> "A fascinating aspect of this historical change is the period, roughly 1570 – 1640, during which similarity itself became a focus of discussion among scientists, This period coincides with the waning of alchemical methods and the rise of a more modern spirit. The shift from metaphor to analogy is one aspect of the general change in the style of scientific thought that occured during this period. "[61]

Forfatterne opregner en række "uudtalte" principper, som angiveligt lægger visse begrænsninger på moderne videnskabsfolks brug af metaforisk ræsonneren:

> "Modern principles of analogical reasoning.
>
> 1. **Structural consistency.** Objects are placed in one-to one correspondence and parallel connectivity in predicates is maintained.
> 2. **Relational focus.** Relational systems are preserved and object descriptions disregarded.
> 3. **Systematicity.** Among various relational interpretations, the one with the greatest depth — that is, the greatest degree of common higher-order relational structure — is preferred.
> 4. **No extraneous associations.** Only commonalities strengthen an analogy. Further relations and associations between the base [kildeområde] and target — for example, thematic connections — do not contribute to the analogy.
> 5. **No mixed analogies.** The relational network to the mapped should be entirely connected within one base domain. When two bases are used, they should each convey a coherent system.
> 6. **Analogy is not causation.** That two phenomena are analogous does not imply that one causes the other."[62]

Dette skema stemmer udmærket overens med den forståelse af analogien, som vi har fået i dette kapitel. Går vi punkterne igennem, ser vi, at de to første punkter lægger sig tæt op af Lakoffs invariansprincip: Der er en korrespondens mellem kilde- og målområdets kognitive topologi. I punkt to anføres det desuden, at "object discriptions [are] disregarded". Vi har i dette kapitel vist, at det skyldes, at kvalitegnene involveret i metaforen er nedtonet, så den betonede lighed bygger på de struktuelle ligheder (for eksempel billedskemastrukturer eller Peirces kategorier).
Det tredje punkt betyder simpelthen, at folk normalt inden for videnskaben vælger at forbinde begrebsområder, der har en vis (ofte relativt kompliceret) struktur tilfælles. Det er ikke så sært, for det gør selvfølgelig analogien stærkere.

[61] Gentner & Jeziorski, 1993. Fra Ortony, 1993, s.475
[62] Gentner & Jeziorski, 1993. Fra Ortony, 1993, s.450

Det fjerde punkt siger, at de yderligere ligheder der måtte være mellem kilde og målområde, ikke styrker analogien (Gentner og Jeziorski skriver for eksempel, at det ikke gør analogien mellem atomet og solsystemet bedre, at solen og planeterne består af atomer). Dette kan ses som endnu en betoning af sintegnene i forhold til kvalitegnene.
Det femte punkt siger, at den struktur der afbildes på kildeområdet bør forefindes indenfor er et kildeområde. Hvis der bliver benyttet to kildeområder bør deres strukturer være i overensstemmelse.
Endelig siger det sjette punkt, at der ikke nødvendigvis er en kausal sammenhæng mellem målområde og kildeområde. Det skal ikke forstås sådan at strukturen i kildeområdet ikke svarer til målområdets, blot sådan, at kilde og målområde i brugen af analogier ikke betragtes som havende indflydelse på hinanden. Dette kan vi igen forklare med forskellen mellem billedmetafor og analogi. I analogien er det, det strukturelle eller relationelle, der betones — I billedmetaforen den "billedlige" lighed mellem objekter. Kvalitegn, der er betonet i billedmetaforer, repræsenterer førsteheden — altså de umiddelbare kvaliteter. I en billedmetafor er det derfor *de ensartede kvaliteter* mellem kilde- og målområdet der afbildes. I dette lys bliver det mere klart, at man f.eks i alkymien mente, at kilde- og målområde var udtryk for samme fænomen (jvf. side 43).

Opsamling

Som vi har set skal en metafor, ifølge Lakoff & Johnson, opfattes som en art projektion eller afbildning fra et kildeområde, over i et målområde, således at kildeområdet bidrager til vor forståelse af målområdet. Lakoff har desuden identificeret visse regler, som metaforiske projektioner adlyder. Det drejer sig først og fremmest om *invariansprincippet*, som siger at billedskemastrukturer er invariante overfor sådanne projektioner — de overføres uforvrængede fra kilde- til målområde.

Vi har imidlertid tilføjet en enkelt, efter vores mening essentiel, antagelse til Lakoffs teori, nemlig at metaforisk ræsonneren må involvere en *induktiv generalisering*, som opstår på baggrund af den aktuelle kontekst som kilde- og målområde fastlægger. Udfra denne antagelse kan vi forstå metaforisk ræsonneren som en proces, der i virkeligheden ligger meget tæt op ad den ikke-metaforiske abduktive kognition — og som det har fremgået, kan de to erkendelsesformer vises at indeholde de samme grundelementer, essentielt set. Således kan vi opfatte *kildeområdets* betydningsbærende rolle i kognitionen som en ekstrem variant af *prototypernes* strukturerende funktion: Kildeområdet er prototype for en ukonventionel klasse!

Både den metaforiske og den konventionelle ræsonneren kan, som vist, forstås på baggrund af de tre slutningsformer fra Peirces videnskabsteori. Denne

forståelse afdækker en vigtig forskel mellem dem, idet metaforisk ræsonneren fremstår som en syntese af abduktion og induktion, mens konventionel ræsonneren kan beskrives som en "ren" abduktiv slutning (som ganske vist forudsætter, at en induktion har fundet sted).

Vi kan, udfra den forudgående analyse, klassificere metaforen semiotisk som et *ikonisk legitegn*. Denne klassifikation medfører to "udartede" metafortyper. I den første type er kvalitegnet (repræsentamenets førstehed) betonet og sintegnet (representamenets andethed) nedtonet. Sådanne metaforer bygger på umiddelbare overensstemmelser mellem objekters simple kvaliteter (for eksempel smag, hårdhed, farve etc.). Vi kalder denne type for *billedmetaforer*. Den anden mulige udartning består i betoning af sintegnet og nedtoning af kvalitegnet. I denne type af metaforer, er det (primært) de strukturelle ligheder mellem kilde- og målområde, der afbildes. Denne type metaforer kalder vi *analogier*.

Denne opsummering er det nærmeste vi mener at kunne komme en egentlig besvarelse af det første spørgsmål i problemformuleringen. Udtrykt på en så kompakt form som muligt, lyder svaret: "En metafor er et ikonisk legitegn med mulighed for to 'udartede' klasser!".

DEL II: BRUG AF METAFORER

Efter alle disse indledende teoretiske overvejelser, vil vi nu koncentrere os om den konkrete brug af metaforer i udviklingen af fysikken. Vi vil gennemgå fem fysikeres brug af metaforer, som vi fremlægger i kronologisk rækkefølge. Vi har valgt denne rækkefølge for at kunne følge den udvikling i metaforbrugen som Gentner & Jeziorski har beskrevet. Fælles for eksemplerne er at målområdet selvfølgelig hører til *inden for* fysikken, hvorimod vi vil se eksempler på kildeområder hentet fra flere forskellige steder, eksempelvis fysikken selv, andre videnskabelige dicipliner, litteraturen og religionen.

Vores første eksempel, Johannes Kepler, er fra omkring år 1600, og er dermed fra den periode, hvor der ifølge Gentner & Jeziorsky skete en holdningsændring i det videnskabelige samfund, som blandt andet gav sig udslag i et skift fra brugen af billedmetaforer til benyttelse af de strukturbevarende analogier. Vi vil fremlægge Keplers opdagelser inden for astronomien, og hvordan disse var tæt sammenknyttet med hans tro på verdens harmonier. Da Kepler levede i tiden omkring dette skift, er hans arbejde præget af en anden holdning til brugen af analogier end de senere eksempler.
De næste to eksempler er henholdsvis. Sadi Carnots analogi mellem vand og varme, og James C. Maxwells mekaniske model af æteren. Det er begge eksempler på analogier, hvor kildeområdet er fra fysikken selv.
I det fjerde eksempel ser vi på Niels Bohrs arbejde med kvantemekanikken, og finder at han, i modsætning til de to foregående, formulerer analogier mellem fysikken og andre områder, idet han i sine formuleringer af komplementaritetsprincippet benytter sig af ideer fra filosofien, litteraturen og psykologien. Analogien bygger på at kvanteverdenen og tankeverdenen har fælles strukturer. Bohrs brug af analogier er speciel, da han foreslår flere analogier til at beskrive samme fænomen. Dette skyldes at fænomenet, komplementaritetsprincippet, efter Bohrs mening, ikke kun er en fysisk lovmæssighed, men kan bruges til forklare fænomener uden for fysikken, som f.eks. psykologiske fænomener.
Det sidste eksempel omhandler brugen af elektriske analogmodeller. Dette eksempel adskiller sig fra de forudgående ved at illustrere en *systematisk* metode til at danne analogier. Desuden er kildeområdet (elektroteknikken) yderst velbeskrevet, hvilket gør metoden til et effektiv værktøj for nutidens fysikere. Vi eksemplificerer metoden ved Niels Boye Olsens (eksperimentalfysiker på RUC) model for entalpi-relaksation i en viskos væske.

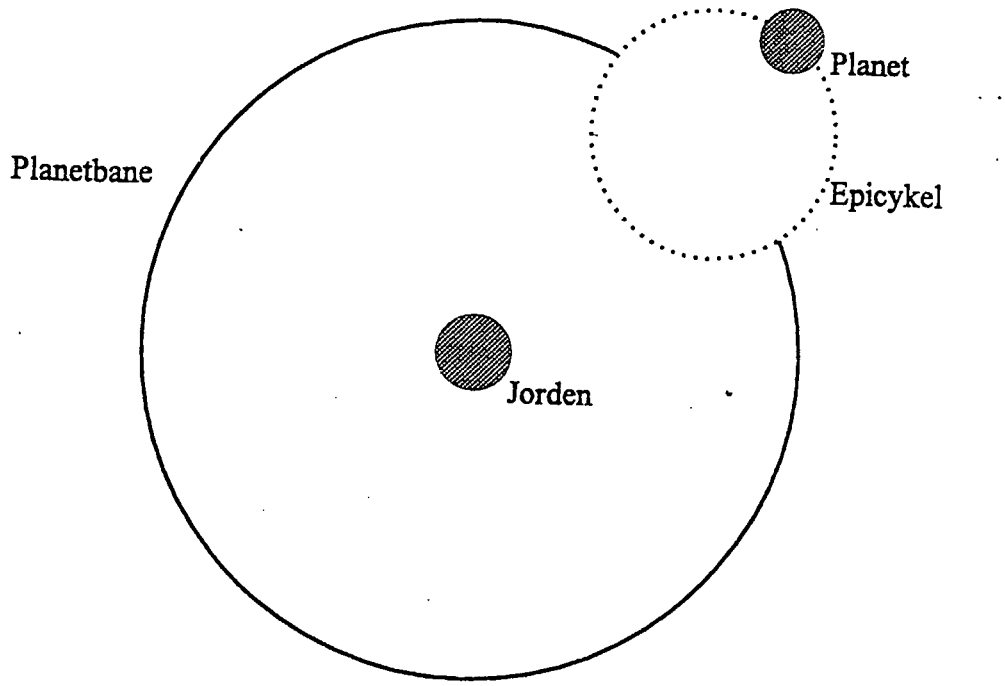
5 Johannes Kepler

Vi vil i dette kapitel gennemgå nogle af de metoder Johannes Kepler (1571-1630) benyttede i forbindelse med sit videnskabelige arbejde, for derefter at

undersøge hans brug af analogier. Keplers arbejde er meget omfattende, og selvom det er meget spændende materiale at gå igang med, er vi blevet nødt til at skære noget fra. En af grundene til at det er spændende at undersøge Keplers skrifter er, at datidens "videnskabelige tøjler" ikke var så stramme som de er idag. I Keplers skrifter er der således mulighed for at få et indblik i mange af de tanker der lå til grund for arbejdet, og også mange af de fejltrin som han gjorde undervejs.

Kepler fæstede, i modsætning til størstedelen af sin samtid, lid til Copernicus hypotese fra 1543 om, at solen var i universets centrum (et *heliocentrisk* system)[63]. Denne hypotese stod i kontrast til en anden langt mere udbredt hypotese: Den Ptolomæiske hypotese. Ptolomæus havde i det andet århundrede efter Kristus udbygget Aristoteles' verdensbillede der, meget groft, sagde, at himmellegemerne bevægede sig i perfekte cirkelbevægelser rundt om den ubevægelige jord der var placeret i universets centrum (et *geocentrisk system*). Dette system led imidlertid under en temmelig ringe overensstemmelse med observationer. Derfor udviklede Ptolomæus det såkaldte epicykelsystem. Planeterne bevægede sig i perfekte cirkelbevægelser om jorden, men på vej rundt i disse cirkelbevægelser foretog planeterne mindre cirkelbevægelser. Disse "cirkler på cirklerne" kaldes for epicykler, og var altså cirkelbevægelser omkring et matematisk punkt i planetbanen. På den måde undgik Ptolomæus at røre ved "de perfekte cirkelbevægelser" der således var en hovedingrediens i astronomien helt frem til Keplers opdagelser (og faktisk længere endnu).
Copernicus hypotese var, at solen var i centrum af universet, men de baner, som planeterne bevægede sig om solen i, fastholdt Copernicus var cirkelbevægelser. Som en følge deraf opstod der også for Copernicus' system problemer med at få hypotesen til at stemme overens med observationer, og derfor blev Copernicus nødt til at genindføre epicyklerne og andre ad hoc-antagelser. For eksempel regnede Copernicus med, at centrum for planeternes baner lå et stykke væk fra solens centrum[64].
Genindførelsen af epicykler gjorde, at Copernicus system kun var en lille smule mere simpelt at regne på end det Ptolomæiske. Alligevel fandt Kepler den Copernikanske hypotese mere tiltalende end den Ptolomæiske — ikke på grund af systemets simpelhed, men på grund af den modstand han nærede til, at planetbanerne skulle cirkle om et matematisk punkt placeret i solens centrum. I det Copernikanske system benyttedes godt nok også epicykler, men ikke så mange som i det Ptolomæiske.
Udover to nævnte syn på planeternes bevægelser var der et tredje konkurrende system, som var udviklet af Tycho Brahe. Ifølge dette, det Tychoniske, var jorden ubevægelig i centrum med planeter cirkulerende omkring solen, der cirkulerede om jorden. Tycho Brahes system var også ganske udbredt, men Kepler var, fra start til slut, Copernikaner.

[63]Koyré, 1973, s.15
[64]Holton, 1973, s.76



Figur 7: I det Ptolomæiske system benyttedes epicykler for at redegøre for planeternes bevægelser

Inspireret af Holton[65] har vi valgt at opdele Keplers inspirationskilder til hans arbejde i tre forskellige former for "harmonier": fysisk harmoni, matematisk harmoni og teologisk harmoni. I det følgende vil vi gennemgå hvad der menes med disse harmonier. Keplers arbejde vil ikke blive præsenteret i kronologisk rækkefølge.

5.1 Fysisk harmoni

En af Keplers ambitioner var "to provide a philosophy or physics of celestial phenomena in place of the theology or metaphysics of Aristotle."[66] Kepler skriver:

> "I am much occupied with the investigation of the physical causes. My aim in this is to show that the celestial machine is to be likened not to

[65]Holton, 1973, s.47-115

[66]Kepler, 1607 (brev til Johann Bregger). Fra Holton, s.76

> a divine organism but rather to a clockwork..., insofar as nearly all the manifold movements are carried out by means of a single, quite simple magnetic force, as in the case of a clockwork all motions [are caused] by a simple weight. Moreover I show how this physical conception is to be presented through calculation and geometry."[67]

Denne tankegang, at betragte "den himmelske maskine" som et urværk, var helt fremmed for Keplers samtid. I den Ptolomæiske, den Copernikanske og den Tychoniske tankegang, blev astronomien og fysikken set som to adskilte fænomener — fysikken omhandlede de jordiske bevægelser, mens de himmelske bevægelser udgjordes af perfekte cirkelbevægelser. For Kepler ophørte denne skelnen allerede i hans tidlige arbejder. I en slags Science Fiction fra 1608 skrev Kepler om, hvordan Jorden så ud på himlen, set fra månen, samt hvordan dage, årstider mv. tog sig ud deroppe[68]. Dette viser, at Keplers måde at betragte de øvrige planeter på var meget lig den måde han betragtede jorden. Kepler mente, ifølge Bryk, at:

> "[..]the whole world structure was subjected to a single law of construction though not a force law such as revealed by Newton, and only a non-causative relationship between spaces, but nevertheless one single law."[69]

Det var altså, mente Kepler, et enkelt fysisk princip der styrede planeternes baner — en kraft der i en vis udstrækning lignede magnetisk kræfter:

> "I define gravity as a power similar to magnetic power — a mutual attraction. The attactive force is greater in the case of two bodies that are near to each other than it is in the case of two bodies that are far apart."[70]

Kepler var, i modsætning til hans samtidige, overbevist om at det var legemernes masse, der var afgørende for kræfterne:

> "How can the earth, or its nature, notice, recognize and seek after the center of the world which is only a little point [Düpfflin] — and then go toward it? The earth is not a hawk, and the center of the world not a little bird; it [the center] is also not a magnet which could attract the earth, for it has no substance and therefore cannot exert a force."[71]

[67]Kepler, 1605 (brev til Herwart von Hohenburg). Fra Holton, s.72
[68]Kepler, 1608. Oversat i Lear, 1965
[69]Bryk, 1918. Fra Holton, 1973, s.72
[70]Kepler, ca. 1608. Fra Lear, 1965, s.106
[71]Holton, 1973, s.73

Kepler mente at det var solens substans og ikke et matematisk punkt, der gav jorden "noget at orientere sig efter". Dette er et eksempel på, at Kepler funderede sin teori i "fysisk harmoni". Udviklingen af Keplers første lov er endnu et eksempel på denne form for harmoni.

> 1. LOV: Planeternes baner omkring solen er ellipser med solen i det ene brændpunkt.

Kepler indså at der var tale om ellipsebaner, men inden han nåede så vidt havde han prøvet at fitte Tycho Brahes data til en lang række forskellig geometriske former — i første omgang cirkler, derefter superponerede cirkler, sidenhen forskellige sammentrykte "cirkler".

Det var, i dette tilfælde, magtpåliggende for Kepler at beregningerne skulle stemme overens med de observationer han havde fra Tycho Brahe. For mange forekom opgivelsen af cirkelbevægelserne som det rene galimatias. En bekendt skrev:

> "By your oval and your ellipse, you destroy circularity and uniformity of motion, which seems to me quite absurd. The sky is spherical, and consequently there are circular motions, regular and uniform with respect to its own centre. [..]"[72]

Til dette svarede Kepler:

> "[..] You say that the fundamental elements by which this motion is realized, namely circles, are confined to uniform motion. I agree; but these motions do not agree with the phenomena. [..] The difference is to be found only in the fact that you use circles, and I use corporeal forces. [..] Yet, when you say that there is no doubt but that all motions take place on a perfect circle, [I reply] that it is not so for compound-motions, i.e., true motions. In fact according to Copernicus they take place, as I have already said, on an orbit which is enlarged at the sides, and according to Ptolomy and Tycho Brahe even on Spirals. When you speak of the components of motion, you speak of something which is only imagination, and which does not exist in reality; for nothing performs the circuits in the sky except the body of the planet itself; [there is] no sphere, no epicycle. [..] The simplicity of nature must not be judged by our imagination."[73]

De sammensatte bevægelser som planetbanen og epicyklerne udgør er altså, ifølge Kepler ikke virkelige. Det må siges at være endnu et "fysisk" træk ved Keplers arbejde.

[72]Kepler, 1907 (brev fra Fabricius). Fra Koyré, 1973, s.262.
[73]Kepler, 1607 (brev til Fabricius). Fra Koyré, 1973, s.263.

5.2 Matematisk harmoni

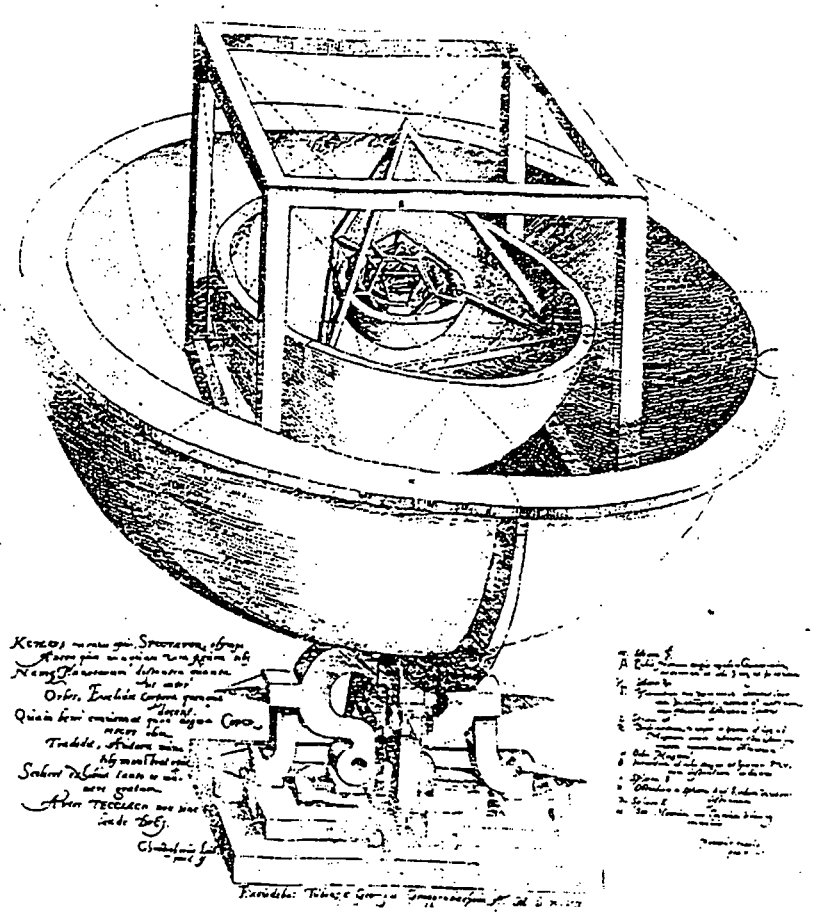
Den anden form for begrundelse, som Kepler søgte, er hvad vi kalder for "matematisk harmoni". Som eksempel på dette vil vi give Keplers forklaring af antallet af planeter og deres indbyrdes afstande.
På Keplers tid var kun seks af de ni planeter i solsystemet kendt, nemlig Merkur, Venus, Jorden, Mars, Jupiter og Saturn (disse er de eneste planeter der kan ses med det blotte øje). I centrum var altså, ifølge Copernicus, solen og derefter fulgte Merkur, Venus, Jorden, Mars, Jupiter, Saturn og yderst fixstjernerne. Man forestillede sig, at hver planet "sad fast" i en kugleskal, eller sfære. I Keplers første bog "Mysterium Cosmographicum" (1596) fremlagde han en hypotese for, hvorfor der netop var seks planeter og hvorfor planeterne ligger som de gør i forhold til hinanden. Ifølge denne hypotese var antallet af og afstanden mellem planeter bestemt af de regulære polyedre. De regulære polyedre er geometriske legemer bestående af ligesidede, ensvinklede polygoner. Der findes kun fem sådanne legemer, nemlig tetraeder, hexaeder, octaeder, dodekaeder og ikosaeder. Kepler skrev, at rummet mellem og antallet af planeterne var konstrueret på baggrund af de regulære polyedre, hvis om- og indskrevne sfærer udgjorde de sfærer som planeterne bevægede sig i:

> "The Earth [the Sphere of the Earth] is the measure for all the other spheres. Circumscribe a Dodecahedron about it, then the surrounding sphere will be that of Mars; circumscribe a Tetrahedron about the sphere of Mars, then the surrounding sphere will be that of Jupiter; circumscribe a Cube about the sphere of Jupiter, then the surrounding sphere will be that of Saturn. Now place an Icosahedron within the sphere of the Earth, then the sphere which is inscribed is that of Venus; place an Octahedron within the sphere of Venus, and the sphere which is inscribed is that of Mercury."[74]

Kepler mente med dette arrangement af de regulære polyedre at kunne redegøre for både planeternes antal og deres placering i forhold til hinanden. Det viste sig imidlertid svært at få beregningerne til at gå op (hvilket måske ikke kan undre). Kepler mente imidlertid at det skyldtes de mangelfulde observationer der var overladt fra Copernicus. Kepler håbede at hans opdagelse ville vise bedre overensstemmelse med fakta, efterhånden som astronomien udviklede sig (ikke mindst med Tycho Brahes observationer). Dette arrangement af polyedre var for Kepler et udtryk for den matematiske harmoni som universet fungerede efter.

Et andet eksempel på "matematisk harmoni" i Keplers tænkning er udviklingen af den anden lov:

[74]Kepler, 1595. Fra Koyré, 1973, s.146



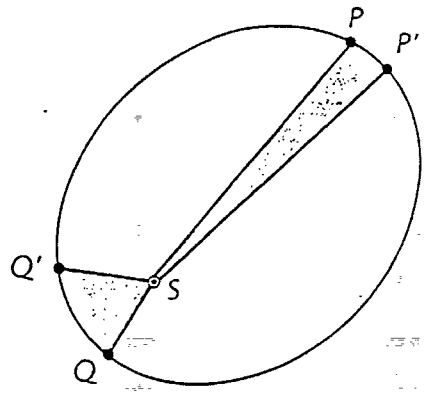
Figur 8: Keplers system af regulære polyedre. (Field, 1984, s.192)

2. LOV: En linje fra solen til en planet overstryger lige store arealer i lige store tidsrum.

For Copernicus, Tycho Brahe og Ptolomæus var cirkelbevægelsen det, der skabte sfærernes harmoni. Det, der "genindfører" harmonien i Keplers verdensbillede (hvor planeterne bevægede sig i ellipser) er, at han opdagede den konstante areal hastighed i det dynamiske system. Det træk ved planeternes bevægelse er et eksempel på en "matematisk harmoni" som Kepler opdagede efter, at have aflivet ideen om de cirkulære bevægelser. Holton skriver:

> "With Kepler's First Law and the postulation of elliptical orbits, the old simplicity was destroyed. The Second and Third Laws established the physical law of constancy as an ordering principle in a changing situation. Like the concepts of momentum and caloric in later laws of constancy, areal velocity itself is a concept far removed from the immidiate observables. It was therefore a bold step to search for harmonies beyond both perception and preconception."[75]

[75]Holton, 1973, s.80



Figur 9: Illustration af den konstante arealhastighed (Ohanian, 1985, s.312)

Der var altså i en søgen efter en "matematisk harmoni", at Kepler udviklede sin 2. lov. Citatet siger, at den tredie lov blev udviklet på samme grundlag og det kan der være noget om, men det vender vi tilbage til. Både den anden og den tredie lov formulerer under alle omstændigheder matematiske sammenhænge som Kepler ikke havde nogen mulighed for at forstå fysisk, da han ikke havde kraftbegrebet til sin rådighed. En anden bevæggrund end den nævnte for udviklingen af den anden lov er, at Kepler med denne fik "centrum" for planetbevægelsen til at ligge i solen, og dermed gjort verdensbilledet "rigtig heliocentrisk"[76]. Der ligger selvfølgelig også noget "fysisk" i det sidste argument, men generelt må vi sige, at drivkraften i dette arbejde var af matematisk (og måske som vi skal se i næste afsnit, teologisk), ikke fysisk, karakter.

5.3 Teologisk harmoni

Mindst lige så væsentligt som det var for Kepler at vise at universet fungerede efter simple fysiske og matematiske principper, var det for ham at få Gud placeret i dette. Vi har set, at Kepler fik solen placeret som det matematiske brændpunkt for planetbevægelserne og som den fysiske aktør i bevægelsen af planeterne. Det kan derfor ikke undre, at solen også var residens for hans Gud. Kepler skriver:

> "That there were three things above all others cause of which I sought without wearying, namely the number, size and motion of the orbits. I was induced to try and discover them because of the wonderful resemblance between motionless objects, namely the Sun, the fixed stars, and intermediate space, and God the Father, God the Son,

[76] Holton, 1973, s.80

> and God the Holy Ghost; this analogy I shall develop further in my Cosmography. Now, seeing that motionless objects behave as they do, I had no doubt but that [objects] in motion were governed by a similar harmony."[77]

Vores forståelse af det er, at Kepler med denne analogi forstod solen, fixstjernerne og det mellemliggende rum ved hjælp af Faderen, Sønnen og Helligånden. Den "vidunderlige lighed" mener vi kan tilskrives Keplers tro på treenighedens evige og uforanderlige tilstedeværelse. Af citatet kan vi læse at det var denne vidunderlige lighed i analogien, der fik ham til at søge "uden træthed" efter en tilsvarende harmoni i planetbanernes antal, størrelse og bevægelse.

Når det var muligt at forstå solen, fixstjernerne og det mellemliggende rum ved hjælp af treenigheden, så måtte Gud have konstrueret universet sådan, at det kunne forstås af menneskene. Dette, at det var muligt at forstå Guds arkitektur, er et gennemgående træk i meget af Keplers materiale. I dette lys er det ikke så svært at forstå Keplers forklaring af afstanden mellem planeterne (ved hjælp af de regulære polyedre) — det var Keplers plan at blotlægge Guds arkitektarbejde. Efterhånden som Keplers arbejde skred frem, gik det imidlertid op for ham at billedet af Gud som arkitekt ikke var tilstrækkeligt, og i "Harmonice Mundi" (1618) udstyrede han ham derfor med nogle andre egenskaber: Musikalske. Keplers idé fra "Mysterium Cosmographicum" om, at de regulære polyedres ind- og omskrevne sfærer var afgørende for planeternes antal og beliggenhed blev "overhalet indenom" af hans opdagelse af, at planeterne bevægede sig i ellipsebaner (og ikke cirkelbaner som han havde antaget til at starte med). Godt nok kunne eksistensen af fem, og kun fem, polyedre redegøre for antallet af planeter men de fem polyedre kunne ikke forklare:

1. Planeternes beliggenhed i forhold til hinanden: Tycho Brahes data fik ikke Keplers polyedre til at fremstå som mere troværdige.

2. Planeternes baner: De ind- og omskrevne sfærer i polyedrene er, af gode grunde, ikke elliptiske.

3. Planeternes hastigheder i planetbanerne: Det forhold, at de regulære polyedre er symmetriske, men at planetens hastighed i banen ændrer sig forekom mystisk.

Keplers teori om de regulære polyedre var for "statisk" til at stå alene. Kepler mente, at det var fordi *tiden* ikke var blevet taget i betragtning, at hans teori fra Mysterium Cosmographicum var utilstrækkelig. Koyré skriver om Keplers tankegang:

[77]Kepler, 1596. Fra Koyré, 1973, s.138

> "[..] a God, who was merely a geometer, would no doubt have been satisfied with a Universe constructed on the basis of the sphere and the five regular solids, a Universe in which the planets would revolve eternally on concentric circles, that is to say, without ever changing their distances from the Sun, nor their speeds, nor the order of their progression. However, for a God, who is a musician, such a Universe in which the planets would, each of them, eternally give out the same "note", even if the ensemble of these notes produced a concord, would be unacceptable. He who speaks of music, has in mind variety, not monotony. Therefore, ought not a God, who is a musician, to assign to each of the planets its own proper musical phrase instead of one single "note"?"[78]

Kepler udvikler i "Harmonice Mundi" et system for, hvordan planeternes vinkelhastigheder svarer til toner. Ifølge dette system svarer der til hver planet en tone, og denne tones frekvens svarer til planetens vinkelhastighed målt i sekunder. Da vinkelhastigheden ikke er konstant spænder en planet over et toneinterval. Hvis planeternes vinkelhastigheder sammenlignes ses det, at de tilsvarende toner ikke falder i samme oktav. Kepler tog derfor udgangspunkt i Saturn og dividerede de øvrige planethastigheder med den laveste potens af 2, som giver et forhold til Saturns hastighed, der er mindre end 2. Dermed

Velocity of Saturn at		aphelion divided by		$2^0 = 1'\,46''$
"	"	perihelion	"	$2^0 = 2'\,15''$
"	Jupiter	aphelion	"	$2^1 = 2'\,15''$
"	"	perihelion	"	$2^1 = 2'\,45''$
"	Mars	aphelion	"	$2^3 = 3'\,17''$
"	"	perihelion	"	$2^4 = 2'23''$
"	Earth	aphelion	"	$2^5 = 1'\,47''$
"	"	perihelion	"	$2^5 = 1'\,55''$
"	Venus	aphelion	"	$2^5 = 2'58''$
"	"	perihelion	"	$2^5 = 3'\,3''$
"	Mercury	aphelion	"	$2^6 = 2'\,34''$
"	"	perihelion	"	$2^7 = 3'\,0''$

Figur 10: Planeternes vinkelhastigheder divideret med en størrelse der afhænger af den placering (og der med oktav) planeten beskrives ved. (Koyré, 1973, s.337)

angiver potensen hvilken oktav tonen er i, og forholdet mellem vinkelhastighederne i den fundamentale oktav angiver tonen. Eksempelvis er Jordens vinkelhastighed divideret med 2^5 — cirka det samme som Saturns vinkelhastighed. De to planeter spiller derfor samme tone, men Jorden 5 oktaver

[78]Koyré, 1973, s.327

højere.
Planeternes toner udgør altså en harmoni, udtrykt ved vinkelhastighederne. Hvis der derfor er en præcis relation mellem disse vinkelhastigheder eller eventuelt omløbstiderne og afstandene til Solen, kan planeternes placering begrundes i harmonierne. Kepler var overbevist om at Gud havde taget udgangspunkt i disse harmonier, og derfor måtte der være en sammenhæng mellem afstand og omløbstid.

> "At the time of the *Mysterium Cosmographicum*, I did not clearly see my way... but after I had determined the true orbital distances, as a result og incessant labour over a long period of time and by making use of Tycho Brahe's observations, finally, the true relationship between the periodic times of the orbits occurred to me, and if you ask me when exactly I made this discovery, it is as follows: The idea came to me on 8 March of this year 1618, but as the calculation was not successful, I rejected it [the answer] as being false. However, the idea came to mind again on 15 May, and through a fresh assault overcame the darkness of my reason so completely and in such harmony with my seventeen years of labour on Tycho Brahe's observations as well as my present studies, that I thought at first that I was dreaming and that I was assuming as an accepted principle something which was still the subject of investigation. Nevertheless, the principle is indisputably true and quite correct: *the periodic times of any two planets are in the sesquialteral* [svarer til potensen 3/2] *ratio to their mean distances*, i.e., of their orbits. "[79]

Den sidste del af citatet er Keplers tredje lov, som vi normalt formulerer således:

> 3. LOV: Kvadratet på en planets omløbstid om solen er proportional med den halve storakse i tredie potens.

Det var i arbejdet med de musikalske harmonier, som Gud havde lagt i sit skaberværk, at Kepler fandt denne lov. Dette udtrykker Kepler implicit i det ovenstående. Da han vender tilbage til hypotesen den 8. maj finder han at den stemmer overens både med hans arbejde med Tycho Brahes observationer, såvel som det arbejde han netop da var igang med ("Harmonice Mundi")[80]. På den måde tager Keplers 3. lov sit udgangspunkt i hans forestilling om, at det var muligt at forstå Guds musikalske plan for universet. I "Harmonice Mundi" har Kepler således fundet svarene på de spørgsmål han havde sat sig for at besvare: Antallet af, størrelsen og bevægelsen i planetbanerne (se citat i begyndelse af dette underafsnit). Den musik planeterne laver, en

[79]Kepler, 1618. Fra Koyré, s.338
[80]Koyré, 1973, s.338

revideret udgave af hypotesen om de regulære polyedre og hans tre love for planetbevægelsen giver Kepler det endelige billede af Guds skaberværk. Kepler var godt klar over, at hans samtid nok ville have svært ved at følge hans tankegang, men det gjorde ikke noget:

> "The die is cast. My book is written; it will be read by the present age, or by posterity... It could wait a hundred years to find a reader. Did not God wait six thousand years for one to contemplate His works?"[81]

5.4 Analogier i Keplers videnskabelige arbejde

I en omtale af Kepler, beskriver Peirce nogle af de beskrevne forsøg på at finde harmonier således:

> "[..] måske var den største tjeneste, han gjorde videnskaben, at han i menneskers sind indprentede, at det var sådan, man bar sig ad for at forbedre astronomien; at de ikke skulle stille sig tilfreds med at undersøge om ét system af epicykler var bedre end et andet, men at de måtte sætte sig ned med tallene og finde ud af, hvad det egentlig var for en kurve. Med usædvanlig energi og mod udrettede han dette, tumlende afsted på en (for os) helt ufattelig måde fra den ene irrationelle hypotese til den anden, indtil han, efter at have prøvet toogtyve af dem, ved ren og skær udmattelse af sin fantasi hittede på den bane, som en tænker, bevæbnet med den moderne logiks begreber ville have prøvet næsten fra starten."[82]

Efter at have læst Keplers originalskrifter havde Peirce dog ændret mening. Dette gav sig udtryk i en fodnote til en senere udgave af det foregående:

> "I am ashamed at being obliged to confess that this volume contains a very false and foolish remark about Kepler. When I wrote it, I had never studied the original book as I have since. It is now my deliberate opinion that it is the most marvellous piece of inductive reasoning I have been able to find."[83]

Vi vil igen tage udgangspunkt i det citat, som vi allerede har brugt en del tid på i gennemgangen af Keplers teologiske grundsyn:

> "That there were three things above all others cause of which I sought without wearying, namely the number, size and motion of the

[81] Kepler 1618. Fra Koyré, 1973, s.343
[82] Peirce, 1877. Fra Paradoks, 1991, nr. 1-2, s.40
[83] Peirce, 1893. Fra Buchler, 1955, s.6

> orbits. I was induced to try and discover them because of the wonderful resemblance between motionless objects, namely the Sun, the fixed stars, and intermediate space, and God the Father, God the Son, and God the Holy Ghost; this analogy I shall develop further in my Cosmography. Now, seeing that motionless objects behave as they do, I had no doubt but that [objects] in motion were governed by a similar harmony."[84]

Kepler skriver at grunden til, at han ville undersøge antallet, størrelsen og bevægelserne på planetbanerne er, at finde i en (anden) analogi mellem treenigheden og rummet:

Faderen	Solen
Sønnen	Fixstjernerne
Helligånden	Det mellemliggende rum

Ser vi denne analogi i forhold til Lakoffs teori, må treenigheden udgøre kildeområdet og universet udgøre målområdet. Kepler vil altså med denne analogi lære noget om universet ved hjælp af det han ved om treenigheden. Med fare for at blive blasfemisk kan man sige, at analogien bygger på delhelheds billedskemaet. De strukturelle elementer i dette skema er del, helhed, sammensætning. Treenigheden er en helhed bestående af tre dele: Faderen, Sønnen og Helligånden. Sammensætningen er sådan, at Faderen er forudsætningen for Sønnen og *både* Sønnen og Faderen er forudsætningen for Helligånden.
Ifølge invariansprincippet bliver billedskemastrukturen i kildeområdet bevaret i målområdet. Solen er således forudsætningen for fixstjernerne, mens både solen og fixstjernerne er forudsætning for det mellemliggende rum. Det giver god mening at rummet mellem solen og fixstjernerne kun eksisterer i kraft af disse to, men eksisterer fixstjernerne kun i kraft af solen? Idag ville vi nok ikke give Kepler ret i denne antagelse, men for ham har det formentlig været sund fornuft. Kepler så solen som centrum i et endeligt univers og hvem har måske hørt om kugle uden centrum?

Med Peirces termer kan vi udtrykke det just beskrevne meget simpelt: Faderen (Solen) er Førsteheden, Sønnen (fixstjernerne) er Andetheden og Helligånden (det mellemliggende) er tredjeheden. I vores gennemgang af disse tre klasser viste vi, hvordan disse afhænger af hinanden. Andetheden er afhængig af Førsteheden, og Tredjeheden er afhængig af *både* Første- og Andetheden. Førsteheden er det potentielle: Faderen er forudsætningen for treenigheden, den centralt placerede sol er forudsætningen for universet. Andetheden er det aktuelle: Sønnen var yderst aktuel på jorden for et par tusind år siden, fixstjernerne er der hvor universet ender og er i den forstand yderst aktuel. Tredjeheden er det medierende eller generelle: Helligånden er det glade bud-

[84]Kepler, 1596. Fra Koyré, 1973, s.138

skab ("Guds magt medieret i menneskene"[85]), det mellemliggende rum er det der medierer mellem solen og fixstjernerne. Vi har nu:

Førstehed	Faderen	Solen
Andethed	Sønnen	Fixstjernerne
Tredjehed	Helligånden	Det mellemliggende rum

Med dette er vi kommet et skridt længere i forståelsen af denne første analogi mellem treenigheden og de "ubevægelige" dele af Keplers univers. Kepler skriver i citatet at det var den "vidunderlige lighed" i analogien, der fik ham til at undersøge planetbanernes antal, størrelse og bevægelser. Spørgsmålet er nu om Kepler mente, at antallet, størrelsen og bevægelsen skulle have *samme* struktur som de andre, eller om han mente, at der måtte findes en sammenhæng, eller harmoni, mellem de tre nævnte elementer og noget andet. Hvis vi kigger på hvad han faktisk gør i sit tidlige arbejde, er det at opstille en analogi mellem:

Antallet af baner	Antallet af regulære polyedre
Størrelsen af banerne	Forholdet mellem polyedrenes "sfærer"
Bevægelsen i banerne	Bevægelsen i polyedrenes "sfærer"

Godt nok er der tale om en tredeling, men det er os en smule svært at se parallellen til Faderen, Sønnen og Helligånden. I Keplers senere arbejde (Harmonice Mundi, 1618), er han imidlertid blevet klogere på planetbanernes opførsel, og det har leder ham til at konstruere et nyt system byggende på "sfærernes harmoni". Grundlæggende mener vi det er de samme spørgsmål som tidligere, han er interesseret i at redegøre for.

Antallet af baner angiver de toner, som bliver benyttet i den astrale harmoni, og det er planetens nummer, der angiver hvilken grundtone, der hører til denne planet. Grundtonen er en forudsætning for at det giver mening at tale om hvilken oktav, der benyttes, og oktaven er betinget af planetbanens størrelse. Med en angivelse af grundtonen og oktaven bliver det rimeligt at betragte variationen, og den er angivet ved planetens varierende hastighed, bevægelsen i banen. Grundtonen er altså en forudsætning for oktaven, og tilsammen er de forudsætninger for variationen. Tilsammen danner disse en treenighed, der kan sammenlignes med den guddommelige treenighed — og som også kan beskrives med Peirces tre kategorier:

Førstehed	Faderen	Antallet af baner (grundtoner)
Andethed	Sønnen	Størrelsen af baner (oktaver)
Tredjehed	Helligånden	Bevægelsen i banen (variationen)

At Kepler virkelig tog parallellen mellem treenigheden og universet meget alvorligt kan ses af følgende citat fra Keplers sidste bog "Epitome Astronimicae Copernicanae". I denne skriver om massefordelingen mellem solen, fixstjernerne og det mellemliggende rum:

[85]Gall Jørgensen, 1993, s.26

> "As these three bodies are analogous to the centre, to the spherical surface and to the interval, symbols of the three persons of the Holy Trinity, we may believe that there is as much matter in the one as in the other two, in other words, that one third of the matter in the universe is concentrated in the body of the Sun, even though in ratio to the dimensions of the universe it must be very small; similarly, that another third of the matter is stretched and attenuated throughout the whole vast space of the Universe in such sort that the Sun has as much matter in its body as is found to be brightened by its light and penetrated by its [motive] rays; and similarly, that the last third of the matter forms a sphere which is placed like a wall round about the Universe. In order that we may have some idea of these relationships (though we can never possibly understand them fully), by comparing them with known things, we can imagine that the body of the Sun is entirely of gold, that the sphere of the fixed stars is aqueous, vitreous or crystalline, and that the intermediate space is filled with air."[86]

Kepler mente altså at massen af solen, fixstjernerne og rummet kunne forstås ved hjælp af treenigheden — en tredjedel til hver. Herefter kommer Kepler med et forsigtigt bud på, hvad de ubevægelige dele af universet kunne bestå af. Solen er af guld, fixstjernerne er krystallinske, og det mellemliggende rum er af luft. En sådan kobling mellem himmellegemerne og forskellige materialer var meget dominerende i alkymien og man kunne fristes til at sige, at Kepler med dette citat "falder tilbage" til brugen af billedmetaforer. Det er imidlertid ikke helt rimeligt. Metaforen går nemlig ikke fra himmellegemerne til materialernes umiddelbare kvaliteter, men forsat mellem universet og treenigheden. At Kepler kan gøre sig overvejelser om hvilke materialer himmellegemerne består af altså, er et resultat af deduktion (fra forkerte regler) og ikke af kombinationen abduktion/induktion (metaforisk ræsonneren)[87]. Kepler gør brug af metaforisk ræsonneren i etableringen af reglerne — det vil sige i koblingen af treenigheden og de "ubevægelige" himmellegemer. I det ovenstående eksempel udviser afbildningen fra kilde- til målområde et brud på invariansprincippet — massen er ikke fordelt som Kepler troede — men metaforen må siges, trods dette, at have været frugtbar for Keplers videnskabelige arbejde.

5.5 Keplers tre harmonier

I de sidste tre afsnit har vi forsøgt at redegøre for et tredelt "grundsyn" som Kepler benyttede i sit videnskabelige arbejde: Fysisk, matematisk og

[86]Kepler, 1616. Fra Koyré, 1973, s.360

[87]Men det skulle nu være mærkeligt om de umiddelbare kvaliteter overhovedet ikke har spillet ind på hans tankegang.

teologisk. Det er selvfølgelig lidt misvisende at lave en så skarp opdeling som det her er forsøgt, for de tre "grundsyn" hænger tæt sammen og opdelingen har nok ikke været så skarp i Keplers hoved, som den her er præsenteret. I dette afsnit vil vi prøve at forstå, hvordan de tre harmonier hænger sammen. For at forstå det, vil vi opridse nogle hovedtræk i den filosofiske tradition, som Kepler var mest inspireret af: Neo-platonismen. Denne filosofiske strømning tog, som navnet antyder, udgangspunkt i Platons skrifter:

> "Plato, who is the tradition's ultimate source, often seems to dismiss the objects of this world as mere imperfect shadows of an eternal world of ideal objects or "forms" existing outside of space and time. His followers [..] emphasized this tendendy in their master's thought to the exclusion of all others. Their mystical philosophy [..] recognized only a transcendent reality."[88]

Videre skriver Kuhn:

> "The Neoplatonist leaped at once from the changeable and curruptible world of everyday life to the eternal world of pure spirit, and mathematics showed him how to make the leap. For him mathematics exemplified the eternal and real amid the imperfect and fluctuating appearances of the terrestrial world. The triangles and circles of plane geometry were the archetypes of all Platonic forms. They existed nowhere — no line or point drawn on paper satisfies Euclid's postulates — but they were endowed with certain eternal and necessary properties which the mind alone could discover and which, once discovered, could be observed dimly mirrored in the objects of the world."[89]

Lad os prøve at forstå dette syn på verden i forhold til Peirce's tegnteori. Da matematikken for neoplatonisterne eksemplificerer det evige og reelle, må matematikken svare til objektet (andetheden). Tegnet på dette virkelige er Gud (Faderen) der, som vi har set i den foregående analyse, ifølge Kepler var placeret centralt i Solen. Dette var helt i tråd med den generelle neoplatoniske opfattelse. Kuhn skriver, at Gud i den materielle verden var "suitably represented by the sun whose visible and invisible emanations gave light, warmth, and fertility to the universe"[90].

(1) Verden (I) — Gud (R) — Matematik (O)

Ser vi denne figur i forhold til det vi skrev om treenighedsanalogierne svarer Gud til Faderen, Matematikken til Sønnen og Verden til Helligånden.

[88]Kuhn, 1957, s.127
[89]Kuhn, 1957, s.127
[90]Kuhn, 1957, s.129

Objektet i tegnrelationen er matematikken. Det der repræsenterer matematikken er Guds tilstedeværelse i universet (i rummet). Denne tilstedeværelse har betydning for verden, der dermed bliver til et repræsentamen i en ny tegnrelation:

(2) Johannes Kepler (I) — Verden (R) —GUD (O)

Interpretanten er i dette tilfælde Johannes Kepler, der betragter verden (og dermed fysikken) som system. Tegnrelationens objekt er Gud (eller for at udtrykke det på en anden måde: Verden (førstehed) eksisterer kun i kraft af Gud (andethed)). Men Gud er jo, længere nede i tegnkæden, i sig selv et representamen, der refererer noget om matematikken til verden. Verden er det "man kan se derude" — og altså fysikkens genstandsfelt. Vi har således givet en semiotisk redegørelse for, hvordan de tre harmonier i Keplers verdensbillede hang sammen, og hvordan brugen af treenighedsanalogier var et gennemgående princip for hans arbejde (ligesom det iøvrigt er hos Peirce).

6 Sadi Carnot

Sadi Carnot (1796-1832) var fransk fysiker og en af pionererne inden for termodynamikken. I 1824 publicerede Sadi Carnot sit største bidrag til fysikken: *Reflexions sur la puissance motrice du feu et sur les machines propres a développer cette puissance*, som på dansk betyder *Reflektioner over ildens drivkraft og over de rette maskiner til at udvikle denne kraft.*[91] Hovedformålet med arbejdet var at undersøge, hvordan man mest økonomisk kunne omsætte varme til drivkraft, eller i mere moderne terminologi, til arbejde.
I *Reflektions* bruger Carnot en analogi mellem et vandfald og en varmemaskine til at forklare hvilke faktorer der spiller ind på effektiviteten af en varmemaskine, dvs. under hvilke omstændigheder man opnår den største drivkraft.
Selvom de mest påtrængende problemer med datidens nye industrielle maskiner ofte var af teknisk karakter, var det ikke en konkret maskine Carnot beskæftigede sig med. Han interesserede sig mere for hvordan en ideel maskine ville virke under perfekte forhold, som han godt vidste var uopnåelige. *Reflexions* er primært henvendt til konstruktørerne af dampmaskiner, hvorfor Carnots argumentation sker ved hjælp af ræsonnementer uden brug af kompliceret matematik og fysik.
Idag opfattes udgivelsen af *Reflexions* som begyndelsen til den moderne klassiske termodynamik, men umiddelbart efter udgivelsen, blev den ikke anset for vigtig.[92]
Reflexions blev taget op af Émile Clapeyron (1799-1864) i 1834 i hans værk *Mémoire sur la puissance motrice de la chaleur*[93] og dette blev startskuddet til en fornyet interesse fra blandt andre W. Thompson (senere Lord Kelvin (1824-1907)) og Rudolph Clausius (1822-1888)[94]
Det var således først omkring 1840 at Carnot fik anerkendelse for sit værk. Bogen indeholder blandt andet den første forløber til termodynamikkens 2. hovedsætning:

> "Wherever there is a difference in temperature, motive power can be produced."[95]

6.1 Carnots videnskabelige ståsted

På Carnots tid var den almindelige opfattelse af varme, at det var en vægtløs (og elastisk) væskeagtig substans, som fandtes i alle legemer. Opvarmede

[91] I det følgende vil dette værk blot blive omtalt som *Reflexions*.
[92] Fox, 1986, s.25
[93] Fox, 1986, s.34
[94] Fox, 1986, s.32
[95] Carnot, 1824. Fra Fox, 1986, s 67.

man et legeme, flød der "caloric" ind i legemet, og temperaturen af legemet opfattedes som en (ukendt) funktion af den mængde "caloric" legemet indeholdt. I overensstemmelse med denne opfattelse, antog man at varme var en bevaret størrelse ligesom egentlige fysiske væsker.
Den "caloristiske" teori ansås for at kunne gøre rede for de fysiske og kemiske fænomener, der hørte til tidens frontforskning (selvom teorien ikke kunne forklare friktionsvarme[96]). Det var derfor naturligt for Carnot at være "calorist", selv om han var en af de fysikere, der var skeptiske overfor teorien. Denne skepsis fremgår blandt andet af følgende citat fra *Reflexions*:

> "The law is based on the theory of heat as we understand it today, and it must be admitted that we do not consider this as an entirely solid foundation."[97]

At Carnot var skeptisk overfor "caloricteorien" understreges endvidere af de noter han skrev (formentlig) kort efter udgivelsen af *Reflektions*. Noterne blev først offentliggjort i 1878,[98]. I disse skriver han blandt andet:

> "Heat is nothing but motive power, or rather motion, which has changed its form. It is a motion of the particles of bodies. Wherever motive power is destroyed, there is a simultaneous production of an amount of heat exactly proportional to the motive power that is destroyed. Conversely, wherever there is destruction of heat, motive power is produced."[99]

I det konkrete arbejde med *Reflexions*, er det imidlertid den caloristiske hypotese Carnot er gået ud fra — selvom han, som vi har set, var skeptisk overfor denne.

6.2 Analogien

Carnots analogi består i en sammenligning af den mekaniske drivkraft man kan udlede fra en varmemaskine med drivkraften man kan få fra et vandfald. Carnot har ifølge "caloricteorien" haft en forestilling om at varme var noget der kunne flyde fra et legeme til et andet (altså en væskestruktur). Han er måske også blevet inspireret af Lazare Carnots (hans far) samtidige arbejde med optimering af mekaniske maskiner, til at sammenligne størrelsen af faldet i temperatur og den mængde drivkraft man derved kan opnå, med størrelsen (højden) af faldet i et vandfald og den mængde drivkraft, man derved kan opnå.
Carnot udtrykker selv denne sammenligning meget konkret i *Reflexions*:

[96] Hvilket Rumford viste, med sit kanonboringseksperiment i 1798.
[97] Carnot, 1824. Fra Fox, 1986, s.100
[98] Altså posthumt. Fox, 1986, s.43
[99] Carnot, 1824. Fra Fox 1986 s.26

> "[..] we are sufficiently justified in comparing the motive power of heat with that of a fall of water. [..]. The motive power of a fall of water depends on its height and on the amount of liquid. The motive power of the heat likewise on the amount of caloric that is used and on what might be termed — in fact on what we shall call — the height of its fall; it depends, in other words, on the difference in temperature of the bodies between which the passage of caloric occurs. In the fall of water, the motive power is exactly proportional to the difference in level between the higher reservoir and the lower. In the fall of caloric, the motive power certainly increases with the difference in temperature between the hot body and the cold, though we do not know whether it is proportional to this difference."[100]

Carnot har altså konstateret en struktur i vandfaldet, nemlig at drivkraften afhænger af faldets højde og mængden af vand, og denne struktur afbilder han på varmemaskinen. Han konstaterer desuden, at der er proportionalitet mellem højden af vandfaldet og det mekaniske arbejde der dannes. Denne højereordens struktur afbildes ikke direkte, men opstilles som en hypotese der skal undersøges. Han skriver:

> "We have demonstrated that the quantity of motive power developed by the passage of caloric between two bodies depends essentially on the temperatures of these bodies, but we have not shown how the quantity of motive power and the temperatures are related to one another. At first sight, it would seem natural enough to assume that, for any difference in temperature, the same quantity of motive power will be produced. [..]. Such a law would certainly be of great interest, but it is hard to see any adequate reason for adopting it *a priori*. The truth of the law will be discussed here, using rigorous arguments."[101]

Carnot formulerede, udfra analogien, hypotesen om proportionalitet mellem en given temperaturforskel og den drivkraft der kan udvindes af en ideel varmemaskine. Denne hypotese undersøger han ved hjælp af overvejelser om gassers udvidelse under opvarmning. Carnot kommer frem til denne konklusion:

> "The fall of caloric yields more motive power at lower temperatures than it does at higher ones. "[102]

Hvis vi ser på analogien mellem vandkraftmaskinen og varmemaskinen med den viden, vi har om termodynamik idag, er det slående hvor godt den passer.

[100]Carnot, 1824. Fra Fox, 1986, s.72
[101]Carnot, 1824. Fra Fox, 1986, s.91
[102]Carnot, 1824. Fra Fox, 1986, s.93

Arbejdet (W) man kan få fra et vandfald hvor forskellen i højde er ($h_1 - h_2$) er givet ved:

$$W = mg(h_1 - h_2)$$

hvor m er massen og g er tyngdeaccelerationen. Arbejdet man kan udvinde fra en varmemaskine hvor forskellen i temperatur er ($T_1 - T_2$) er givet ved:

$$W = q(T_1 - T_2)$$

Som det ses af disse to ligninger er der god grund til at sammenligne arbejdet (drivkraften) fra et vandfald og en varmemaskine. Carnot beskriver ikke denne sammenligning mere præcist end at han opstiller en hypotese om proportionalitet mellem drivkraften og temperaturforskellen. Den proportionalitetsfaktor som indgår i Carnots hypotese (q) kan, ved dimensionsanalyse, tolkes som *entropi*, men dette begreb kendte Carnot ikke. Clausius, der formulerede termodynamikkens 2. hovedsætning var påvirket af Carnots arbejde, og selv om han kun kendte det gennem Clayperons og Thomsons arbejde, mente han, at Carnots arbejde var det vigtigeste.[103] Det er derfor muligt, at Clausius også var påvirket af Carnot, da han fandt udtrykket for entropi.

Da nyttevirkningen er arbejdet divideret med systemets potentielle energi, bliver den for henholdsvis vandfaldet og varmemaskinen til:

$$\eta = \frac{W}{mgh_1} = 1 - \frac{h_2}{h_1}$$

$$\eta = \frac{W}{qT_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

Nyttevirkningsformlen ligger således i umiddelbar forlængelse af Carnots analogi. Det er bemærkelsesværdigt at Carnot, med et caloristisk udgangspunkt, faktisk når frem til et "rigtigt" resultat. Analogien har således overlevet den caloristiske teoris fald.

6.3 Analyse af analogien

I lyset af den "caloristiske" opfattelse af varme, har sammenligningen mellem fysiske væsker og varme forekommet ganske nærliggende, skønt det ikke var helt klart, hvilke egenskaber de to "substanser" faktisk havde tilfælles.

Det er kun egenskaberne fra denne klasse, der kan afbildes fra kilde- til målområdet. Det var ikke på forhånd kendt hvilke generelle egenskaber klassens elementer besad. Carnot overførte for eksempel (fejlagtigt), at varme var en bevaret størrelse, som er en væskeegenskab, men han overførte ikke mere specifikke egenskaber ved væsker såsom massefylde.

[103] Brush, 1976, s.569

Kildeområdet er en grundkategori, som er "vandkraftmaskinen" og har billedskemastruktur — det bygger på "op-ned skemaet".
Dette skema strukturerer grundkategorien "vandfald", som bestående af et højt og et lavt niveau. Struktureringen bliver overført til målområdet, sådan, at det høje vandreservoir svarer til det den høje temperatur og det lave vandreservoir svarer til den lave temperatur. Udover denne simple afhængighed, tillægges skemaet også en mere specificeret afhængighed, nemlig at størrelsen af drivkraften er proportional med højden. Carnot mener, at spørgsmålet om proportionalitet må undersøges nærmere, hvorfor dette afbildes på målområdet som en hypotese.
Afbildningen stemmer overens med Lakoffs invariansprincip (se evt. afsnit 4.1.2). Vi mener, at det er invariansprincippet (ønsket om at sammenhængene i kildeområdet, har en tilsvarende sammenhæng i målområdet), der inspirerer Carnot til at undersøge proportionaliteten.

Hvis vi prøver at strukturere analogien ved hjælp af Peirces kategorier, får vi nedenstående skema:

førsteheden	vandstrøm	varmestrøm	
andetheden	højdeforskel	temperaturforskel	(1)
tredieheden	proportionalitet	proportionalitet	

Ligesom i eksemplet med Keplers brug af analogier, kan Peirces tredeling benyttes til at forstå den "ukonventionelle klasse" der indgår i Carnots analogi. I afbildningen svarer vandstrømmen til varmestrømmen. At der findes en sådan "strøm" er forudsætningen for, at der kan udvindes arbejde — denne svarer derfor til førsteheden. Det, der giver arbejdet konkret udmøntning er højdeforskellen henholdsvis temperaturforskellen. Denne forskel svarer til andetheden. Proportionaliteten er den lovmæssighed, der medierer mellem arbejdet og forskellen (henholdsvis højde, temperatur). Derfor svarer proportionaliteten til tredjeheden.

7 James Clerk Maxwell

Vi vil nu se på æteropfattelsen, dvs opfattelsen af at der findes et medium, der udfylder rummet (også vacuum), hvori elektromagnetisk stråling kan udbrede sig. Maxwells arbejde med at lave en teori for elektromagnetisme, var baseret på eksistensen af en æter med veldefinerede mekaniske egenskaber. I 1861 udgav han artiklen "On Physical Lines of Force", hvori han introducere en mekanisk model for sin opfattelse af denne æter.

7.1 Æteren

Forestillingen om en æter var langt fra ny på Maxwells tid[104]. Den stammer fra de første bølgeteorier for lys, hvor man opfattede lys som longitudinale bølger i analogi med lydbølger, hvor den eneste forskel skulle være at lyd forplanter sig i luften, mens lys forplanter sig i et finere medium, nemlig æteren.[105] For at forklare lysets polarisation, foreslog Fresnel i 1819 at lyset bestod af transversale bølger i en æter bestående af partikler, der påvirkede hinanden med centrale, kortrækkende kræfter. Herved blev de holdt i ligevægt i en slags krystalgitter, og lysbølger bestod i partiklernes svingninger omkring denne ligevægt.

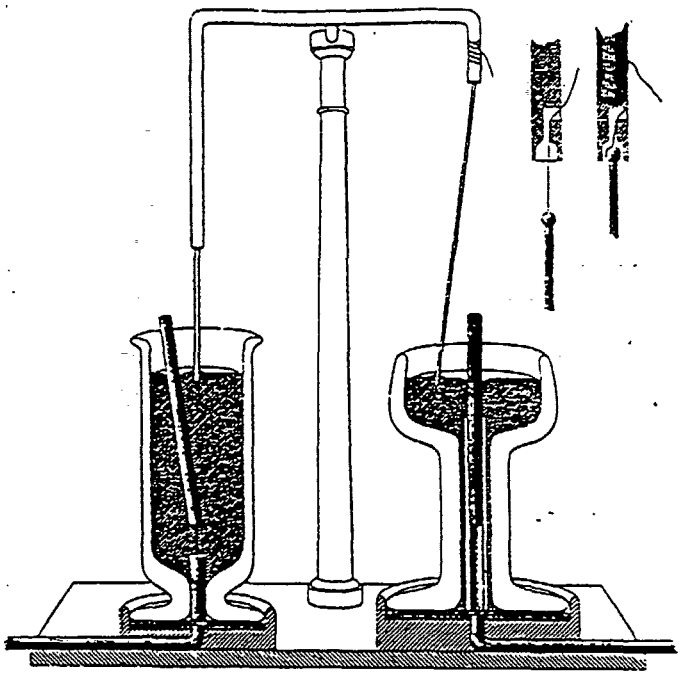
7.2 Rotationen

På samme tid som Fresnel undersøgte lysets natur, arbejdede andre med at beskrive sammenhængen mellem elektrisk strøm og magnetisme, uden at vide at det grundlæggende var det samme fænomen, den elektromagnetiske stråling. I 1820 udgav Ørsted et lille skrift med titlen "Forsøg over den electriske Vexelkamps Indvirkning paa Magnetnaalen". Heri refererede han en række forsøg vedrørende retningen af den kraft, som strømmen udøver på en magnetpol. Han formulerede nogle regler, svarende til den senere velkendte tommelfingerregel, som han sammenfattede i et udsagn om, at den magnetiske virkning sker i cirkler rundt om lederen.

Senere i 1820'erne bestyrkede Faraday Ørsteds udsagn, ved et simpelt forsøg, hvor det lykkedes ham både at få en magnet til at rotere om lederen, og at få lederen til at rotere om en magnet (figur 11). Dette understøttede opfattelsen af at elektromagnetismen i bund og grund var et rotationsfænomen. I 1845 gjorde Faraday en af sine vigtigste opdagelser; at magnetiske kraftlinier omkring en leder kan påvirke en lysstråle. Han konstaterede, at hvis han

[104] Maxwell levede 1831-1879

[105] Denne forskel demonstreres i et forsøg, som var populær i 1600-tallet: Man anbringer en klokke i en glasbeholder. Når luften pumpes ud, forsvinder lyden af klokken, men man ser stadig klokken lige godt.



Figur 11: Faraday's rotationsapparater. De to bægre er fyldt med kviksølv. Til venstre kan stangmagneten rotere om lederen, til højre kan lederen rotere om magneten. Disse apparater kan betegnes som verdens første elektromotorer. Figuren er fra O. Knudsen, 1989, s.21

sendte polariseret lys gennem et stykke glas, der var anbragt mellem polerne på en stærk elektromagnet, blev lysets polariseringsplan drejet, når han satte strøm på magneten. Denne opdagelse fik stor betydning, da det var den første eksperimentelle påvisning af en sammenhæng mellem elektromagnetisme og lys.

Da Faraday ikke havde noget videre kendskab til matamatik (han var selvlærd!), blev hans ideer sjældent taget op af andre forskningsmiljøer. Dette blev der rådet bod på fra omkring 1841, da William Thomson blev meget optaget af Faradays arbejder. Thomson udgav en række artikler, hvori han gjorde Faradays feltteoretiske synspunkter matematisk respektable ved at vise, at de matematiske ligninger, der beskriver de fysiske love, lige så vel kunne udledes fra det nye synspunkt som ud fra den tidligere fjernvirkningspfattelse[106], udviklet især i det tyske fysikkermiljø.
Faradays feltteori bestod i at de magnetiske kraftlinier repræsenterede en særlig tilstand i rummet. Thomson forsøgte at forestille sig denne tilstand som en tilstand af lysæteren. Denne forestilling konkretiserede han i en artikel i 1856. Ved en analyse af egenskaberne ved den magnetiske drejning af polariseringsplanen argumenterede han for, at der i æteren måtte være mikroskopiske dele, der roterede omkring magnetfeltlinierne som akser. Disse

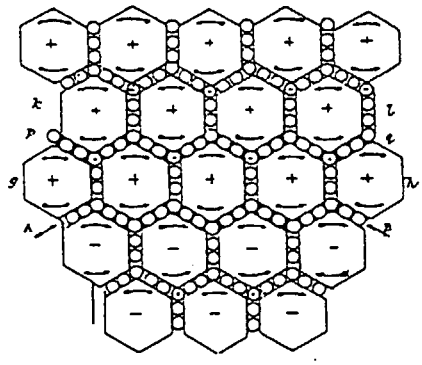
[106]O.Knudsen, 1989, s.24

hvivler ville virke på lysbølgerne, der jo bestod af svingninger i den samme æter, og derved bevirke den iagttagne drejning. Thomson mente, at dette var den eneste mulige forklaring på drejningseffekten, og at der måtte kunne bygges en fuldstændig elektromagnetisk teori herpå.

7.3 Maxwells hvirvelmodel

Thomsons hvirvelidé blev taget op af Maxwell, der var overbevist felttilhænger. I 1854 skrev han til Thomson:

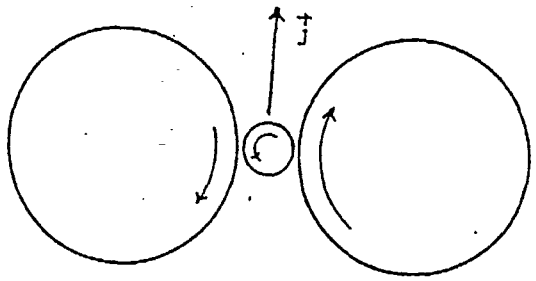
> "[..] jeg har hørt Dem tale om "magnetiske kraftlinier", og Faraday synes at gøre stor brug af dem, men andre synes at foretrække begrebet om en direkte tiltrækning mellem strømelementer...man må kunne gøre noget ved at betragte "magnetisk polarisation" som en egenskab ved et "magnetisk felt" eller rum.."[107]



Figur 12: Maxwells illustration af hvirvelmodellen. Når der går en strøm fra A til B, vil cellerne rotere omkring akser vinkelret på papiret. Rotationsaksernes retning svarer til magnetfeltet omkring en elektrisk strøm. Figuren er fra O.Knudsen, 1989, s.28

Efter at have arbejdet med en analogi med strømlinier i en væske til at opstille differentialligninger for de elektriske og magnetiske kraftlinier (artiklen "Om Faradays kraftlinier" fra 1855), opstillede Maxwell i 1861 en detaljeret mekanisk model for æteren, i artiklen "Om fysiske kraftlinier", baseret på Thomsons hvirvelhypotese. Det er denne model vi her vil beskrive.
Maxwells æter består af meget små celler (mindre end materielle molekyler), som kan sættes i rotation. Cellerne er adskilt af et lag mindre partikler, der kan rulle frit, uden at glide på cellernes overflader.

[107] O. Knudsen, 1989, s 28.



Figur 13: To hvivler med partikel imellem.

Roterer to naboceller lige hurtigt, vil partiklerne mellem dem rotere i modsatte retning på stedet. Men roterer cellerne ikke lige hurtigt, vil de mellemliggende partikler, udover rotationen, også få en translatorisk bevægelse (se figur 13). Hvis en partikel ikke er påvirket af andre kræfter, vil den bevæge sig med en hastighed, som er gennemsnitshastigheden af de to cellers overflade. Dette forhold giver følgende ligning, som er den differentielle form af Ampéres lov:

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathrm{j},$$

hvor $\mathbf{H}$ er den tangentiale gennemsnitshastighed af de to celler og vektoren j er fluxen af partikler. Maxwell så at fluxen af partikler var at sammenligne med en elektrisk strøm. I december 1861 skrev han til Thomson:

> "I suppose that the "magnetic medium" is divided into small portions or cells, the divisions or cell walls being composed of a single stratum of spherical particles, these particles being "electricity." The substance of the cells I suppose to be highly elastic, both with respect to compression and distortion; and I suppose the connection between the cells and the particles in the cell walls to be such that there is perfect rolling without slipping between them and that they act on each other tangentially."[108]

Hvis rotationen af en celle, af en eller anden grund ændres i tiden, vil forstyrelsen udbredes ved berøringen mellem partiklerne og cellerne. Denne udbredelse, viste Maxwell, er bestemt ved

$$\mu \frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t} = -\nabla \times \mathbf{E}$$

hvor μ er densiteten af æteren og $\mathbf{E}$ er kraften, der overføres fra celle til partikel. Maxwell identificerede $\mathbf{E}$ med den elektriske kraft eller det elektriske

[108] E. Whittaker, Vol.I, 1987, s 250.

felts styrke, og $\frac{\partial \mathbf{H}}{\partial t}$ med den tangentiale hastighedsændring på nabocellerne til en given partikel.

Maxwell indførte nu et nyt element i modellen. For at gøre rede for dieletriske stoffers genskaber, fandt han på at tildele cellerne elasticitet, repræsenteret ved en elastisk konstant ε. Hvis partiklerne er påvirket af kræften $\mathbf{E}$ vil de få en forskydning $\mathbf{D}$, der er givet ved Hookes lov:

$$\mathbf{D} = \varepsilon \mathbf{E}.$$

Denne forskydning ville give anledning til en deformation af cellerne, og dertil en lige så stor og modsat rettet elastisk kraft på partiklerne. Forskydningen i sig selv giver ingen strøm af partikler, idet der blot ville indstille sig en ny ligevægt. Derimod ville en variation af forskydningen forårsage en partikelstrøm, og Maxwell slutter, at dette ville forklare forekomsten af en elektrisk strøm. I artiklen "On Physical Lines of Force" skriver han:

> "When the electrical particles are urged in any direction, they will by their tangential action on the elastic substance of the cells, distort each cell, and call into play an equal and opposite force arising from the elasticity of the cells. When the force is removed, the cells will recover their form, and the electricity will return to its former position."[109]

Maxwell modificerer derfor Ampères lov til

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{j} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$$

hvor $\frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t}$ er forskydningsstrømmen.

Maxwell karakteriserede således æteren ved de to mekaniske konstanter μ og ε. Fra den matematiske elasticitetsteori vidste han, at transversale bølger i et elastisk medium forplanter sig med en hastighed V givet ved:

$$V = \sqrt{\frac{G}{\rho}} \tag{2}$$

hvor G er mediets shear-modulus (elastiske stivhed) og ρ er densiteten. I følge fortolkningen af konstanterne μ og ε, beregnede Maxwell bølgehastigheden i æteren ved

$$V = \sqrt{\frac{1}{\mu\varepsilon}}$$

[109] M. Goldman, 1983, s 151.

Han kunne vise at $\mu\varepsilon = \frac{2}{a^2}$, hvor a er Webers konstant[110]. Maxwells bølgehastighed bliver da:

$$V = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon\mu}} = \frac{a}{\sqrt{2}} = 310740 \cdot 10^6 \text{mm/sec}$$

Denne værdi sammenlignede Maxwell med Fizeaus værdi for lyshastigheden fra 1849:

$$c = 314858 \cdot 10^6 \text{mm/sec}$$

og han kunne drage følgende konklusion, som er den første formulering af den elektromagnetiske lysteori:

> "Hastigheden af transversale bølgebevægelser i vort hypotetiske medium, beregnet fra d'Hrr Kohlrausch og Weber's elektromagnetiske eksperimenter, stemmer så nøjagtigt overens med lysets hastighed, beregnet fra Hr Fizeaus optiske eksperimenter, at vi næppe kan undgå den slutning, at *lyset består i transversale bølgebevægelser af det samme medium som er årsagen til de elektriske og magnetiske fænomener.*"[111]

Som nævnt fortolker Maxwell μ som densiteten af æteren. I ligning (2) for bølgehastigheden i et elastisk medium, indgår densiteten (kaldet ρ). Derfor må ε være den reciprokke shear-modulus eller eftergivenheden af æteren.
I den moderne teori for elektromagnetiske bølger, er bølgehastigheden c i vacuum givet ved:

$$c = \sqrt{\frac{1}{\varepsilon_0\mu_0}}$$

hvor ε_0 er permitivitetskonstanten og μ_0 er den magnetiske permeabilitet, begge i vacuum. Man kan vise at disse netop svarer til Maxwells konstanter ε og μ, således at eftergivenheden af æteren ε svarer til permitiviteten ε_0 og densiteten af æteren μ svarer til den magnetiske permeabilitet μ_0.

7.4 Modellens ontologiske status

Der er en markant forskel på den realitet, som Maxwell tillagde de to bestanddele, hvirvler og partikler, i sin model. I artiklen "A Treatise on Electricity and Magnetism" fra 1854 mener han at have et afgørende bevis for, at eksistensen og de karakteristiske egenskaber af Faraday-effekten nødvendiggør

[110]Webers konstant $a = 439450 \cdot 10^6$ mm/sec. Weber mente han havde at gøre med en fundamental konstant, der løst sagt angav styrkeforholdet mellem elektrostatiske og elektromagnetiske kræfter. Weber og Kohlrausch bestemte dens værdi i 1856 ved, at oplade en kondensator, måle dens ladning, og derefter måle den elektromagnetiske virkning af det strømstød, der fremkom ved udladning af kondensatoren.

[111]O. Knudsen, 1989, s 30.

eksistensen af mikroskopiske hvirvler, hvor der er magnetiske kræfter. Om partiklerne skriver han i "On Physical Lines of Force":

> "The conception of a particle having its motion connected with that of a vortex by perfect rolling contact may appear somewhat awkward. I do not bring it forward as a mode of connexion existing in nature, or even as that which I would willingly assent to as an electrical hypothesis. It is, however, a mode of connexion which is mechanically conceivable, and easily investigated, and it serves to bring out the actual mechanical connexions between the known electromagnetic phenomena; so that I venture to say that any one who understands the provisional and temporary character of this hypothesis, will find himself rather helped than hindered by it in his search after the true interpretation of the phenomena."[112]

I "A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field" fra 1864 har han ændret holdning til modellens status, og dermed eksistensen af hvirvlerne:

> "I have on a former occasion attempted to describe a particular kind of motion and a particular kind of strain, so arranged as to account for the phenomena. In the present paper I avoid any hypothesis of this kind; and in using such words as electric momentum and electric elasticity in reference to the known phenomena of the induction of currents and the polarization of dielectrics, I wish merely to direct the mind of the reader to mechanical phenomena which will assist him in understanding the electrical ones. All such phrases in the present paper are to be considered as illustrative, not as explanatory."[113]

Maxwell havde oprindeligt to formål med modellen, dels at udlede de matematiske sammenhænge, som kunne forklare de elektromagnetiske eksperimenter, dels at beskrive de mekaniske egenskaber af den æter, han forestillede sig eksisterede. I ovenstående citat er der åbenbart sket en holdningsændring, for her understreger han at den mekaniske fortolkning af æteren, kun skal opfattes som illustrativ, og altså ikke forklarende, for de fænomener han beskriver. Sagt med andre ord, skal ætermodellen opfattes som en analogi.

Maxwell var hele tiden meget bevidst om brugen af analogier og hvilken status de havde. I "A Treatise on Electricity and Magnetism" skriver han:

> "Now a truly scientific illustration is a method to enable the mind to grasp some conception or law in one branch of science, by placing before it a conception or law in a different branch of science, and directing the mind to lay hold of that mathematical form which is common

[112]M. Goldman, 1983, s 150-151.
[113]M. Goldman, 1983, s.155

> to the corresponding ideas in the two sceiences, leaving out of account for the present the difference between the physical nature of the real phenomena.
> The correctness of such an illustration depends on whether the two systems of ideas which are compared together are really analogous in form, or whether, in other words, the corresponding physical quantities really belong to the same mathematical class. When this condition is fulfilled, the illustration is not only convenient for teaching science in a pleasant and easy manner, but the recognition of the formal analogy between the two systems of ideas leads to a knowledge of both, more profound than could be obtained by studying each system separately."[114]

Han mener altså at kildeområdet i en analogi for et fysisk fænomen, må stamme fra en anden *videnskabelig* gren og at det, der kan overføres fra kilde- til målområde (eller omvendt), skal kunne beskrives ved den samme matematik. At kilde- og målområde har samme struktur, er for ham ensbetydende med at de fysiske størrelser tilhører samme matematiske klasse.

[114]Maxwell 1890, fra J. Hendry 1986, s.252

8 Niels Bohr

Niels Bohr benyttede sig af analogier mellem kvanteverdenen og psykologiske og tanke processer. I dette tilfælde er der altså tale om analogier mellem to ikke særligt velforståede områder. I det følgende beskrives hvordan disse analogier indgik i Bohrs arbejde med de mærkelige fænomener, der foregår i kvanteverdenen, og som han forklarede med sit komplementaritetsprincip.

8.1 Bohrs komplementaritetsprincip

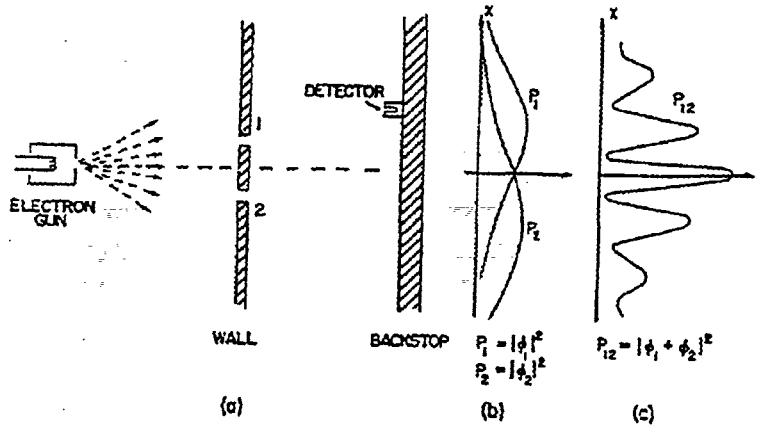
Bohr fremlagde første gang sine tanker om komplementaritet ved en kongres i Como 1927. I senere skrift fremlagde han komplementaritetsprincippet således:

> "[..] Erfaringer opnået under forskellige forsøgsbetingelser kan derfor ikke forbindes i et enkelt billede, men må betragtes som komplementære i den forstand, at fænomenerne kun tilsammen udtømmer de mulige oplysninger om objekterne."[115]

For at forklare, hvorfor forskellige forsøgsbetingelser, giver anledning til forskellige billeder af et objekt, vil vi gennemgå de to billeder, som opstår ved beskrivelse af elektroner. De to billeder, som elektronen giver anledning til, er elektronen som bølge og elektronen som partikel. For at uddybe denne problemstilling vil vi beskrive en "tænkt" måleopstilling (se figur 8.1). Gennemgangen følger Richard Feynmans.[116]

Forsøgsopstillingen består af en elektronkanon, en plade med to spalter og en plade, hvorpå der er placeret en flytbar detektor. Kanonen udsender elektronerne en efter en i et sådant tempo, at det er sikkert, at der ikke affyres en elektron, før den foregående har nået pladen med detektoren. Den flytbare detektor placeres under et forsøg på mange positioner og tæller de elektroner, der ankommer til hver position. Hver gang en elektron bliver detekteret lyder et "klik". Det viser sig, at detektoren, uanset hvordan eksperimentet stilles op, altid registrerer hele elektroner — de "klik", der høres fra detektoren er lige kraftige. Der er ikke nogen fast periode mellem to "klik", men middelfrekvensen, taget over et tidsinterval, er konstant for en fastholdt position. Hvis detektoren flyttes ændres frekvensen, men lydstyrken er uforandret.
I enkeltspalte forsøget lukkes først for spalte 2, og frekvensen bliver som P_1. Lukkes for spalte 1 ses fordelingen P_2. Dette svarer til, hvad man ville forvente både ved en bølge og en partikelbeskrivelse, men da detektoren også i dette tilfælde registrerer hele "klik" svarende til hele elektroner, og ikke

[115] Bohr, 1949. Fra Bohr, 1957, s. 53
[116] Feynman, 1966, kap. 1-6



Figur 14: Feynmans beskrivelse af interferenseksperiment med elektroner. P betegner sandsynligheden og ϕ betegner bølgefunktionen. Figuren er fra Feynman, 1966, s.1-4

lavere "klik" svarende til en bølge, der ikke er lokaliseret, er partikelbilledet udfra dette forsøg, det mest sandsynlige.

Hvis elektroner virkelig var klassiske partikler, skulle frekvensfordelingen ved et forsøg, hvor begge spalter var åbne, være $P_1 + P_2$. Istedet viser det sig, at fordelingen er givet ved $P_{12} = \mid \phi_1 + \phi_2 \mid^2$, hvor ϕ er elektronens bølgefunktion[117]. Denne fordeling udgør et interferensmønster og derfor burde elektronerne være bølger. For at forstå interferensmønsteret med en partikelbeskrivelse ville det være nødvendigt at mene, at elektronen undervejs passerede gennem begge spalter og det er trods alt for mærkeligt. Ved *registreringen* udviser elektronerne, som ved enkeltspalteforsøget, partikelegenskaber, men deres opførsel undervejs, som giver anledning til interferensmønsteret, giver billedet af elektronen som bølge.

Der er tilsyneladende et misforhold mellem de to situationer. Enkeltspalteforsøget giver anledning til at opfatte elektronerne som partikler, mens vi i dobbeltspalteforsøget ser, at elektronerne, når de passerer spalterne, opfører sig som bølger. Det lyder mystisk, og det *er* mystisk, men det er ikke desto mindre et faktum, som man ikke kan slippe uden om. Det er sådan, at en måleopstilling altid vil have indflydelse på systemets opførsel. Det bliver selv-

[117] P-erne er sandsynlighedstætheder, og disse er lig normkvadratet på bølgefunktionen

følgelig særlig relevant i kvantefysikken, fordi de størrelse man arbejder med er så forsvindende små. Dette tilsyneladende paradoks i elektronernes fremtoning søgte Bohr at forklare med komplementaritetsprincippet. Han skriver (samme citat som før, men et længere uddrag):

> "I denne forbindelse er det af største betydning at gøre sig klart, *at redegørelsen for alle erfaringer — uanset hvor langt fænomenerne ligger uden for den klassiske fysiske beskrivelses rækkevidde — må udtrykkes ved klassiske begreber.* Begrundelsen er simpelthen, at vi med ordet "eksperiment" henviser til en situation, hvor vi kan fortælle andre hvad vi har gjort og hvad vi har lært, og at forsøgsanordningen og måleresultaterne derfor må beskrives i det sædvanlige sprog med passende anvendelse af den klassiske fysiks terminologi.
> Dette afgørende punkt, [..] medfører *umuligheden af en skarp adskillelse mellem atomare objekters opførsel og deres vekselvirkning med de måleinstrumenter som tjener til at definere betingelserne hvorunder fænomenerne optræder.* De typiske kvanteeffekters individualitet finder netop udtryk i den omstændighed, at enhver opdeling af fænomenet ville kræve en ændring af forsøgsanordningen med nye muligheder for principiel ukontrollerbar vekselvirkning mellem objekter og måleinstrumenter. Erfaringer opnået under forskellige forsøgsbetingelser kan derfor ikke forbindes i et enkelt billede, men må betragtes som *komplementære*[118] i den forstand, at fænomenerne kun tilsammen udtømmer de mulige oplysninger om objekterne."[119]

For at kunne beskrive kvantefænomenerne udtømmende, er vi altså nødt til at arbejde med både bølge- og partikelbeskrivelsen, men forstå, at ingen af billederne er reelle billeder af, hvad der foregår. Faktisk kan vi, mener Bohr, ikke i billedlige termer forklare, hvordan kvantefænomenerne opfører sig i virkeligheden (det såkaldte *billedforbud*), men vi kan ikke slippe uden om den klassiske beskrivelse. Efter denne korte introduktion til komplementaritetsbegrebet, vil vi vende os mod baggrunden for udviklingen af dette.

8.2 Grundlaget for Bohrs komplementaritetsprincip

For at forstå, hvor Bohr fandt sin inspiration, er det nødvendigt at gå tilbage til hans ungdom. Vi mener, at Bohr i udviklingen af komplementaritetsbegrebet har fået inspiration fra (mindst) tre forskellige skribenter nemlig filosoffen William James, psykologen Edgar Rubin og forfatteren Poul Martin Møller.[120] Udover de nævnte tre, har Bohr formentlig også været påvirket af

[118] Vores fremhævelse
[119] Bohr, 1949. Fra Bohr, 1957, s. 53
[120] Vi har til dette afsnit hentet inspiration i Holton, 1973, s. 115-165

sin bekendte, filosoffen Harald Høffding, og af Søren Kierkegaard, men deres indflydelse har vi valgt at se bort fra i gennemgangen. I de følgende afsnit gennemgår vi de forskellige personers mulige bidrag til Bohrs begrebsdannelse.

Ekliptika

Fra Bohrs tidligste studieår (ca. 1905) fulgte han en række foredrag og seminarer af filosoffen Harald Høffding, og der er ikke megen tvivl om, at disse foredrag gjorde stort indtryk på den unge Bohr. Efter Høffdings forelæsninger mødtes Bohr med en række andre studerende, og diskuterede emner af filosofisk karakter. Klubben beskrives således af kunsthistorikeren Vilhelm Sloman, der selv var medlem:

> "Fra 1905 samlede Edgar Rubin, den senere professor i psykologi, i en række vintre oprindeligt tolv jævnaldrende til møder af den velkendte studentertype: et foredrag, en kop restaurants- eller pensionatste og diskussion under et stærkt forbrug af tobak. Natur- og samfundsvidenskaberne, geografi og de gamle humanistiske fag: filosofi, litteratur, sprog arkæologi og historie var repræsenterede, og de tolvs forskelligt-rettede interesser fandt udtryk i foreningens højtklingende navn: Ekliptika. Rubin vedblev at være det vaagne og naturlige midtpunkt i denne kreds, hvis fleste medlemmer i tidens fylde blev professorer eller paa anden maade fik lejlighed til at tage del i videnskabeligt arbejde."[121]

Der var altså i klubben et bredt fagspektrum repræsenteret, og det passede sikkert fint med ånden i Høffdings forelæsninger.

Bohr og William James

En af drivkræfterne i Ekliptika var Edgar Rubin, og der er noget der tyder på, at han spillede en væsentlig rolle i Bohrs intellektuelle udvikling, ligesom Harald Høffdings forelæsninger gjorde det. Udover, som vi senere vil beskrive, selv at arbejde med ideer, der lignede komplimentaritetsprincippet, introducerede Rubin nemlig Bohr for den amerikanske filosof William James[122], og det er denne påvirkning vi skal undersøge i dette afsnit. At Bohr havde været inspireret af William James kom frem i et interview med Bohr dagen inden han døde. Interviewet blev forestået af Thomas S. Kuhn og Aage Pedersen:

> "AaP: How did you look upon the history of philosophy? What kind of contributions did you think people like Spinoza, Hume, and Kant had made?
> NB: That is difficult to answer, but I felt that these various questions

[121] Sloman, kronik i Politiken, 7. oktober, 1955.
[122] Der iøvrigt var en meget nær ven af C.S. Peirce

were treated in an irrelevant manner [in my studies].
AaP: Also Berkeley?
NB: No, I knew what views Berkeley had. I had seen a little in Høffding's writings, but it was not what one wanted.
TSK: Did you read the works of any of these philosophers?
NB: I read some, but that was an interest by [and here Bohr suddenly stopped and exclaimed] — oh, the whole thing is coming [back to me]! I was a close friend of Rubin, and, therefore, I read actually the work of William James. William James is really wonderful in the way he makes it clear — I think I read the book or a paragraph, called... No, what is that called? it is called "The Stream of Thoughts", where he in a most clear manner shows that it is quite impossible to analyze things in terms of — I don't know what to call it, not atoms, I mean simply, if you have some things... they are so connected that if you try to separate them from each other, it just has nothing to do with the actual situation. I think that we shall really go into these things, and I know something about William James. That is coming first up now. And that was because I spoke to people about other things, and then Rubin advised me to read something of William James, and I thought he was most wonderful.
TSK: When was this that you read William James?
NB: That may be a little later, I don't know. I got so much to do, and it may be at the time I was working with surface tension [1905], or it may be just a little later. I don't know.
TSK: But it would be before Manchester [1912]?
NB: Oh yes, it was many years before."[123]

Bohr klargør, at Rubin introducerede Bohr for William James flere år før 1912. Emsige historieskrivere vil bemærke, at Bohrs kollega Léon Rosenfeld hævder, at Bohr ikke kendte til William James' bog før 1932, altså fem år efter han formulerede komplementaritetsprincippet, men vi vælger at tro på Bohrs eget udsagn. Det er heller ikke usandsynligt at Bohr har hørt om James gennem Harald Høffding allerede før 1912. Høffding havde nemlig besøgt William James i 1905 — lige omkring den tid "Ekliptika" blev dannet.
"The Stream of Thought" — teksten som Bohr refererer til er kapitel ni i James' bog "The Principles of Psychology" (1890). Der er i dette kapitel *mange* paralleller mellem Bohrs forstillinger om kvanteverdenen og menneskets tankevirksomhed, og det vil blive for omfattende at gengive alle de passager der er interessante i den sammenhæng. Men lad os starte med et udpluk, som beskriver tankens to *stadier* og hvordan disse "are so connected that if you try to seperate them from each other, it just has nothing to do with the actual situation":

[123]Holton, 1973, s. 137-138

> "*Let us call the resting-places the "substantive parts" and the places of flight the "transitive parts", of the stream of thought.* It then appears that the main end of our thinking is at all times the attainment of some other substantive part than the one from which we have just been dislodged. And we may say that the main use of the transitive parts is to lead us from one substantive conclusion to another.
> Now it is very difficult, introspectively, to see the transitive parts for what they really are. If they are but flights to a conclusion, stopping them to look at them before the conclusion is reached is really annihilating them. Whilst if we wait till the conclusion *be* reached, it so exeeds them in vigor and stability that it quite eclipses and swallows them up in its glare. [..] The rush of the thought is so headlong that it almost always brings us up at the conclusion before we can arrest it. Or if our purpose is nimble enough and we do arrest it, it ceases forthwhith to be itself. As a snowflake crystal caught in the warm hand is no longer a crystal but a drop, so, instead of catching the feeling of relation moving to its term, we find we have caught some substantive thing, usually the last word we were pronouncing, statically taken, and with its function, tendency, and particular meaning in the sentence quite evaporated. The attempt at introspective analysis in these cases is in fact like seizing a spinning top to catch its motion, or trying to turn up the gas quickly enough to see how the darkness looks."[124]

Der er to umiddelbare paralleller at knytte i dette citat. Dels forestillingen om elektronernes baner og springene mellem dem (substantive parts, transitive parts), og dels fysikerens begrænsede muligheder for beskrivelse af et fænomen — "like seizing a spinning top to catch its motion". At Bohr også har (eller kan have) fundet paralleller til komplementaritetsprincippet hos James er også tydeligt i dette citat, men der er en endnu klarere parallel andetsteds i James' bog. Denne findes i kapitlet lige før "The Stream of Thought", og i "Stream of Thought" henvises der faktisk til dette kapitel [125]. Kapitlet bærer titlen "The Relation of the Mind to other Things" og omhandler blandt andet psykologiske eksperimenter med hysterisk lammede. James refererer en undersøgelse:

> "But Messrs. Pierre Janet and A. Binet have shown that during the times of anæsthesia, and coexsisting with it, *sensibility to the anæsthetic parts is also there, in the form of a secondary conciousness* entirely cut off from the primary or normal one [..]"[126]

[124]James, 1890, s. 243-244
[125]James, 1890, s. 227
[126]James, 1890, s. 203

Mens den lammede patient talte med en person, blev patienten addresseret af en tredje, bagvedsiddende person, og svarede (f.eks. skriftligt) på dennes spørgsmål uden at den primære bevidsthed bemærkede det. Den sekundære person var i stand til at gøre brug af de lammede legemsdele. James konkluderer:

> " It must be admitted, therefore, that *in certain persons,* at least, *the total possible consciousness may be split into parts which coexists but mutally ignore each other*, and share the objects of knowledge between them. More remarkable still, they are *complementary.* Give an object to one of the consciousnesses, and by that fact you remove it from the other or others."[127]

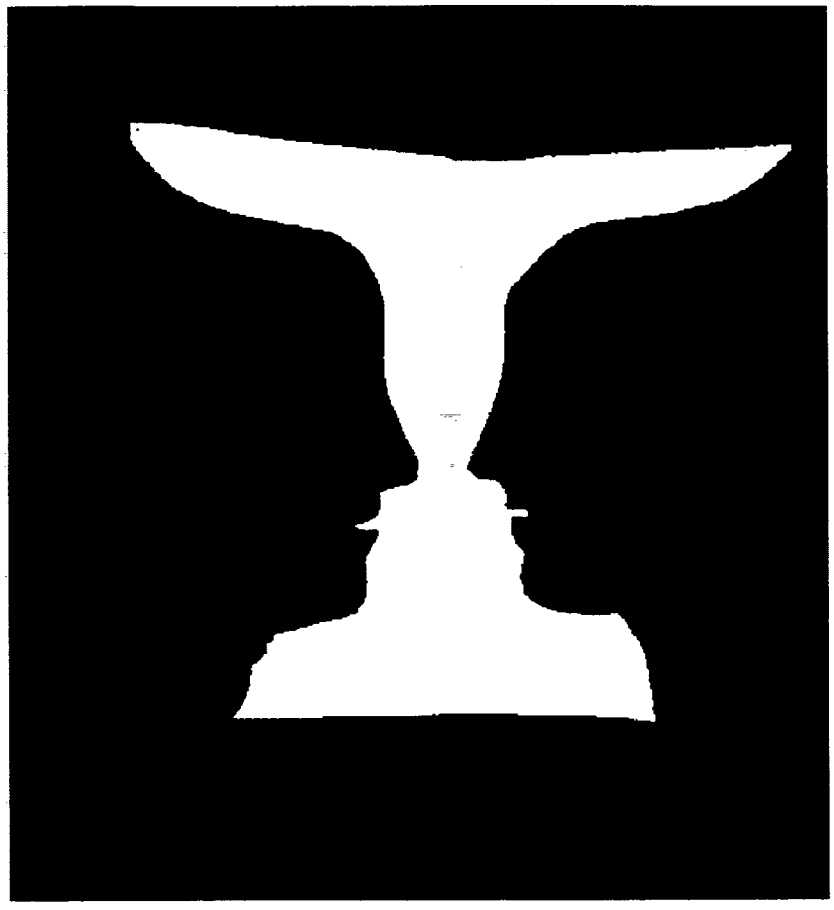
Det vil altså sige, at den totale bevidsthed kan deles i en primær og en sekundær bevidsthed. Bevidsthederne eksisterer sammen, men ignorerer hinanden. Da man, idet man gør den ene bevidsthed opmærksom på et fænomen, samtidig fjerner fænomenet fra den anden bevidsthed, siges de to bevidstheder at være komplementære. Det er bestemt ikke umuligt at Bohr har læst denne passage, men selv hvis han ikke har, er der en anden analogi til komplementaritetsprincippet, som Bohr helt sikkert har stiftet bekendtskab med. Edgar Rubin, der introducerede Bohr for William James, har nemlig i sit eget arbejde behandlet et "komplementaritetsfænomen".

Rubins synsoplevende figurer

Rubins doktorafhandling er fra 1915 og bærer titlen "Synsoplevede Figurer". Afhandlingen omhandler blandt andet en diskussion af forholdet mellem (bag)Grund og Figur, og rummer den tegning (se figur 8.2), som populært kaldes "Rubins vase".[128] Figuren, som har familie andetsteds i denne rapport (se figur 1), viser to "komplementære" billeder. Til beskrivelse af figuren skriver Rubin, hvis knudrede sprog til forveksling ligner Bohrs:

> "Om end det som Regel er let at erkende, at der er en stor Forskel mellem det, der opleves, naar et Felt fra at have været oplevet som Grund opleves som Figur, kan der undertiden, netop naar man vil være rigtig grundig, optræde Faktorer, der tilslører denne Erkendelse. For det første kan den Bevidsthed gribe forstyrrende ind, at hvad enten man forholder sig paa den ene eller den anden Maade, er det dog en og samme objektive Genstand, man har for sig; det gælder her om at gøre sig klart, at man ikke skal fælde nogen Dom om den objektive Genstand, men udelukkende om de forskellige oplevede Genstande. Man skal saa vidt muligt trænge sin Viden om den objektive Genstand tilbage i bevidstheden."[129]

[127]James, 1890, s. 206
[128]Rubin, 1915, s. 30 afbildning 3
[129]Rubin, 1915, s. 32



Figur 15: Rubins vase: Der ses enten en vase eller to ansigter

Ud over, at komplementariteten mellem Grund og Figur fremstår klart på figur 8.2, er det værd at bide mærke i, at Rubin skriver, at man ikke skal fælde nogen (perceptuel) dom om den "objektive Genstand". Der er, for os at se, en parallel til Bohrs "billedforbud" i dette.

Bohr og Poul Martin Møller

Léon Rosenfeld har beskrevet, hvordan Bohr i trediverne ofte refererede en passage fra den danske forfatter Poul Martin Møllers bog "En dansk Students Eventyr" (1856). Studentens fætter, Licentiaten prøver at forklare førstnævnte, hvorfor han i over et år ikke har kunne begive sig den sidste halve mil til Ravnshøj:

> "Min uendelige Grandsken derover giør, at jeg Intet udretter. Fremdeles kommer jeg til at tænke paa mine Tanker derover, ja jeg tænker over, at jeg tænker derover, og deler mig selv i en uendelig tilbageskridende Rad af Jeger, der betragte hinanden. Jeg veed ikke, hvilket Jeg der skal standses ved som det egentlige, og i det Øieblik jeg standser ved eet, er det jo igien et Jeg, der standser derved. Jeg bliver ør og betaget af svimmelhed, som om jeg stirrede ned i en bundløs Afgrund,

og Tænkningen endes med, at jeg føler en rædsom hovepine."[130]

Andetsteds kommer Licentiaten med følgende betragtning:

> "..uagtet Erfaringen utallige Gange har viist, at det dog lader sig giøre, piner jeg mig selv for at løse den uforklarlige gaade, hvordan man kan tænke, tale eller skrive. Seer De, min Ven! En Bevægelse forudsætter en Retning. Forstanden kan ei skride frem uden at bevæge sig i en vis tænkt Linie; men inden den følger denne Linie; maa den jo iforvejen have tænkt sig den. Altsaa har man jo bestandig tænkt enhver Tanke, førend man tænker den. Enhver Tanke, der synes at være Minutets Værk forudsætter saaledes en Evighed. Den kunde giøre mig næsten forrykt. Hvorledes kan da nogen Tanke fødes, da den altid maa have været til, før den bliver til? Naar De skriver en Periode, maa De jo have Perioden i Hovedet, førend De skriver den. Men førend De fik den i Hovedet, maa De jo have tænkt Dem den; hvoraf kunde man ellers vide, der kunde tilvejebringes en Periode? Og førend De tænkte Dem den, maa De jo have forestillet Dem den; hvorledes kunde De ellers være faldet på at forestille Dem den? Saaledes gaar det frem i det Uendelige, og denne Uendelighed begrænses af et Øjeblik. [..] Indsigten af Tankens Umuligheder indeholder selv en Umulighed, og Erkjendelse heraf frembringer paa ny en uforklarlig Modsigelse."[131]

Licentiaten lider af, at han hele tiden kommer til at tænke på den tanke han tænker, og derefter tænker han på denne nye tanke. En af de tanker han derved har fået er, at der før enhver tanke, ligger en anden tanke, nemlig den tanke, der tænker den. En specifik tanke er dermed for Licentiaten dels et resultat af en uendelighed af tanker, og giver selv anledning til en ny uendelig. Konsekvensen for Licentiaten er, at han ikke kan udrette noget som helst. Hvorvidt Bohr har kendt til denne historie før han formulerede komplementaritetsprincippet, har vi ikke kunne spore, men sikkert er det, ifølge Holton[132] at Bohr så "Tankens Umulighed" som udtryk for et komplementaritetspricip i filosofien.

8.3 Analyse af Bohrs brug af analogier

Vi har i det foregående afsnit set på tre forskellige analogier til Niels Bohrs komplementaritetsbegreb, nemlig hhv. William James' beskrivelse af hysterisk lammedes "dobbelte bevidsthed", Edgar Rubins vase (Grund/Figur) og Licentiatens overvejelser om Tankens umulighed (tanke/tankens tanke). Vi

[130]Møller, 1856, s. 42
[131]Møller, 1856, s. 73-74
[132]Holton, 1973, s. 148

mener, at Peirces kategorier kan bruges i denne sammenhænge, og vi vil nu se på de forskellige eksempler udfra Peirces kategorier.
James' beskrivelse af den hysterisk lammede kan ses således:

Førstehed	Primær bevidsthed
Andethed	Sekundær bevidsthed
Tredjehed	Komplementaritet

Og dog. James skriver, at "*the total possible consciousness may split into parts which coexist but mutually ignore each other*" (se s. 83). Hvordan kan vi være sikre på, at den primære bevidsthed svarer til førsteheden, og den sekundære bevidsthed svarer til andetheden? James kalder dem godt nok primær og sekundær, men understreger at den sekundære bevidsthed kan "fylde" en stor del af den samlede bevidsthed. Det virker som om James blot har givet den del af bevidstheden, der "råder over", lyder personens navn primær status. Fra en anden betragtning kunne skemaet derfor ligeså godt se således ud:

Førstehed	Sekundær bevidsthed
Andethed	Primær bevidsthed
Tredjehed	Komplementaritet

Det samme ser vi i eksemplet med Rubins vase. Med Peirce kan vi sige:

Førstehed	Grund (ansigter)
Andethed	Figur (vase)
Tredjehed	Komplementaritet

I dette tilfælde ser vi vasen, med en sort baggrund. Vi ser ikke ansigterne. I det andet tilfælde ser vi ansigterne, men ikke vasen:

Førstehed	Grund (vase)
Andethed	Figur (ansigter)
Tredjehed	Komplementaritet

Kategoriseringen af Rubins vase afhænger altså af, hvilket billede vi ser for os i den konkrete situation. Ser vi vasen, svarer denne til andetheden, men ser vi ansigterne, er det dem, der svarer til andetheden. Til beskrivelse af komplementaritetsfænomener, er vi altså nødt til at lave to ligeværdige inddelinger. Vi har for overskuelighedens skyld valgt at opstille kategoriseringen skarpt. Det kan dog diskuteres om ikke det snarere er konfrontationen mellem grund og figur, og dermed grænsen mellem de to, der er andetheden. Med denne inddeling bliver figurerne hver for sig førsteheder, idet de potentielt indeholder figur eller grund. Hovedpointen er under begge omstændigheder, at de to konkurrerende billeder er nødvendige for hinanden og tilsammen danner en helhed.
For Poul Martin Møllers Licentiat gør det samme sig gældende. Altså, at vi fra den ene betragtning må sige:

Førstehed	Tanken om tanken
Andethed	Tanken
Tredjehed	Komplementaritet

Og fra den anden betragtning ser det således ud:

Førstehed	Tanken
Andethed	Tanken om tanken
Tredjehed	Komplementaritet

Det skal her bemærkes, at det er Poul Martin Møllers Licentiat, der mener, at der før enhver tanke er en tanke om tanken. Hvis det var rigtigt, at tankeprocesser foregik på denne måde ville vi aldrig tænke en tanke. Det er nødvendigt med et startpunkt jvf historien om Akilleus og Skildpadden. Det første skema har et sådant udgangspunkt — i tanken, men ingen af skemaerne er udtryk for en sund tankegang.
Vi har nu betragtet, hvad man udmærket kan kalde "kildeområder" i Bohrs analogi, og nu vender vi os mod målområdet. Strukturen i målområdet skal, ifølge invariansprincippet, være i overensstemmelse med kildeområdets struktur. Lad os på den baggrund prøve at forstå Bohrs beskrivelse af komplementaritet i kvantefysikken. Der indgår, groft sagt, tre elementer i komplementære beskrivelse af elektronen nemlig bølgebeskrivelsen, partikelbeskrivelsen og de to beskrivelsers komplementaritet. Det er klart, at den gensidige udelukkelse må være udtryk for en tredjehed — det er indførelsen af dette begreb, der medierer mellem de to beskrivelser. Spørgsmålet er så, hvordan vi skal fordele bølge/partikel på første- og andetheden? Vi opererer, ligesom i kildeområdet med to beskrivelser. I den ene situation er kategoriseringen således:

Førstehed	Bølgebeskrivelse
Andethed	Partikelbeskrivelse
Tredjehed	Komplementaritet

I den anden situation er kategoriseringen således:

Førstehed	Partikelbeskrivelse
Andethed	Bølgebeskrivelse
Tredjehed	Komplementaritet

For at forstå forskellen mellem de to tilfælde betragter vi igen eksperimentet skitseret på s. 78. Vi starter med situationen, hvor en af spalterne er lukket. I dette tilfælde svarer bølgebeskrivelsen til førsteheden og partikelbeskrivelsen til andetheden. I dette forsøg er der meget der tyder på, at elektroner er partikler — elektronernes bølgekvaliteter er kun potentielle — den konkrete manifestation er partikler. Vi kan forstå forsøget ved hjælp af komplementaritetsbeskrivelsen (tredjehed).
Vi ser nu på dobbelspalteeksperimentet. Hvis elektronerne virkelig var partikler ville dette forsøg give en frekvensfordeling $P = P_1 + P_2$. Udfaldet af eksperimentet er imidlertid et andet, nemlig at sandsynlighedstætheden er beskrevet ved $P = \mid \phi_1 + \phi_2 \mid^2$. Det er andethed — en aktuel begivenhed, der

står i kontrast til den partikelbeskrivelse, som vi så før. I begge forsøgene ses partikelegenskaberne ved registreringen i detektoren, men bølgeegenskaberne er nødvendige for at kunne forklare elektronens opførsel undervejs. Eller snarere for at kunne forklare interferensmønstret som er et resultat af denne opførsel. Forståelsen af de to situationer kan igen opnåes ved hjælp af komplementaritetsprincippet. De to beskrivelser (hhv. bølge- og partikelbeskrivelsen) er hver for sig utilstrækkelige til at beskrive kvantevirkeligheden. Komplementaritetsprincippet i kvantefysikken følger altså nøje de andre komplementaritetsfænomeners struktur. Denne struktur har vi beskrevet ved to forskellige forslag til kategoriseringer, hvor de indgående komplementære størrelser svarer hhv. førstehed, andethed og andethed, førstehed. Hvilken af de komplementære størrelser der svarer til førsteheden er afhængig af den eksperimentelle situation.
Både partiklen og bølgen er ifølge Lakoff grundkategorier. Vi husker, at dette er det højeste niveau, hvor vi har et billede af elementerne i kategorien. Elektronen hører hjemme på et niveau under grundkategorierne. Man kunne forstille sig et hieraki, der på et niveau indeholder fysiske udbredelsesfænomener, og på det næste er splittet op i bølger og partikler. Som underniveau til dette findes så elektronerne. På grund af den klassiske hierakiske struktur er elektronen placeret i enten bølge- eller partikeldelen og ikke i begge. Man kunne forestille sig at der blev dannet en tredje grundkategori, som skulle indeholde objekter med både partikel og bølgeegenskaber. Men denne slags objekter hører hjemme på et niveau over grundkategorierne, og på disse niveauer har vi ikke billeder af objekterne. Det kunne være denne konflikt, som førte til at Bohr "nedlagde" et "billedforbud".

8.4 Bohrs opfattelse af komplementaritet

I det foregående, har vi set, hvordan Bohr hentede inspiration til udviklingen af komplementaritetsprincippet fra fagområder, der umiddelbart ligger langt væk fra fysikkens verden. Bohr var formentlig bevidst om dette forhold. Han mente, i hvert fald, at komplementaritetsprincippet strakte sig ud over fysikkens grænser. Dette forhold har han beskrevet adskillige steder. Han udtrykker det selv således:

> "[..] vi [har] ved kvantefysikkens komplementære beskrivelse at gøre med en videregående modsigelsesfri generalisation, som giver plads for lovmæssigheder, der er afgørende for redegørelsen for stoffets fundamentale egenskaber, men som ligger uden for den deterministiske beskrivelses rækkevidde. Således viser den fysiske videnskabs historie, hvorledes udforskningen af stadig mere omfattende erfaringsområder ved at afsløre upåagtede begrænsninger af tilvante forestillinger åbner nye veje til at genoprette logisk orden. Som vi skal forsøge at

vise, minder den i atomfysikkes udvikling indeholdte erkendelsesteoretiske belæring os om lignende situationer med hensyn til beskrivelse og sammenfatninger af erfaringer langt uden for den fysiske videnskabs grænser."[133]

Bohrs idé gik dog endnu videre. Citatet skal ikke blot forstås sådan, at komplementaritetsfænomenet kunne benyttes i andre sammenhænge, men at der i sidste ende var tale om en "dybere sammenhæng" mellem kvantemekanikken og erkendelsen:

"Den Henvisning til visse psykologiske Problemer, som findes i Artiklens senere Del, har et dobbelt Formaal. De Analogier med visse Grundtræk i Kvanteteorien, som Lovmæssighederne paa det psykiske Område udviser, turde ikke alene gøre det lettere for os at finde os til rette i den for Fysikken nye Situation, hvori vi befinder os, men det vilde maaske ikke være for dristigt at haabe, at den Belæring, vi har vundet vedrørende de efter Sagens Art saa meget simplere fysiske Problemer, ogsaa vil vise sig behjælpelig for Bestræbelserne med at opnaa et Overblik over de dybere liggende psykologiske Spørgsmaal. Som fremhævet i Artiklen, staar det klart for Forfatteren, at det foreløbig kun kan dreje sig om mere eller mindre træffende Analogier. Dog kunde der bag disse ikke alene ligge et Slægtskab med Hensyn til den erkendelsesteoretiske Side af Sagen, men en dybere Sammenhæng turde ligge skjult bag de biologiske Grundproblemer, der har direkte Forbindelse til begge Sider. Uden at Kvanteteorien endnu kan siges paa væsentlig Maade at have bidraget til Belysningen af de sidstnævnte Problemer, er der dog meget, der tyder paa, at vi her møder Spørgsmaal, der staar Kvanteteoriens Forestillingskreds nær."[134]

Bohr mente altså at der var en slags ligevægt mellem kilde og målområde. Han håbede, at analogien med psykologien som kilde og kvantefysikken som målområde kunne medvirke til at fysikere fandt sig til rette i den nye situation. Derefter håbede Bohr at kvantefysikken kunne fungere som kildeområde til en forståelse af psykologiske problemer. Dette forhold forklarede han ved at se de kildeområder vi har kigget på som mere end blot dele af analogier — de var grundlæggende udtryk for det samme fænomen.

[133]Bohr, 1954. Fra Bohr, 1957, s.91
[134]Bohr, 1929. Fra Bohr (Rüdinger), 1985, s. 272

9 Netværksmodeller

I de foregående kapitler har vi fokuseret på en række historiske tilfælde af fysiske opdagelser, hvor metaforisk ræsonneren har spillet en påviselig rolle i opdagelsesprocessen. Alle disse opdagelser har været "banebrydende" på hver deres måde — der er tale om epokegørende opdagelser, som har haft stor betydning for fysikkens videre udvikling.
Dette valg af eksempler kunne måske give indtryk af, at metaforer kun spiller en konstruktiv rolle i videnskabenskabelig erkendelse et par gange eller tre i et århundrede — at metaforisk ræsonneren er en sjældent forekommende, inspireret erkendelsesform, som udelukkende er forbeholdt store videnskabelige genier. Kort sagt kunne man spørge sig: Hvis metaforisk ræsonneren kun er relevant i epokegørende opdagelsessammenhænge, som ligger langt uden for den almindelige fysikers daglige virkefelt, hvorfor så overhovedet bruge tid på emnet; hvad har det med os og vores fysikstudium at gøre?

Det er imidlertid en ganske almindelig foreteelse blandt fysikere, at man søger at, forstå eller forklare ét systems opførsel, ved at sammenligne det med et andet system, af en type man er mere fortrolig med, og som udviser en "lignende" opførsel.
Hvad det konkret er for nogle systemer, man er "mere fortrolig med", afhænger selvsagt af hvem "man" er. Men der er dog angiveligt visse historiske tendenser i den henseende — således var det, i forbindelse med tidlige studier af elektromagnetisme, almindeligt at sammenligne de observerede fænomener med analoge mekaniske systemer[135]. Nutildags falder det — i hvert fald blandt fysikere på RUC — mere naturligt, at benytte elektriske analogier til at forstå andre typer af systemer; det kan f.eks dreje sig om mekaniske, akustiske, termiske, magnetiske eller, for den sags skyld, blandede systemer. Om de involverede sytemer er af den ene eller den anden slags, er ikke essentielt i denne sammenhæng. Det interessante er, at denne måde at ræsonnere på, går på tværs af konventionelle systemklasser (som f.eks de ovennævnte), og at der i det enkelte tilfælde kan ses en klar distinktion mellem et kilde- og et målområde. Kort sagt svarer brugen af disse analogier, som vi skal se, til vores definition af metaforisk ræsonneren. I modsætning til de opdagelsesprocesser vi hidtil har set på, og som man med en vis ret kunne karakterisere som enkeltstående tilfælde, afhængige af "en lykkelig tankegang" eller "et heldigt præg af intellekt" (jvf. citatet af Whewell på side), benyttes netværksanalogierne *systematisk* som et egentligt redskab i mange fysikeres daglige arbejde.

I afsnit 9.1 introduceres teknikken ved hjælp af elementære ækivalenser mellem elektriske og mekaniske systemkomponenter. I afsnit 9.2 ser vi på et noget sværere eksempel, for at vise hvordan man med en netværksanalogi

[135]Maxwell anså f.eks æterens mekaniske egenskaber for et middel til at anskueliggøre sin elektromagnetiske teori, snarere end at tilkende den en ontologisk status, som omtalt sidst i kapitel 7.

kan danne sig en intuitiv indsigt i en eksperimentel respons-situation, som ellers kan virke ret uoverskuelig.

9.1 Passive elementer i elektriske kredsløb og deres mekaniske ækvivalenter

Ved analyse af et elektrisk kredsløb, opdeler man den passive del af systemet — det vil sige den del af systemet, som ikke omfatter spændingskilder eller strømgeneratorer — i et antal mindre enheder, såkaldte passive elementer, forbundet med strømførende ledninger. Det er tilstrækkeligt til vores formål at omtale de tre velkendte typer af passive elementer: Kondensator, modstand og selvinduktion. I almindelighed benyttes disse elementer som grundlag for en idealiseret opfattelse af systemet — man antager f.eks, at hele systemets kapacitans er samlet i kondensatorerne, altså at der ikke forekommer ladningsophobninger andre steder i systemet; at der ikke forekommer energitab andre steder end i modstandene; at ledningerne, som forbinder elementerne, ikke påvirker strømmen på nogen som helst anden måde, end ved passivt at lade den passere, etc.

Denne idealiserede opdeling af det elektriske kredsløb i distinkte typer af passive elementer, har en klar analogi i mekaniske systemer, hvor man på tilsvarende vis kan isolere grundegenskaberne: Compliance (den reciprokke fjederkonstant), friktion og masse. Grundlaget for analogien er den strukturelle identitet mellem de differentialligninger som definerer de nævnte egenskaber, i henholdsvis elektriske og mekaniske systemer.

Kapacitans versus Compliance. For en ideel kondensator er kapacitansen C_e defineret ved ligningen:

$$\Delta V = \frac{1}{C_e} Q_e$$

hvor ΔV er spændingsfaldet over kondensatoren, mens Q_e er den tilførte ladning. Den mekaniske ækvivalent er et ideelt elastisk legeme, altså et legeme som man kan deformere uden energitab. Ifølge Hookes lov er kraften F på en sådan "ideel masseløs fjeder" proportional med deformationen x:

$$F = \frac{1}{C_m} x$$

Her betegner C_m den mekaniske compliance, som er lig med den reciprokke stivhed (også kaldet fjeder-konstanten).

Resistans versus friktion. I en ideel Ohm'sk modstand er resistansen R defineret som forholdet mellem spændingsfaldet over modstanden og strømmen igennem den:

$$\Delta V = R\frac{\mathrm{d}Q_e}{\mathrm{d}t}$$

Svarende hertil, er den (lineære) mekaniske friktionskoefficient μ defineret som forholdet mellem en påtrykt kraft og størrelsen af den resulterende hastighed i kraftens retning:

$$F = \mu\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}$$

Induktans versus masse. Endelig er induktansen L for en ideel elektrisk selvinduktion (i reglen symboliseret ved en spole) givet ved ligningen:

$$\Delta V = L\frac{\mathrm{d}^2Q_e}{\mathrm{d}t^2}$$

Den mekaniske ækvivalent er et absolut stift legeme, hvis masse M defineres som forholdet mellem kraften på legemet og den resulterende acceleration:

$$F = M\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$$

Som det ses er der en fuldstændig strukturel overensstemmelse mellem ligningerne i hvert af de tre tilfælde. Idet vi indfører ækvivalenserne:

Elektrisk spænding	$\longleftrightarrow$	Mekanisk kraft
Elektrisk ladning	$\longleftrightarrow$	Mekanisk position
Elektrisk strøm	$\longleftrightarrow$	Mekanisk hastighed

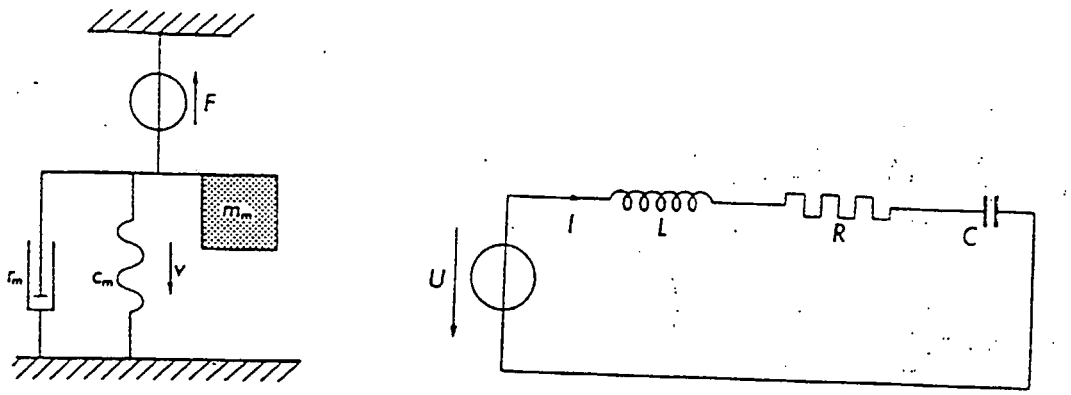
kan vi således koble de koefficienter som indgår i ligningerne parvist; det giver følgende skema:

Kapacitans	$\longleftrightarrow$	Compliance
Resistans	$\longleftrightarrow$	Lineær friktion
Induktans	$\longleftrightarrow$	Masse

På figur 16 ses til venstre et simpelt system af parallelforbundne mekaniske passive elementer, som påvirkes af en ydre kraft. Systemets dynamiske egenskaber kan udtrykkes ved differentialligningen:

$$F(t) = \frac{1}{C_m}x + \mu\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t} + M\frac{\mathrm{d}^2x}{\mathrm{d}t^2}$$

Til højre i figur 16 ses et elektrisk kredsløb med korresponderende passive elementer som, i modsætning til det mekaniske system, ikke er parallelt men



Figur 16: Idealiseret mekanisk system af parallelkoblede passive elementer (til venstre) og det analoge elektriske kredsløb med serielt koblede elementer (til højre) (Kilde: Rasmussen, 1973.)

serielt koblede. Dette systems dynamik er beskrevet ved en ligning, som strukturelt er helt identisk med den ovenstående:

$$\Delta V(t) = \frac{1}{C_e} Q_e + R\frac{\mathrm{d}Q_e}{\mathrm{d}t} + L\frac{\mathrm{d}^2 Q_e}{\mathrm{d}t^2}$$

Relationen mellem de to systemer på figur 16, er helt i overenstemmelse med vores definition af en analogi. De tilhører således forskellige konventionelle systemklasser (mekanisk respektive elektrisk), men kan alligevel behandles i en fælles begrebsdomæne, eftersom deres dynamik er givet ved den samme differentialligning. Denne differentialligning, som styrer begge systemers opførsel, udgør et generaliseret regelsæt, som afgrænser den overordnede (eller ukonventionelle) systemkategori.

Det ovenstående eksempel på en netværksanalogi bygger på en stiliseret mekanisk opstilling, og er som sådan temmelig uinteressant — det er da også kun medtaget for at illustrere teknikken. Vi vil nedenfor se på et eksempel på en anvendt netværksmodel, hentet fra virkelighedens verden, hvor det ikke på forhånd er klart, hvordan analogmodellen skal stilles op.

9.2 Elektrisk analogi til entalpi-relaksation i en væske

Den netværksanalogi vi vil omtale i dette afsnit, er udvalgt til at illustrere, hvordan analogier bevidst kan benyttes til at anskueliggøre sammenhænge, som ellers kan være svære at overskue. Det ligger i sagens natur, at pointen ville gå tabt, hvis vi valgte en alt for "nem" analogi — så læseren vil nok finde at dette afsnit adskiller sig en del fra de foregående fysikhistoriske kapitler, ved at være noget mere teknisk betonet.
Vort valgte eksempel er en elektrisk netværksmodel, som Niels Boye Olsen

(Eksperimentalfysiker på RUC) har konstrueret til, kvalitativt, at indfange visse eksperimentelt observerede fænomener i forbindelse med entalpirelaksation i underafkølede væsker. For at kunne forstå analogien, må man vide en lille smule om underafkøling, relaksation og viskositet, så her følger en ultrakort fænomenologisk introduktion.[136]

9.2.1 Underafkøling og glasovergang

Når en væske bringes til at krystallisere, foregår dette under en pludselig varmeafgivelse, svarende til at der sker et diskontinuert fald i væskens entropi S og entalpi H i det øjeblik, dens molekyler "falder ned i" den krystallinske konfiguration. Samtidig ophører stoffet naturligvis med at være en væske, idet molekylerne nu sidder bundet i et krystalgitter. Mange væsker lader sig imidlertid med større eller mindre lethed bringe ned under smeltepunktet T_m *uden* at krystallisere; T_m passeres under nedkølingen men ingen diskontinuerte ændringer med hensyn til H observeres, og væsken er fortsat på flydende form. Dette kaldes underafkøling.
Den såkaldte *glasovergang* finder sted når en væske underafkøles tilstrækkelig dybt: Ved nedkølingen bliver væsken mere og mere viskos, indtil den ved glasovergangstemperaturen T_g ender med at størkne til en fast (amorf) substans, kaldet en *glas*[137]. Inden for den eksperimentelle observationstid ophører "væsken" på dette stadium med at flyde, og fremtræder derfor som et fast stof ved temperaturer under T_g. Betegnelsen "fast stof" er dog i denne forbindelse relativ, idet glassen stadig udviser egenskaber som en viskos væske, når blot den eksperimentelle tidsskala bliver forlænget tilstrækkeligt.
Omvendt er det også muligt at få en væske til at udvise faststof-egenskaber ved en hvilken som helst temperatur, på en passende lille eksperimentel tidsskala. Der er imidlertid grænser for hvor lille, eller stor, en tidsskala kan gøres når den skal være praktisk anvendelig til fysiske målinger. Eksperimentelle observationstider ligger gerne et sted i omegnen af 10^{-2}s (plus/minus et par størrelsesordener), og for typiske "laboratorie-glasdannere" (et typisk eksempel på en sådan, er glycerol) er konsekvensen at glasovergangen foregår ved viskositeter der er så høje (i reglen omkring 10^{11} - 10^{13}Pa s)[138] at de kun kan opnås ved underafkøling. I princippet er underafkøling således ikke en absolut betingelse for glasdannelse, men snarere en praktisk-eksperimentel forudsætning for at overgangen lader sig observere i laboratoriet.

[136]Med hensyn til indholdet i de følgende teoretiske afsnit, refereres til Kautzmann, 1948 og Brawer, 1984.

[137]Glasser kaldes her "faste stoffer", men har, som det vil fremgå, egenskaber som på mange punkter afviger markant fra krystallinske stoffer.

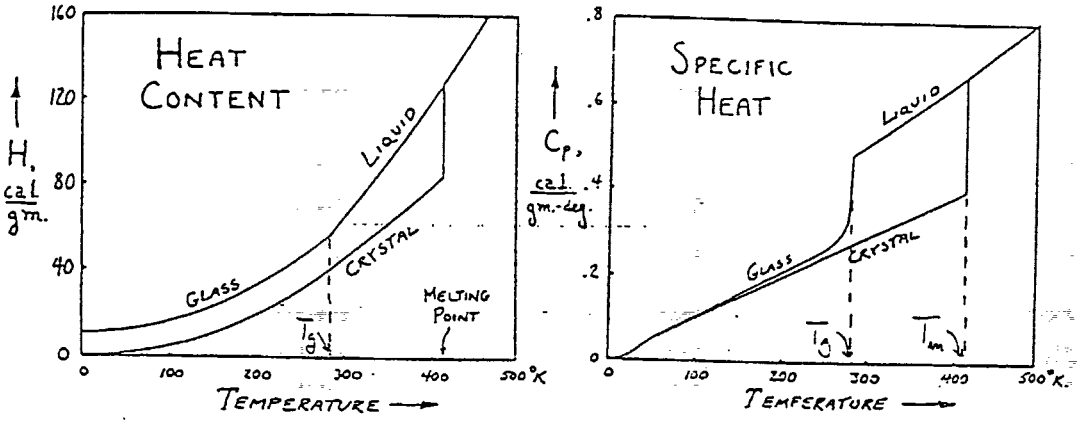
[138]Til sammenligning har vand omkring stuetemperatur en viskositet på ca. 0,1Pa s — så der er tale om *virkelig* høje viskositeter.

9.2.2 Relaksation og viskositet

Ved en pludseligt indtrædende forandring af temperatur eller tryk i en viskos væske, observerer man at den korresponderende ændring af entalpi ikke indtræder øjeblikkeligt. Entalpien varierer i tid og konvergerer efterhånden mod en ny ligevægtsværdi — dette kaldes *relaksation.* Generelt forstår man ved et systems relaksation, den tidsafhængige ændring af en vilkårlig egenskab, indtrædende efter (og som følge af) en perturbation af systemet, men vi vil her kun se på entalpi-relaksation.
Man kunne strengt taget skelne mellem to typer relaksation: Vibrationel og konfigurationel. Perturbationen (lad os f.eks antage at det drejer sig om en lille temperaturforøgelse) giver anledning til, at gittervibrationerne i stoffet absorberer energi ved at øge deres amplitude. Denne proces forløber imidlertid over et tidsinterval som må være sammenligneligt med den reciprokke gittersvingningsfrekvens, det vil sige af størrelsesorden 10^{-12} s, hvilket er alt for kort et tidsrum til at spille en rolle på nogen eksperimentel tidsskala. Efter denne hurtige ændring indtræder en betydeligt langsommere, som skyldes forandringer i væskens molekylære konfiguration. Dette kaldes *konfigurationel* relaksation — men da det vibrationelle bidrag i forhold til enhver eksperimentel tidsskala går i øjeblikkelig ligevægt, betragter man kun den konfigurationelle relaksation som et egentligt relaksationsbidrag.

Glasovergangen er et typisk relaksationsfænomen, idet overgangen netop ses, når den eksperimentelle observationstid bliver for kort til at relaksationen kan nå at forløbe til ende.
Figur 17,a viser et typisk entalpiforløb for nedkøling af en væske, idet den øverste kurve mellem T_m og T_g repræsenterer den underafkølede væske. Kølingshastigheden er her lav nok til at systemet hele tiden når at relaksere, og således holdes tæt på metastabil ligevægt[139]. Ved $T = T_g$ ses kurven at bøje af fra væskekurven og fortsætte sit forløb tilnærmelsesvis parallelt med krystalkurven. Forklaringen er at væsken ved temperaturer under T_g har nået en så høj viskositet, at entalpien ikke længere kan nå at relaksere inden for den eksperimentelle observationstid. Den underafkølede væskes konfigurationelle frihedsgrader er med andre ord "indefrosne" så det kun er de vibrationelle, der indvirker på målingerne ved temperaturer under T_g. Dette forklarer hvorfor T_g ikke ligger fast men afhænger af kølehastigheden; ved langsommere nedkøling observeres således en lavere T_g og omvendt.
Som illustreret på figur 17,b svarer ændringen af entalpikurvens hældning ved T_g til et drastisk fald i stoffets varmekapacitet (her "den øjeblikkelige", isobare varmekapacitet, beregnet som $C_p(T) = (dH/dT)_p$).

[139]Vi bemærker, at den omtalte ligevægt ikke er termodynamisk, da krystaltilstanden har lavere fri energi. Ikke desto mindre er mange væsker stabile overfor krystallisation, når de først er tilstrækkelig dybt underafkølede.



Figur 17: Typiske forløb af entalpi og varmefylde under nedkøling.(Kilde: Kautzmann, 1948)

9.2.3 Frekvensafhængig varmekapacitet

Til at observere glasovergange i laboratoriet, benyttes ofte en metode som har store eksperimentelle fordele, fremfor den ovenfor skitserede nedkølingsprocedure. Den går kort sagt ud på at påtvinge stofprøven en harmonisk temperatursvingning med passende lille amplitude:

$$T(t,\omega) = T_0 + T_1 e^{i\omega t}$$

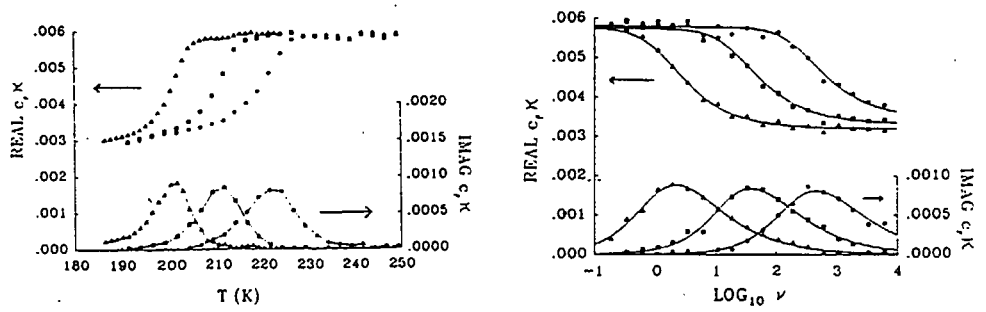
Man måler så den korresponderende varmestrøm ind og ud af systemet, hvorfra en varmekapacitet kan beregnes[140]. Denne varmekapacitet afhænger ikke af tiden, men kun af frekvensen[141]:

$$H(t,\omega) = C(\omega)T(t,\omega)$$

Ved et sådant eksperiment svarer en høj svingningsfrekvens til en kort observationstid og omvendt (jvf. beskrivelsen ovenfor) — som en tommelfingerregel, kan man sætte den eksperimentelle tid lig med den reciprokke frekvens. Den målte varmekapacitet afhænger således både af temperaturen og frekvensen — og ydermere kan man vælge at observere glasovergangen ved *enten* at variere frekvensen over et passende interval med fastholdt temperatur (bortset fra den harmoniske svingning) *eller*, ved at holde frekvensen fast og ændre temperaturen. Kvalitativt svarer en frekvensforøgelse således til en temperatursænkning og omvendt, som det fremgår af figur 18. Grafen

[140]Christensen 1989; Birge & Nagel 1985.

[141]Man kan indse at dette gælder generelt, ved at definere den frekvensafhængige varmekapacitet ved brug af lineær responsteori — men det vil vi ikke gøre rede for her.



Figur 18: Realdelen og imaginærdelen (den sidste ganget med -1) af $C(\omega)$ i et temperaturbillede (til venstre) og i et frekvensbillede (til højre) (Kilde: Birge 1986)

til venstre på figuren viser målinger af $C_p(\omega)$ for glycerol ved tre forskellige frekvenser, taget over et temperaturinterval, mens vi på grafen til venstre har en serie målinger, taget for tre forskellige faste temperaturer over et frekvensinterval.
Med et komplekst temperaturinput, bliver $C(\omega)$ også en kompleks størrelse. Realdelen af varmekapaciteten, $C'(\omega)$, udviser et forløb som kvalitativt svarer til kurven på figur 17.b — og forklaringen på forløbet er også den samme, nemlig at systemet "falder ud af" sin konfigurationelle ligevægt. Imaginærdelen, $C''(\omega)$ er, uden at vi her vil komme ind på de teoretiske detaljer, proportional med (minus) den entropitilvækst, der sker i stofprøvens omgivelser, i løbet af en svingningsperiode.

9.2.4 Modellen

Netværksmodellen på figur 19 bygger på en skematisering af den just beskrevne eksperimentelle situation. Hermed menes at det fysiske systems essentielle egenskaber må "isoleres" og sættes i et korrekt vekselvirkningsforhold til hinanden, før man kan relatere dem til elektriske kredsløbselementer.

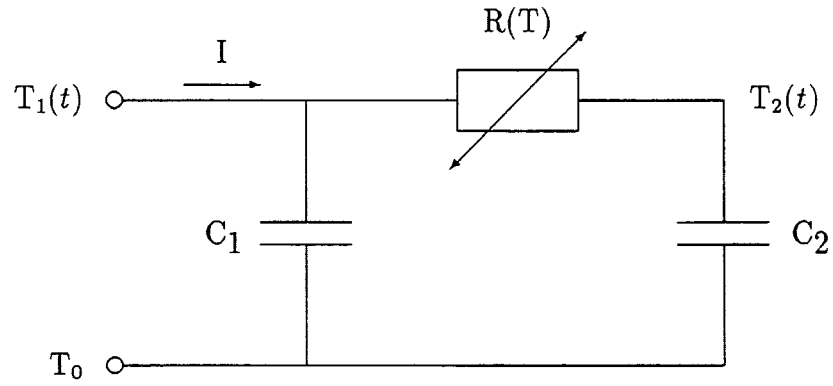
Konkret indebærer skematiseringen, i dette tilfælde, at det fysiske system formelt betragtes som to distinkte, men indbyrdes vekselvirkende, systemer med hver sin varmekapacitet. Endnu mere konkret: Systemet deles op i et vibrationelt delsystem, med varmekapacitet C_1 og et konfigurationelt delsystem, med varmekapacitet C_2.
Den energi som ved eksperimentet sendes ind i systemet, må have direkte adgang til det vibrationelle delsystem, som jo går i ligevægt uden nogen målelig tidsforsinkelse. Det konfigurationelle (relakserende) delsystem reagerer imidlertid langsommere, så det tænkes adskilt fra det vibrationelle delsystem

ved en termisk modstand $R(T)$, med en resistans som er parametrisk styret af temperaturen — jo lavere temperatur, desto større resistans. Billedet er altså, at energien først absorberes af det vibrationelle system, hvorfra energi efterhånden "siver over i" det konfigurationelle system, igennem modstanden.

Analogien kommer i stand, når vi ækvivalerer temperatur-inputtet i det termiske eksperiment med et elektrisk spændings-input og elektrisk ladning med varmemængde (entalpi). Varmekapaciteten C_T opfylder ligningen:

$$\Delta T = \frac{H}{C_T}$$

hvor ΔT er temperaturforøgelsen, svarende til den tilførte varmemængde H. Dette udtryk ses at være strukturelt identisk med ligningen for den elektriske kapacitans ($\Delta V = Q_e/C_e$). Tilsvarende ækvivaleres den termiske modstand med en elektrisk ditto. Modellens passive del består altså af to kondensatorer



Figur 19: Niels Boye Olsens elektriske analogmodel, for entalpiens opførsel efter en temperatur-perturbation af en væske i termodynamisk ligevægt. Elektriske spændinger i modellen svarer til temperaturforskelle i det korresponderende termiske kredsløb, mens elektriske strømme svarer til varmestrømme. (Kilde: Christensen 1989)

med kapacitanser C_1 og C_2, samt en justerbar modstand, som vist på figur 19. Kredsen tænkes tilsluttet et harmonisk spændingsinput med amplitude $|T_1|$ og frekvens ω:

$$\Delta T(t,\omega) = |T_1|e^{i\omega t}$$

Vi vil nu analysere systemet for at finde den frekvensafhængige varmekapacitet $C(\omega)$, givet ved:

$$C(\omega) = \frac{\partial Q_e(t,\omega)}{\partial T(t,\omega)}$$

hvor Q_e er summen af ladningerne på de to kondensatorer: $Q = Q_1 + Q_2$. Vi finder uden videre, at Q_1 er givet ved:

$$Q_1 = C_1 \Delta T(t,\omega)$$

mens Q_2, som man ser ved at bruge Kirchhoffs love, er givet ved differentialligningen:

$$\frac{\mathrm{d}Q_2}{\mathrm{d}t} = \frac{1}{R}\left(\frac{Q_1}{C_1} - \frac{Q_2}{C_2}\right) = \frac{1}{R}\left(\Delta T(t,\omega) - \frac{Q_2}{C_2}\right)$$

Ved at løse denne ligning, finder vi:

$$Q_2 = \frac{C_2|T_1|e^{i\omega t}}{1 + i\omega RC_2}$$

Vi finder så den totale ladning i systemet, ved addition af de fundne udtryk for Q_1 og Q_2:

$$Q(t,\omega) = \left(C_1 + \frac{C_2}{1 + i\omega RC_2}\right)\Delta T(t,\omega)$$

Ved partiel differentiation af $Q(t,\omega)$ med hensyn til $\Delta T(t,\omega)$ fås nu den frekvensafhængige varmefylde, som vi med det samme opløser i real- og imaginærdel:

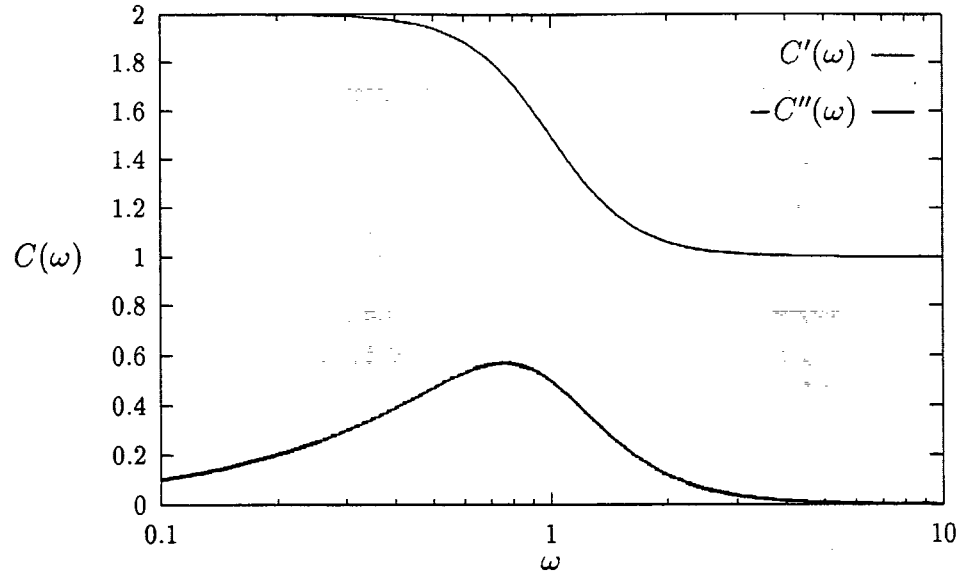
$$\begin{aligned} C(\omega) &= C_1 + \frac{C_2}{1 + i\omega RC_2} \\ &= C_1 + \frac{C_2}{1 + \omega^2 R^2 C_2^2} - i\frac{\omega RC_2^2}{1 + \omega^2 R^2 C_2^2} \end{aligned} \tag{3}$$

Vi kan nu overbevise os om at modellen faktisk udviser en kvalitativt korrekt opførsel, ved at se på frekvensområdets grænser. For realdelens vedkommende, ser vi at:

$$C'(0) = C_1 + C_2 \;\; ; \;\; \lim_{\omega\to\infty} C'(\omega) = C_1$$

Altså: Frekvensen $\omega = 0$ svarer til et konstant temperatur-input, hvilket betyder at det konfigurationelle system kommer i fuldstændig ligevægt; den målte varmefylde bliver derfor summen af C_1 og C_2. I den anden grænse, $\omega \to \infty$, er sitationen den omvendte; den eksperimentelle tid bliver nul, så det konfigurationelle system overhovedet ikke når at reagere på temperaturinputtet. Med hensyn til imaginærdelen kan vi nemt se, at den går mod nul i begge grænser og desuden har et globalt minimum. Vi har desuden, til kvalitativ sammenligning, plottet den beregnede $C(\omega)$, se figur 20 og sammenlign evt. med figur 18; vi har ingen intention om at foretage en kvantitativ sammenligning, men kun at sikre os at modellen ikke er helt hen i vejret — så alle parametre i modellen (C_1, C_2 og R) er blot sat til 1.

For nu at gå lidt dybere ned i de struktursammenfald, der er mellem kilde- og målområde, vil vi se lidt nærmere på tolkningen af imaginærdelen, $C''(\omega)$: Hvis vi for en stund tænker på modellen som et *elektrisk* kredsløb, kan vi



Figur 20: Netværksmodellens frekvensafhængige varmekapacitet på en $\log(\omega)$-akse; alle parametrene (R, C_1 og C_2) er her sat til 1.

beregne omgivelsernes energitab pr tidsenhed — altså den effekt $W(\omega)$, som afsættes i *den elektriske modstand* — ud fra dissipationsligningen:

$$W(\omega) = \frac{|T_1|^2}{2} Y'(\omega)$$

hvor $Y(\omega)$ er systemets admitans, der udregnes til:

$$\begin{aligned} Y(\omega) &= i\omega C_1 + \frac{i\omega C_2}{1 + i\omega R C_2} \\ &= \frac{\omega^2 R C_2^2}{1 + \omega^2 R^2 C_2^2} + i\omega \left(C_1 + \frac{C_2}{1 + \omega^2 R^2 C_2^2} \right) \end{aligned}$$

Ved sammenligning med ligning (3) ser vi at $Y'(\omega) = -\omega C''(\omega)$ og dermed:

$$W(\omega) = -\frac{1}{2} |T_1|^2 \omega C''(\omega)$$

Ved at dividere dette udtryk med frekvensen, får vi effekten over en svingningsperiode — den er, som det ses, proportional med imaginærdelen på højresiden af ligning (3).

Her kunne det umiddelbart se ud til at være et problem med analogien, for hvad det fysiske system angår — altså den skitserede opstilling, til måling af $C(\omega)$ — er der *ingen* nettoudveksling af energi mellem stofprøven og dens omgivelser, taget over en hel svingningsperiode. Middeleffekten er med andre ord nul.
Der forekommer imidlertid en anden slags tab fra stofprøvens omgivelser,

nemlig *tab af energiens arbejdsevne*, svarende til en entropitilvækst i omgivelserne. Og som nævnt i afsnit 9.2.3, er entropitilvæksten pr. svingningsperiode netop proportional med $C''(\omega)$. Så hvis vi *generaliserer* energidissipationen i det elektriske kredsløb, til at betyde *omgivelsernes tab af arbejdsevne* — som dissipationen i en ohm'sk modstand jo også er udtryk for — ser vi altså at analogien mellem det elektriske og det termiske system holder.

Lad os til slut lige resumere: Formålet med denne forholdsvis tekniske udredning, er at demonstrere, hvordan en ganske simpel elektrisk analogmodel, er i stand til at indfange væsentlige kvalitative træk ved et fysisk system, hvis opførsel faktisk godt kan forekomme temmelig kompliceret. En væsentlig pointe med analogien er, at en person med en vis træning i at aflæse elektriske netværk, ikke vil have noget besvær med at overskue et så simpelt kredsløb som det på figur 19 viste. En sådan person vil derfor, ved hjælp af analogien, hurtigt kunne danne sig *intuitiv fornemmelse* af, hvad det er for mekanismer, der kunne tænkes at styre det mindre askuelige fysiske systems observerede opførsel. En side af denne intuitive indsigt, er at en skitse som f.eks figur 19 kommer til at udgøre en umiddelbart begribelig sammenfatning af en række fænomenologiske aspekter, i et simpelt billede. Overensstemmelsen mellem de matematisk formaliserede beskrivelser af kilde- og målområde, har en fremtrædende plads i fremstillingen. Men dette skal altså ikke udlægges sådan, at vi mener, analogmodellens evne til at reproducere de korrekte ligninger for et eller andet fysisk system, i sig selv, er dens egentlige formål. Den matematiske overensstemmelse er imidlertid det objektive kriterium for analogiens "kvalitet", når vi taler om en form for analogisk ræsonneren, hvor den matematiske formalisme er "bærer" af de nødvendige generaliseringer.

Vi har i dette kapitel set på en analogmodel, hvor et termisk system anskueliggøres ved hjælp af et simpelt elektrisk kredsløb, konstrueret til formålet. Metoden er dog mere generel i den forstand, at målområdet for analogien kunne også have været et akustisk eller mekanisk system eller noget helt tredje. For kildeområdet gælder også at det ikke nødvendigvis er et konkret elektrisk kredsløb, men istedet en klasse af de generelle begreber eller egenskaber vi tillægger de enkelte komponenter kredsløbet opbygges af.

Analogmodellerne repræsenterer en metode, som vi kan kalde en *formaliseret metaforisk ræsonneren.* Med dette mener vi at både generalisationen af kildeområdet og opbygningen af det system som udgør kildeområdet, som begge er nødvendig for dannelsen af en analogi, foregår efter formaliserede regler. Vi kan udskille nogle træk, som karakteriserer metoden, uanset valget af kilde- og målområde:

- Kildeområdet konstrueres ved sammensætning af grundelementer —

"byggeklodser" om man vil — som der findes et begrænset antal typer af, og som der findes ækvivalenter for i andre typer af systemer.

- Generalisationen af de love som gælder for kildeområdet ligger i den matematiske formalisering af dets egenskaber. Den er således givet ved de ligninger, som beskriver systemets opførsel.

Opsamling på eksemplerne

I det følgende vil vi at opsummere, hvad vi mener, at de eksempler vi undersøgte viste.

Kepler
Keplers livsmål var at redegøre for antallet af, størrelsen af og bevægelserne i planetbanerne. Med nutidens øjne må vi sige, at han "kun" nåede de to af formålene, men selv var han overbevist om at han fik forklaret alle tre. At det netop var disse tre formål han havde sat sig, kan begrundes i det verdenssyn han havde. Treenigheden spillede en utroligt stor rolle for ham og det var vigtigt, at han kunne relatere sin videnskab til religionen. For en neoplatonist som Kepler var Guds naturlige bolig i solen, Sønnens i fixstjernerne og Helligåndens i det mellemliggende rum. Tredelingen af universets centrale elementer kom, som vi har set, også til at spille en rolle i hans forståelse af universet: Religionen, matematikken og fysikken dannede et sammenhængende billede af hvordan universet så ud. Vi tror, at Kepler hentede sin inspiration og ufattelige arbejdsiver i den lighed han øjnede i strukturerne af treenigheden og verdensaltet og religionen, matematikken, fysikken. Hans bidrag til fysikken kan således ses i lyset af de tilgrundliggende metaforer.

Carnot
Carnot benyttede en analogi mellem en varmemaskine og en vandkraftmaskine, og dette førte direkte til hypotesen om proportionalitet mellem temperaturforskel og drivkraft.
Det mest slående ved Carnots analogi mellem en varmemaskine og vandkraftmaskinen er måske, at han udviklede den rigtige teori på et forkert grundlag: I den caloristiske varmeopfattelse er varmen en bevaret størrelse, hvilket jo ikke stemmer overens med virkeligheden — alligevel præsterer Carnot at udvikle (i hvert fald implicit) den rigtige nyttevirkningsformel. Den ukonventionelle klasse analogien bygger på, kan beskrives både med Lakoffs billedskemaer og med Peirces kategorier.

Maxwell
Maxwells analogi havde som kildeområde en mekanisk model, der afbildedes på, de mindre godt forståede, elektromagnetiske fænomener. Maxwell opstillede en række differentialligninger for det mekaniske systems opførsel og afbildede disse over på det elektromagnetiske system. Eksemplet viser således,

at den generelle klasse, der dannes i forbindelse med metaforisk ræsonneren, kan være af matematisk natur. De styrende differentialligninger beskriver forholdet mellem systemets enkelte elementer — systemets struktur — og udgør således et særdeles godt eksempel på, hvad vi kalder en analogi. Med hensyn til den mekaniske models ontologiske status, så vi, at Maxwell til at begynde med mente, at de elektromagnetiske fænomener skulle forstås på baggrund af mekaniske love — men, at han senere ændrede indstilling og herefter betragtede mekanikken og elektromagnetismen som to uafhængige fysiske systemer.

Niels Bohr

Niels Bohr brugte, i udviklingen af sit komplementaritetsbegreb, flere kildeområder fra psykologien eksemplificeret ved William James', Edgar Rubins og Poul Martin Møllers arbejder. I disse kildeområder fandt han paralleller til den situation man stod overfor i kvantefysikken. Her ser vi igen kildeområder, der ligger uden for fysikkens område (jvf. Kepler), men i disse tilfælde er kildeområderne i metaforen ikke særligt letforståelige. — Men pointen med disse metaforer er jo netop, at beskrive noget forholdsvist "uforståeligt", så kildeområdernes uklarhed kan ses i dette lys.
Til forskel fra de andre eksempler, som vi har præsenteret, gjorde Bohr brug af *flere* analogier i beskrivelsen af komplementaritesprincippet. I de øvrige eksempler benyttedes kun én analogi, men detaljen i beskrivelsen var måske større (jvf. f.eks. Maxwell).

Netværksanalogien

Med de elektriske netværksmodeller så vi et eksempel på en formaliseret og systematisk metode til at ræsonnere metaforisk. Med et elektriske kredsløb kan man konstruere en slags grundkategori, der kan bruges til at forstå eksempelvis mekaniske systemer, eller, som vi så i eksemplet med analogien for glasovergangen, til at forstå et termisk systems egenskaber. Den generelle klasse, der konstrueres i den metaforiske ræsonneren, kan beskrives ved hjælp af et sæt differentialligninger, som er ens for kilde- og målområdet. Der er en klar lighed med Maxwells analogi i dette forhold. Forskellen er, at i Maxwells analogi udgjordes kildeområdet af et (tænkt) mekanisk system. I dette tilfælde udgøres kildeområdet af et elektrisk netværk, der benyttes til at beskrive f.eks. et mekanisk fænomen.

DEL III: AFSLUTNING

10 Diskussion

Vi har i løbet af projektet søgt at forstå metaforen i lyset af Peirces og Lakoffs teorier, og desuden har vi set på en række eksempler fra fysikken. Vi mener således have opnået en eller anden form for svar på vores problemformulering. I dette afnit vil vi trække nogle af de væsentlige pointer vi er nået frem til op.
Vi starter med det teoretiske fundament, bestående af Peirces og Lakoffs teorier. Herefter vil vi diskutere eksemplerne på brugen af analogier i fysikken. Afsnittet slutter med konklusionen på projektarbejdet.

10.1 Vores teoretiske fundament

Vi vil nu diskutere Peirces og Lakoffs teorier, for at komme til en afklaring af den første del af vores problemformulering, men aspekter af anden del vil også blive belyst.

Peirces teori

Peirces *videnskabsteori* har dannet udgangspunktet for vores undersøgelse, hvilket har givet os lejlighed til at overveje den slutningsform, der er med til at adskille denne videnskabsteori fra positivismen: abduktionen. Med denne slutningsform bliver det muligt at redegøre for et fænomens tilhørsforhold til en klasse. For eksempel:

En sten kan ikke flyve
Morlille kan ikke flyve
Morlille er en sten

Selvom den hypotese, der er skitseret her, er forkert (Morlille er dog ikke sikker i Erasmus Montanus), er det denne slutningsform, der danner udgangspunktet for alt videnskabeligt arbejde — ja, sågar vores forståelse af de objekter og begreber som vi omgås i dagligdagen. Den perceptuelle dom er nemlig et grænsetilfælde af abduktionen. Forskellen mellem abduktionen og den perceptuelle dom er blot, at vi godt kan være i tvivl om udfaldet af f.eks. aftenens fodboldkamp, men vi betvivler ikke at en spade er en spade (for nu at bruge en metafor). Abduktionen er forudsætningen for forståelsen af metaforen.
Efter at have fremstillet Peirces videnskabsteori, vendte vi os mod hans *fænomenologi* (eller faneroskopi), og denne bød på en noget mere abstrakt kop

te. Det lyder umiddelbart usandsynligt, at det skulle være muligt at kategorisere alle verdens fænomener, alle ting og begreber, efter disse tre kategorier. Det er klart at en sådan inddeling ikke kan være særligt specifik, men vi må sige, med Peirce, at opdelingen rummer "store omend vage tanker". Det er en diskutabel inddeling, men vi synes alligevel, at den har budt på mange behagelige overraskelser — ikke mindst i gennemgangen af eksemplerne, hvor kategorierne er kommet os til hjælp flere gange.
De videnskabelige slutningsformer blev yderligere perspektiveret i lys af Peirces fænomenologi, og de tre kategorier dannede desuden, i en vis udstrækning, udgangspunkt for vores forståelse af Peirces *semiotik*. Denne er måske den sværest tilgængelige del af hans teori, men kan bruges på en måde, der strækker sig ud over fænomenologien, idet semiotikken kan ses som et instrument til at skærpe de betragtninger, fænomenologien kan give og forstå kommunikationsprocesser mellem personer, objekter, tankerækker mv. Klassifikation i de forskellige tegntyper er en stærk metode til forståelse af komplicerede fænomener. I analysen af, hvad en metafor er, gjorde vi blandt andet brug af Peirces semiotik, og kunne udpege metaforen som en bestemt type tegn. Efter dette var gjort kunne man, ret slavisk, finde ud af hvilke to *udartede* typer af metaforer vores forståelse gav anledning til — nemlig hhv. billedmetaforer og analogier.

Det har været meget spændende at sætte sig ind i det teorikompleks som Peirces semiotik, fænomenologi og videnskabsteori udgør. Man kan ikke andet end forundres over den konsistens og fylde teorikomplekset har. Tredelingen spiller en helt central rolle hos Peirce, og er det gennemgående tema i både semiotikken, fænomenologien og videnskabsteorien, som i sig selv er en tredeling af Peirces teori.
Skematisk kan vi præsentere de centrale begreber i Peirces teori således:

Førstehed	Repræsentamen	Abduktion
Andethed	Objekt	Deduktion
Tredjehed	Interpretant	Induktion

Hvis man kender lidt til begreberne (som læseren forhåbentlig gør på nuværende tidspunkt) kan man se, at de i virkeligheden er udtryk for det samme, selvom de kan benyttes til vidt forskellige ting.

Lakoffs teori

Også Lakoffs teori har bibragt vores forståelse en hel del. Specielt har ideen om billedskemaer og grundkategorier været inspirerende. Disse gav os et hint om, hvad der foregår i mennesket psyke, og på hvilket grundlag vi danner perceptuelle domme. Lakoff slipper imidlertid heller ikke udenom det problem, som Peirce lancerer i diskussionen om grundlaget for de perceptuelle domme. Peirce mente, som vi husker, at det ikke kunne betale sig at underka-

ste de perceptuelle domme logiske analyser, da det blot ville være Akilleus og skildpadden om igen. For Lakoffs vedkommende kan samme problemstilling formuleres således: På hvilket grundlag danner vi billedskemaer og grundkategorier, når vi iøvrigt forstår vores omverden ved hjælp af disse? Hvor kommer billedskemaerne fra? Det kan der ikke svares på, men det gør efter vores mening ikke hverken Peirces eller Lakoffs teorier dårligere, at de render ind i disse spekulative problemer. Sagen er jo, at Akilleus faktisk når hen til skildpadden, hvis hhv. Akilleus og skildpadden har de egenskaber, som vi normalt tilskriver dem. Grunden til at Licentiaten i Poul Martin Møllers historie (se kapitel 8.2) ikke får udrettet noget, er jo netop at han er så optaget af paradokser, som vi i vores hverdag kan konstatere ikke er noget problem. Med dette grundlagsproblem behændigt fejet af vejen, kan vi sige om Lakoffs teori, at den giver os et indblik i hvordan vores begreber gives mening. Med det mener vi, at den sætter os i stand til at forstå, at der er grund til at operere med adskilte "begrebsdomæner", som for eksempel dem vi så illustreret i Dyirbal-sproget. Med begrebsdomæne mener vi, som Lakoff, at der i vores erkendelsesapparat er en eller anden form for tilvant inddeling. Det, der styrer disse inddelinger, er billedskemaer og grundkategorier, som forstås, dels via vores "kropslighed", dels via kulturelle forestillinger. Med kulturelle forstillinger mener vi også "subkulturelle" forestillinger som eksempelvis subkulturen "fysikere".[142] Sådanne subkulturer har ofte egne inddelinger af verden, der i visse tilfælde er helt uforståelige for folk uden for dette miljø. For folk, der ikke beskæftiger sig med fysik til daglig, er eksempelvis opdelingen af fysikken i forskellige discipliner ikke særlig væsentlig. Lang tids arbejde med et fag gør, at der dannes nye grundkategorier på baggrund af prototyper. Hvis vi, med netværkseksemplet i baghovedet, skal give eksempler på "fysiske prototyper" er det f.eks. fjedre, lodder, trisser, modstande, selvinduktioner og kapacitanser. Der er konkrete mentale billeder knyttet til disse, og det er en af forudsætningerne for, at de kan benyttes i metaforisk sammenhæng. Det metaforiske består jo i at forstå noget, som står forholdsvist uklart ved hjælp af noget, som er mere klart. Alt dette ligger i umiddelbar forlængelse af Lakoffs teori. Med hensyn til metaforen er Lakoffs opdeling af denne i kilde- og målområde meget klar, og er for os at se en meget fornuftig skelnen at operere med. Man kunne også beskrive metaforen udfra Peirces semiotik, men vi har fundet Lakoffs terminologi mere hensigtsmæssig (og overskuelig).

Beskrivelsen af forholdet mellem kilde- og målområdet ved hjælp af invariansprincippet er også kommet os til gode flere gange i undersøgelsen af eksemplerne. Det er en god huskeregel, at der er strukturel lighed mellem kilde- og målområde, og det støtter antagelsen om metaforen som et ikonisk legitegn. Der er en billedlig/strukturmæssig overensstemmelse mellem kilde-

[142]Med den store grad af specialisering der findes inden for fysikforskningen (og dermed forskellige arbejdsområder), er det måske lidt groft at skære fysikfaget over en kam, men som en grovinddeling går det vel an.

og målområdet. Invariansprincippet er i øvrigt et tydeligt udtryk for, at Lakoff, som Peirce, er realist: Begreberne har struktur, dvs. iboende egenskaber uafhængigt af vores individuelle særheder — det er derfor vi forstår hinanden, også når vi gør brug af metaforer. Der er imidlertid forskel på graden af realisme i deres opfattelse.
Det der giver begreberne og tingene mening, mener Lakoff[143], er vores omgang med dem — den daglige brug og deres størrelse i forhold til os. Lakoff mener, at tingene eksisterer uden for vores bevidsthed, men at det ikke giver mening at diskutere, fordi begrebernes mening netop er, at vi er tilstede i verden.
Peirce[144] mente, med baggrund i semiotikken, at ting og begreber eksisterer uafhængigt af os og tager ikke vores kropslighed nær så alvorligt som Lakoff. Denne uenighed har dog ikke forårsaget en afgrund til forskel mellem Peirces og Lakoffs teorier, og alt i alt mener vi, at begges teorier har vist sig meget brugbare i afklaringen af, hvad metaforen egentlig er for en størrelse.

10.2 Metaforens væsen

I udforskningen af metaforens væsen, satte Peirces semiotik os i stand til at kategorisere metaforen som et ikonisk legitegn, med to udartede varianter:

- Billedmetaforer, hvor kvalitegnet er dominerende og derfor fremhæver de simple kvaliteter mellem kilde- og målområdet, for eksempel farve, smag, lyd, konsistens, temperatur eller lignende.
- Analogier, hvor sintegnet er dominerende. I analogien er det de strukturelle ligheder mellem kilde- og målområdet der er fremtrædende. De undersøgte eksempler er metaforer af denne type.

For at der kan være tale om ikoniske legitegn, er det imidlertid klart, at analogier også må rumme kvalitegn, og at billedmetaforer også må rumme sintegn. Denne opdeling var, sammenholdt med de undersøgte eksempler, et stort skridt på vejen i undersøgelsen af hvordan der gøres brug af metaforer i fysisk tænkning.
Med Peirces videnskabsteori og fænomenologi karakteriserede vi metaforisk ræsonneren som en sammensat slutningsform, bestående af de to grundlæggende slutningsformer abduktion og induktion. Dette, at den induktive generalisering er integreret i erkendelsesprocessen, skal ses i modsætning til den konventionelle klassificering, hvor et fænomen blot henregnes til en klasse inden for samme begrebsdomæne ved abduktion.
Den metaforiske ræsonneren går på tværs af den konventionelle inddeling,

[143]Lakoff & Johnson, 1980, s.210
[144]Brent, 1993, s.25

og det er derfor, vi kan genkende en metafor for det, den er.
I den metaforiske ræsonneren involveres oprettelsen af en ny ukonventionel klasse, som kildeområdet i metaforen (dvs. grundkategorien eller billedskemaet) danner grundlag for. Kildeområdet er grundkategori for en ukonventionel klasse. Målområdet i metaforen henregnes til denne ukonventionelle klasse ved abduktion, og vi forstår således, ad omveje, målområdet ved hjælp af kildeområdet. Når metaforen er forstået er den blevet *symbolsk* — vi har forstået det generelle i ligheden mellem kilde- og målområdet. Jo flere gange vi støder på metaforen, desto mindre "overraskende" vil den derfor synes. Det er derfor at visse metaforer er så indgroede i vores dagligdag, at vi kan have svært at se dem som metaforer (f.eks. bordben, stoleryg, flaskehals, forsvarstale).
Det er klart, at oprettelsen af den generelle klasse ikke nødvendigvis er interpretanten bevidst. Vores eksempler viser, at billedskemaer og Peirces tre kategorier tit kan benyttes i en forståelse af denne ukonventionelle klasse, og det er jo ikke så underligt, for både kategorierne og billedskemaerne er netop sådanne generelle strukturer, der er skrabet for ethvert specifikt træk. Derfor vil de oplagt kunne benyttes til at forstå den generelle klasse, der dannes ved den metaforiske ræsonneren — de regler, der er gældende for den generelle klasse, skal jo både dække kilde- og målområde, og er derfor meget generelle.

Metaforer i fysikken

Vi har i rapporten undersøgt en række eksempler, og det er fortrinsvist disse vi har at holde os til i spørgsmålet om, hvordan metaforer benyttes i fysisk udvikling. Indledningsvis må vi vel sige, at vores hypotese, som vi fremsatte på side 42, har holdt stik: Der bruges, i de eksempler vi har undersøgt, fortrinsvist metaforer, hvor sintegnene er fremherskende (den type vi har valgt at kalde *analogier*).

Det har vist sig, at den ukonventionelle generelle klasse, der dannes ved metaforisk ræsonneren, har kunnet beskrives ved (mindst) et af følgende punkter:

- Billedskemastruktur
- Peirces kategorier
- Matematisk struktur

Alle tre punkter er udtryk for relationelle forhold i kildeområdets struktur. Denne struktur afbildes ved den metaforiske projektion på målområdet. Den matematiske struktur kan siges at spille den samme rolle i udforskningen af

konkrete metaforer som Peirces kategorier og Lakoffs billedskemaer — nemlig som det generelle regelsæt, der konstituerer den ukonventionelle klasse, som er involveret i metaforisk ræsonneren. De tydeligste eksempler vi har på dette, er hhv. Maxwells æteropfattelse og den elektriske kredsløbsanalogi. Her er der tale om fænomener i mål- og kildeområdet, tilhørende vidt forskellige fysiske dicipliner, der udviser strukturelle overensstemmelser, som afsløres af den matematiske formalisering. De ligninger, der beskriver kildeområdet, udtrykker netop relationerne og *ikke* kvaliteterne. Det er således helt i overensstemmelse med vores forståelse af analogier.

At der findes fænomener, som, skønt de normalt henregnes til forskellige discipliner i fysikken, udviser strukturelle identiteter, når de beskrives af formaliseret matematik Dette åbner således mulighed for en mere formaliseret form for brug af analogier — dvs. en form, hvor kildeområdet er klart defineret — og velforstået. Det er ikke tilfældigt, at Maxwell brugte mekanikken til at finde ud af hvordan elektromagnetiske fænomener opførte sig. Maxwell var bekendt med mekaniske systemer og prøvede via denne viden at forstå målområdet (elektromagnetismen).
I forskningen idag går analogierne oftere fra det elektriske system til andre fysiske fænomener, simpelthen fordi vi idag bedre kan overskue elektriske kredsløb end f.eks. glasovergangen. At benytte de elektriske analogmodeller som kildeområde i en metafor kan give en idé om målområdets struktur og hvilke fremtidige eksperimentelle undersøgelser, der ville være hensigtsmæssige.

Men er vores eksempler "eksemplariske" i forhold til udviklingen af fysikken? Hvilken generalitet kan vores eksempler siges at afspejle? Det vil vi overveje ved, ultra-kort, at placere vores eksempler i forhold til Kuhns videnskabsteori.

Placering af vores eksempler i forhold til Kuhns videnskabsteori

Vi vil nu give et kort rids af Kuhns teori. Han mener at egentlig videnskab starter med dannelse af et paradigme. Paradigmet er et eksempel, på hvordan videnskabeligt arbejde skal bedrives, og anviser et regelsæt, der er så fremragende, at en stor mængde tilhængere bruger det som udgangspunkt for deres arbejde. Denne mængde "fans" (i dette tilfælde fysikforskerne) udøver, hvad Kuhn kalder "normalvidenskab". Det beskriver han som en slags puslespilsarbejde, hvor man løser de opgaver, som paradigmet foreskriver.
Det, som forholdsvis almindelige fysikere laver, kan forstås som et forsøg på at få "verden" til at stemme overens med hvordan paradigmet vil have, at verden ser ud.

Hvor Bohr, Maxwell, Carnot og Kepler kom med virkelig originale bidrag til den videnskabelige udvikling, laver langt størstedelen af fysikere normalvidenskab, der består af mere eller mindre mekaniske undersøgelser af paradigmets grænser. Når grænserne er nået, vil de i en periode forsøge, med arme og ben, at "lappe" på paradigmet med diverse ad hoc-hypoteser, men til sidst vil et kvikt hoved forkaste hele det gamle paradigme og komme med et alternativ, der byder på nye opgaver for den nye generation af fysikere. Som eksempel kan gives Niels Bohrs atommodel fra 1913, der var et seriøst brud med den klassiske mekaniks forestillinger om kontinuitet, og dermed gjorde op med et par århundreders tradition. Sådan kører der i videnskaben en cyklus: Paradigmedannelse—normalvidenskab—anomalier—ny paradigmedannelse osv. Kort sagt, der er dem, der kommer med virkelig originale bidrag, og så er der dem, der bruger disse originale bidrag til at undersøge fænomener, som paradigmet endnu ikke har redegjort for. Kuhn mener ikke, at der er noget galt i denne opdeling - for at det kvikke hoved kan indse, at der er noget galt med det gamle paradigme, må det nemlig være så grundigt udforsket, at anomalierne træder frem og ikke er til at slippe udenom.[145]

Forskellen på brug af metaforer i paradigmedannende videnskab og normalvidenskab

Kepler, Carnot, Bohr, Maxwell. Store navne, der har bidraget til udviklingen af fysikken på en måde, der ikke kan negliceres. Men fysikfaget må siges at være ringe, eller i det mindste ufuldstændigt, beskrevet ved disse eksempler, og hvad siger deres tanker så om udviklingen af fysikken generelt? De nævnte fysikere tilhører en helt særlig gruppe, der udgør en mikroskopisk del af den samlede skare. Heldigvis, kan man sige; for hvor ville det dog være ubehageligt, for os som fysikstuderende, at skulle leve op til sådanne fantastiske præstationer.

De fire første eksempler vi har set på, må siges at høre til den udvalgte skare, der har bidraget til skabelsen af et paradigme. Kepler gav Newton en god del med på vejen, og der blev dannet skole. Maxwell dannede skole, Bohr ligeså og Carnot gav også udviklingen af termodynamikken et godt skub i den rigtige retning.

Det sidste eksempel vi har undersøgt (netværk) må imidlertid siges at være en udmærket illustration af, hvad normaltvidenskabeligt arbejde kunne tænkes at bestå i. Elektriske kredsløbsanalogier er en standardmetode til løsning af problemer af f.eks. mekanisk eller termisk karakter, ved overvejelser over elektriske kredsløb. Dette eksempel siger således noget om hvordan der gøres brug af metaforer i fysikken over en noget bredere kam. Brugen af netværkanalogier er en formaliseret metode til at ræsonnere metaforisk. De forskellige komponenter i et elektrisk kredsløb kan siges at svare til komponenter i systemer indenfor andre fysiske discipliner. Vi kan imidlertid konstatere, at det

[145]Dette er måske en lidt unuanceret gengivelse af Kuhns teori, men i grove træk er den god nok. For et nærmere studie af Kuhns teori kan vi henvise til Kuhn, 1970

er den samme *type* metaforer, der gøres brug af i netværksanalogierne, som Kepler, Carnot, Bohr og Maxwell benyttede, nemlig analogien. Forskellen er blot, at i de elektriske analogmodeller er genraliseringen af kildeområdets struktur systematiseret.
I den paradigmedannende opdagelse kan den relation, der afbildes fra kilde- til målområde, beskrives ved billedskemaer, Peirces kategorier eller grundlæggende matematisk sammenhæng (f.eks. et sæt differentialligninger). I normalvidenskabeligt arbejde, hvor den metaforiske ræsonneren er mere formaliseret, er det sidstnævnte der gøres brug af.

Metaforens rolle for den videnskabsteoretiske og erkendelsesteoretiske forståelse af fysikken

I indledningen til projektet beskrev vi forskellen mellem et væsentligt skel inden for videnskabsteorien, nemlig skellet mellem *context of discovery* og *context of justification.*

I dette projekt har vi fortrinsvist arbejdet med metaforisk ræsonneren i forbindelse med udviklingen af de store teoribygninger i fysikken (mekanikken/astronomien, termodynamikken, elektrodynamikken og kvantemekanikken). Vi har imidlertid konstateret, at den type metaforer, der blev benyttet i den paradigmedannende videnskab også benyttes i normalvidenskabeligt arbejde (jvf. netværk), ja, endda at denne brug af analogier er en formaliseret metode i fysikken.

Vi mener således, at metaforen kan ses som et fælles træk mellem *context of discovery* og *context of discovery*, og en videre udforskning af metaforens rolle kunne måske med tiden bibringe både diskussionen af *context of discovery* og *context of justification* noget nyt.

Metaforen har, som videnskabeligt genstandsfelt, de sidste årtier holdt sit indtog i mange forskellige humanistiske og samfundsvidenskabelige fag og også i forskningen i kunstig intelligens er metaforen sat på dagsordenen.
Vi mener også, at den har meget at sige i en videnskabsteoretisk og erkendelsesteoretisk forståelse af fysikken. Lad os, med disse afsluttende ord, vende os mod konklusionen på rapporten.

10.3 Konklusion

Vores problemformulering rummer to problemfelter:
Hvad er en metafor og hvilke ligheder og forskelle er der mellem metaforisk ræsonneren og ikke-metaforisk ræsonneren?
og
Hvilken rolle spiller metaforen i udviklingen af fysikken?

Metaforen kan med fordel beskrives som bestående af et målområde og et kildeområde, hvor kildeområdets struktur er os bekendt.
Metaforisk ræsonneren kan forstås som en kombination af abduktiv og induktiv slutning - dvs. dannelse af en ukonventionel klasse ved generalisering af kildeområdets egenskaber (induktion) og en henregnen af målområdet til denne klasse (abduktion).
Dette har som konsekvens, at metaforisk ræsonneren kan forstås ud fra de samme principper, som ikke-metaforisk abduktiv kognition, idet *kildeområdets* rolle i metaforen kan ses som en ekstrem variant af *grundkategoriernes* strukturerende funktion: Kildeområdet er grundkategori for en ukonventionel klasse.
Vi er i vores undersøgelse af metaforen nået frem til, at en metafor er et ikonisk legitegn med to udartede varianter:

- En variant, hvor kvalitegnet er dominerende. Denne type metafor beskriver fortrinsvis umiddelbare ligheder, eller kvaliteter, mellem forskellige objekter og kaldes *billedmetaforer.*
- En variant, hvor sintegnet er dominerende. Denne type metafor beskriver fortrinsvist strukturelle ligheder i kilde- og målområde og kaldes *analogier.*

Efter dannelsen af den generelle klasse, som metaforens kilde- og målområde udvirker, bliver metaforen symbolsk, da den bliver udtryk for en vanemæssig forståelse.

Den metaforiske ræsonneren adskiller sig fra den ikke-metaforiske ræsonneren ved at gå på tværs af de normalt adskilte begrebsdomæner vi opererer med i det daglige. Disse begrebsdomæner er dannet i kraft af dels vores "kropslige" interaktion med omverdenen, dels af kulturelle forestillinger.

Med det forbehold at vi ikke har dannet os overblik over hele fysikfaget, mener vi at:

- I forbindelse med udviklingen af flere af de centrale teoribygninger i fysikken, er der gjort brug af metaforisk ræsonneren.

- Den type metafor, der gøres mest brug af i fysisk tænkning er den, vi har valgt at kalde *analogien*.
- Kildeområderne i de brugte metaforer er ikke hentet fra begrebsdomæner, der har umiddelbar tilknytning til den fysiske disciplin, som målområdet har tilknytning til.
- Der gøres brug af metaforer både i paradigmedannende videnskab og i normalvidenskab.

KILDELISTE

Birge, N.O., 1986: "Specific-heat spectroscopy of glycerol and propylene glycol near the glass transition" Physical Review B vol.34,3 (1986).

Birg.N.O & Nagel S.R., 1985: "Specific-heat spectroscopy of the glass transition" Physical Review Letters vol.54,23 (1985).

Bohr, Niels, 1957: "Atomfysik og menneskelig erkendelse" (artikelsamling) J.H. Schultz forlag, Danmark.

Brawer, S.A., 1984: "Theory of relaxation in viscous liquids and glasses", Journal of Chemical Physics, vol.81,2 (1984) s.954.

Brent, Joseph, 1993: "Charles Sanders Peirce - A Life", Indiana University Press, Bloomington & Indianapolis, USA. Kapitel 6, som vi har benyttet, findes i dansk oversættelse af Peder Voetmann Christiansen, men er ikke udgivet.

Brush, Stephen G, 1976: "The kind of motion we call heat. Book 2", 1. udgave, North-Holland Publishing Company, Storbritanien.

Buchler, Justus (red.), 1955: "Philosophical writings of Peirce", 2. Udgave, Dover Publications, USA.

Carroll, Lewis, 1895: "What the Tortoise Said to Achilles", Mind, n.s. 4 (1895). Teksten er desuden gengivet i Hofstadter, Douglas R., 1979: "Gödel, Escher, Bach", Aschehoug (1992), Danmark, s.45-47.

Christensen, T.C. 1984: "En metode til bestemmelse af den frekvensafhængige varmefylde af en underafkølet væske ved glasovergangen" IMFUFA tekst nr. 184.

Christiansen, Peder Voetmann, 1988: "Charles S. Peirce: Mursten og Mørtel til en metafysik." Tekster fra IMFUFA, nr. 169, Roskilde Universitetscenter, Danmark.

Christiansen, Peder Voetmann, 1995: "Semiotikken i fysikken". Endnu ikke udgivet. Artiklen er et bidrag til en kommende bog af Keld Gall Jørgensen (red.). Bogen udkommer i foråret 1996 på Gyldendal, og titel bliver formentlig "Anvendt Semiotik".

Dinesen, Anne Marie, og Stjernfelt, Frederik (red), 1994: "Charles Sanders Peirce — Semiotik og pragmatisme." De af Dinesen og Stjernfelt udvalgte stykker er oversat af Lars Andersen. Bogen er del af serien "Moderne Tænkere", Samlerens Bogklub, Danmark.

Field, J.V., 1984: "A Lutheran Astrologer: Johannes Kepler". Fra tidsskriftet "Archive for History of Exact Sciences", vol. 31, nr. 1, 1984/85, Springer-Verlag, Tyskland.

Feynman, Richard, 1966: "The Feynman Lectures vol. III", 3. oplag, Addison-Wesley Publishing Company, USA.

Fox, Robert, 1986: "Sadi Carnot — Reflexions on the motive power of fire." Bogen består af en introduktion skrevet af Fox og en oversættelse af *Reflexions.*, Manchester University Press, Storbritanien.

Gall Jørgensen, Keld, 1993: "Semiotik — en introduktion", Serien Gyldendal Filosofi, Nordisk Bogproduktion a.s., DK.

Goldman, Martin, 1983: "The Demon in the Aether", Spectrum Printing Company, Edinburgh, UK.

Hendry, John, 1986: "James Clerk Maxwell and the Theory of the Electromagnetic Field", Adam Hilger Ldt, UK.

Holton, Gerald, 1973: "Thematic Origins of Scientific Thought.", Harvard University Press, USA.

James, William, 1890: "The Principles of Psychology vol. 1", 2. udgave, 1955 Dover Publications Inc., USA.

Koyré, Alexander, 1973: "The Astronomical Revolution", 2. oplag (1980), Methuen, GB.

Kautzmann, W., 1948: "The Nature of the Glassy State and the Behavior of Liquids at Low Temperatures", Chemical Review vol.43, 1948 s.219.

Knudsen, Ole, 1989: "Studier i Elektromagnetismens Historie", dokterafhandling ved Aarhus Universitet.

Kragh, Helge og Pedersen, Stig Andur, 1991: "Naturvidenskabernes teori", 2. udgave, Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck, Danmark.

Kuhn, Thomas S, 1957, "The Copernican Revolution", 3. oplag (1970), Harvard University Press, USA.

Kuhn, Thomas S, 1970, "The structure of Scientific Revolutions", 2. udgave, University of Chicago Press, USA. Denne udgave udmærker sig i forhold til 1962-udgaven i det, Kuhns postscript fra 1969 er inkluderet.

Lakoff, George, og Johnson, Mark, 1980: "Metaphors we Live by", University of Chicago Press, USA.

Lakoff, George, 1987: "Women, Fire and Dangerous Things", University of Chicago Press, USA.

Lear, John, 1965: "Kepler's Dream", University of California Press, USA. Indeholder Patricia Kirkwoods ovesættelse af Keplers: "Somnium, Sive Astronomia Lunaris".

Møller, Poul Martin, 1856: "En dansk Students Eventyr" i Frederik Nielsens udgave fra 1964, 2. oplag, udgivet 1971, Nordisk Bogproduktion A.S. Haslev, Danmark.

Ohanian, Hans C., 1985: "Physics", 1. udgave, W.W. Norton & Company, USA.

Ortony, Andrew (red.), 1993: "Metaphor and Thought", 2. udgave, Cambridge University Press, USA.

Paradoks (tidsskrift), 1991: Tidsskrift nr. 1-2 rummer Peirce-artiklen "Hvordan tro gøres fast" (nr. 1) og fortsættelsen "Hvordan vores tanker gøres klare" (nr. 2). Artiklen er oversat af Peder Voetmann Christiansen.

Rasmussen K., 1973 "Analogier mellem mekaniske, akustiske og elektriske systemer", Polyteknisk forlag, Danmark

Rubin, Edgar, 1915: "Synsoplevende Figurer", Nordisk Forlag, Danmark.

Rüdinger, Erik, 1985: "Niels Bohr Collected Works Vol. 6: Foundations of Quantum Physics I (1926-1932)", North-Holland Physics Publishing, Holland.

Whittaker, Sir Edmund, 1987: "A History of the Theories of the Aether and Electricity" Vol.I, American Institute of Physics, USA.

283/94 Grænser for tilfældighed
(en kaotisk talgenerator)

af: Erwin Dan Nielsen og Niels Bo Johansen

284/94 Det er ikke til at se det, hvis man ikke lige ve' det!
Gymnasiematematikkens begrundelsesproblem

En specialerapport af Peter Hauge Jensen
og Linda Kyndlev

Vejleder: Mogens Niss

285/94 Slow coevolution of a viral pathogen and its diploid host

by: Viggo Andreasen and
Freddy B. Christiansen

286/94 The energy master equation: A low-temperature approximation to Bässler's random walk model

by: Jeppe C. Dyre

287/94 A Statistical Mechanical Approximation for the Calculation of Time Auto-Correlation Functions

by: Jeppe C. Dyre

288/95 PROGRESS IN WIND ENERGY UTILIZATION

by: Bent Sørensen

289/95 Universal Time-Dependence of the Mean-Square Displacement in Extremely Rugged Energy Landscapes with Equal Minima

by: Jeppe C. Dyre and Jacob Jacobsen

290/95 Modellering af uregelmæssige bølger
Et 3.modul matematik projekt
af: Anders Marcussen, Anne Charlotte Nilsson, Lone Michelsen, Per Mørkegaard Hansen
Vejleder: Jesper Larsen

291/95 1st Annual Report from the project
LIFE-CYCLE ANALYSIS OF THE TOTAL DANISH ENERGY SYSTEM
an example of using methods developed for the OECD/IEA and the US/EU fuel cycle externality study
by: Bent Sørensen

292/95 Fotovoltaisk Statusnotat 3
af: Bent Sørensen

293/95 Geometridiskussionen - hvor blev den af?
af: Lotte Ludvigsen & Jens Frandsen
Vejleder: Anders Madsen

294/95 Universets udvidelse -
et metaprojekt
Af: Jesper Duelund og Birthe Friis
Vejleder: Ib Lundgaard Rasmussen

295/95 A Review of Mathematical Modeling of the Controled Cardiovascular System
By: Johnny T. Ottesen

296/95 RETIKULER den klassiske mekanik
af: Peder Voetmann Christiansen

297/95 A fluid-dynamical model of the aorta with bifurcations

by: Mette Olufsen and Johnny Ottesen

298/95 Mordet på Schrödingers kat - et metaprojekt om to fortolkninger af kvantemekanikken

af: Maria Hermannsson, Sebastian Horst, Christina Specht

Vejledere: Jeppe Dyre og Peder Voetmann Christiansen

299/95 ADAM under figenbladet - et kig på en samfundsvidenskabelig matematisk model
Et matematisk modelprojekt
af: Claus Dræby, Michael Hansen, Tomas Højgård Jensen
Vejleder: Jørgen Larsen

300/95 Scenarios for Greenhouse Warming Mitigation

by: Bent Sørensen

301/95 TOK Modellering af træers vækst under påvirkning af ozon

af: Glenn Møller-Holst, Marina Johannessen, Birthe Nielsen og Bettina Sørensen

Vejleder: Jesper Larsen

302/95 KOMPRESSORER - Analyse af en matematisk model for aksialkompressorer

Projektrapport af: Stine Bøggild, Jakob Hilmer, Pernille Postgaard

Vejleder: Viggo Andreasen

303/95 Masterlignings-modeller af Glasovergangen
Termisk-Mekanisk Relaksation
Specialerapport udarbejdet af:
Johannes K. Nielsen, Klaus Dahl Jensen
Vejledere: Jeppe C. Dyre, Jørgen Larsen

304a/95 STATISTIKNOTER Simple binomialfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen

304b/95 STATISTIKNOTER Simple normalfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen

304c/95 STATISTIKNOTER Simple Poissonfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen

304d/95 STATISTIKNOTER Simple multinomialfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen

304e/95 STATISTIKNOTER Mindre matematisk-statistisk opslagsværk indeholdende bl.a. ordforklaringer, resuméer og tabeller
af: Jørgen Larsen

261/93 OPGAVESAMLING
Bredde-kursus i Fysik
Eksamensopgaver fra 1976-93

262/93 Separability and the Jones Polynomial
by: Lars Kadison

263/93 Supplerende kursusmateriale til "Lineære strukturer fra algebra og analyse" II
af: Mogens Brun Heefelt

264/93 FOTOVOLTAISK STATUSNOTAT 2
af: Bent Sørensen

265/94 SPHERICAL FUNCTIONS ON ORDERED SYMMETRIC SPACES
To Sigurdur Helgason on his sixtyfifth birthday
by: Jacques Faraut, Joachim Hilgert and Gestur Olafsson

266/94 Kommensurabilitets-oscillationer i laterale supergitre
Fysikspeciale af: Anja Boisen, Peter Bøggild, Karen Birkelund
Vejledere: Rafael Taboryski, Poul Erik Lindelof, Peder Voetmann Christiansen

267/94 Kom til kort med matematik på Eksperimentarium - Et forslag til en opstilling
af: Charlotte Gjerrild, Jane Hansen
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek

268/94 Life is like a sewer ...
Et projekt om modellering af aorta via en model for strømning i kloakrør
af: Anders Marcussen, Anne C. Nilsson, Lone Michelsen, Per M. Hansen
Vejleder: Jesper Larsen

269/94 Dimensionsanalyse en introduktion
metaprojekt, fysik
af: Tine Guldager Christiansen, Ken Andersen, Nikolaj Hermann, Jannik Rasmussen
Vejleder: Jens Højgaard Jensen

270/94 THE IMAGE OF THE ENVELOPING ALGEBRA AND IRREDUCIBILITY OF INDUCED REPRESENTATIONS OF EXPONENTIAL LIE GROUPS
by: Jacob Jacobsen

271/94 Matematikken i Fysikken.
Opdaget eller opfundet
NAT-BAS-projekt
vejleder: Jens Højgaard Jensen

272/94 Tradition og fornyelse
Det praktiske elevarbejde i gymnasiets fysikundervisning, 1907-1988
af: Kristian Hoppe og Jeppe Guldager
Vejledning: Karin Beyer og Nils Hybel

273/94 Model for kort- og mellemdistanceløb
Verifikation af model
af: Lise Fabricius Christensen, Helle Pilemann, Bettina Sørensen
Vejleder: Mette Olufsen

274/94 MODEL 10 - en matematisk model af intravenøse anæstetikas farmakokinetik
3. modul matematik, forår 1994
af: Trine Andreasen, Bjørn Christensen, Christine Green, Anja Skjoldborg Hansen. Lisbeth Helmgaard
Vejledere: Viggo Andreasen & Jesper Larsen

275/94 Perspectives on Teichmüller and the Jahresbericht
2nd Edition
by: Bernhelm Booss-Bavnbek

276/94 Dispersionsmodellering
Projektrapport 1. modul
af: Gitte Andersen, Rehannah Borup, Lisbeth Friis, Per Gregersen, Kristina Vejrø
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek

277/94 PROJEKTARBEJDSPÆDAGOGIK - Om tre tolkninger af problemorienteret projektarbejde
af: Claus Flensted Behrens, Frederik Voetmann Christiansen, Jørn Skov Hansen, Thomas Thingstrup
Vejleder: Jens Højgaard Jensen

278/94 The Models Underlying the Anaesthesia Simulator Sophus
by: Mette Olufsen(Math-Tech), Finn Nielsen (RISØ National Laboratory), Per Føge Jensen (Herlev University Hospital), Stig Andur Pedersen (Roskilde University)

279/94 Description of a method of measuring the shear modulus of supercooled liquids and a comparison of their thermal and mechanical response functions.
af: Tage Christensen

280/94 A Course in Projective Geometry
by Lars Kadison and Matthias T. Kromann

281/94 Modellering af Det Cardiovaskulære System med Neural Pulskontrol
Projektrapport udarbejdet af:
Stefan Frello, Runa Ulsøe Johansen, Michael Poul Curt Hansen, Klaus Dahl Jensen
Vejleder: Viggo Andreasen

282/94 Parallelle algoritmer
af: Erwin Dan Nielsen, Jan Danielsen, Niels Bo Johansen

236a/93 INTRODUKTION TIL KVANTE HALL EFFEKTEN

af: Anja Boisen, Peter Bøggild

Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
Erland Brun Hansen

236b/93 STRØMSSAMMENBRUD AF KVANTE HALL EFFEKTEN

af: Anja Boisen, Peter Bøggild

Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
Erland Brun Hansen

237/93 The Wedderburn principal theorem and Shukla cohomology

af: Lars Kadison

238/93 SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (2)

Vektorbånd og tensorer

af: Peder Voetmann Christiansen

239/93 Valgsystemer - Modelbygning og analyse

Matematik 2. modul

af: Charlotte Gjerrild, Jane Hansen, Maria Hermannsson, Allan Jørgensen, Ragna Clauson-Kaas, Poul Lützen

Vejleder: Mogens Niss

240/93 Patologiske eksempler.
Om sære matematiske fisks betydning for den matematiske udvikling

af: Claus Dræby, Jørn Skov Hansen, Runa Ulsøe Johansen, Peter Meibom, Johannes Kristoffer Nielsen

Vejleder: Mogens Niss

241/93 FOTOVOLTAISK STATUSNOTAT 1

af: Bent Sørensen

242/93 Brovedligeholdelse - bevar mig vel

Analyse af Vejdirektoratets model for optimering af broreparationer

af: Linda Kyndlev, Kare Fundal, Kamma Tulinius, Ivar Zeck

Vejleder: Jesper Larsen

243/93 TANKEEKSPERIMENTER I FYSIKKEN

Et 1.modul fysikprojekt

af: Karen Birkelund, Stine Sofia Korremann

Vejleder: Dorthe Posselt

244/93 RADONTRANSFORMATIONEN oq dens anvendelse i CT-scanning

Projektrapport

af: Trine Andreasen, Tine Guldager Christiansen, Nina Skov Hansen og Christine Iversen

Vejledere: Gestur Olafsson og Jesper Larsen

245a+b /93 Time-Of-Flight målinger på krystallinske halvledere
Specialerapport

af: Linda Szkotak Jensen og Lise Odgaard Gade

Vejledere: Petr Viscor og Niels Boye Olsen

246/93 HVERDAGSVIDEN OG MATEMATIK - LÆREPROCESSER I SKOLEN

af: Lena Lindenskov, Statens Humanistiske Forskningsråd, RUC, IMFUFA

247/93 UNIVERSAL LOW TEMPERATURE AC CONDUCTIVITY OF MACROSCOPICALLY DISORDERED NON-METALS

by: Jeppe C. Dyre

248/93 DIRAC OPERATORS AND MANIFOLDS WITH BOUNDARY

by: B. Booss-Bavnbek, K.P.Wojciechowski

249/93 Perspectives on Teichmüller and the Jahresbericht Addendum to Schappacher, Scholz, et al.

by: B. Booss-Bavnbek

With comments by W.Abikoff, L.Ahlfors, J.Cerf, P.J.Davis, W.Fuchs, F.P.Gardiner, J.Jost, J.-P.Kahane, R.Lohan, L.Lorch, J.Radkau and T.Söderqvist

250/93 EULER OG BOLZANO - MATEMATISK ANALYSE SET I ET VIDENSKABSTEORETISK PERSPEKTIV

Projektrapport af: Anja Juul, Lone Michelsen, Tomas Højgård Jensen

Vejleder: Stig Andur Pedersen

251|93 Genotypic Proportions in Hybrid Zones

by: Freddy Bugge Christiansen, Viggo Andreasen and Ebbe Thue Poulsen

252|93 MODELLERING AF TILFÆLDIGE FÆNOMENER

Projektrapport af: Birthe Friis, Lisbeth Helmgaard, Kristina Charlotte Jakobsen, Marina Mosbæk Johannessen, Lotte Ludvigsen, Mette Hass Nielsen

253/93 Kuglepakning

Teori og model

af: Lise Arleth, Kåre Fundal, Nils Kruse

Vejleder: Mogens Niss

254/93 Regressionsanalyse

Materiale til et statistikkursus

af: Jørgen Larsen

255/93 TID & BETINGET UAFHÆNGIGHED

af: Peter Harremoës

256/93 Determination of the Frequency Dependent Bulk Modulus of Liquids Using a Piezoelectric Spherical Shell (Preprint)

by: T. Christensen and N.B.Olsen

257/93 Modellering af dispersion i piezoelektriske keramikker

af: Pernille Postgaard, Jannik Rasmussen, Christina Specht, Mikko Østergård

Vejleder: Tage Christensen

258/93 Supplerende kursusmateriale til "Lineære strukturer fra algebra og analyse"

af: Mogens Brun Heefelt

259/93 STUDIES OF AC HOPPING CONDUCTION AT LOW TEMPERATURES

by: Jeppe C. Dyre

260/93 PARTITIONED MANIFOLDS AND INVARIANTS IN DIMENSIONS 2, 3, AND 4

by: B. Booss-Bavnbek, K.P.Wojciechowski

Liste over tidligere udkomne tekster tilsendes gerne. Henvendelse herom kan ske til IMFUFA's sekretariat tlf. 46 75 77 11 lokal 2263

217/92 "Two papers on APPLICATIONS AND MODELLING IN THE MATHEMATICS CURRICULUM"
by: Mogens Niss

218/92 "A Three-Square Theorem"
by: Lars Kadison

219/92 "RUPNOK - stationær strømning i elastiske rør"
af: Anja Boisen, Karen Birkelund, Mette Olufsen
Vejleder: Jesper Larsen

220/92 "Automatisk diagnosticering i digitale kredsløb"
af: Bjørn Christensen, Ole Møller Nielsen
Vejleder: Stig Andur Pedersen

221/92 "A BUNDLE VALUED RADON TRANSFORM, WITH APPLICATIONS TO INVARIANT WAVE EQUATIONS"
by: Thomas P. Branson, Gestur Olafsson and Henrik Schlichtkrull

222/92 On the Representations of some Infinite Dimensional Groups and Algebras Related to Quantum Physics
by: Johnny T. Ottesen

223/92 *THE FUNCTIONAL DETERMINANT*
by: Thomas P. Branson

224/92 *UNIVERSAL AC CONDUCTIVITY OF NON-METALLIC SOLIDS AT LOW TEMPERATURES*
by: Jeppe C. Dyre

225/92 *"HATMODELLEN" Impedansspektroskopi i ultrarent en-krystallinsk silicium*
af: Anja Boisen, Anders Gorm Larsen, Jesper Varmer, Johannes K. Nielsen, Kit R. Hansen, Peter Bøggild og Thomas Hougaard
Vejleder: Petr Viscor

226/92 *"METHODS AND MODELS FOR ESTIMATING THE GLOBAL CIRCULATION OF SELECTED EMISSIONS FROM ENERGY CONVERSION"*
by: Bent Sørensen

227/92 "Computersimulering og fysik"
af: Per M.Hansen, Steffen Holm, Peter Maibom, Mads K. Dall Petersen, Pernille Postgaard, Thomas B.Schrøder, Ivar P. Zeck
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen

228/92 "Teknologi og historie"
Fire artikler af:
Mogens Niss, Jens Høyrup, Ib Thiersen, Hans Hedal

229/92 "Masser af information uden betydning"
En diskussion af informationsteorien i Tor Nørretranders' "Mærk Verden" og en skitse til et alternativ basseret på andenordens kybernetik og semiotik.
af: Søren Brier

230/92 "Vinklens tredeling - et klassisk problem"
et matematisk projekt af
Karen Birkelund, Bjørn Christensen
Vejleder: Johnny Ottesen

231A/92 "Elektrondiffusion i silicium - en matematisk model"
af: Jesper Voetmann, Karen Birkelund, Mette Olufsen, Ole Møller Nielsen
Vejledere: Johnny Ottesen, H.B.Hansen

231B/92 "Elektrondiffusion i silicium - en matematisk model" Kildetekster
af: Jesper Voetmann, Karen Birkelund, Mette Olufsen, Ole Møller Nielsen
Vejledere: Johnny Ottesen, H.B.Hansen

232/92 "Undersøgelse om den simultane opdagelse af energiens bevarelse og især deles om de af Mayer, Colding, Joule og Helmholtz udførte arbejder"
af: L.Arleth, G.I.Dybkjær, M.T.Østergård
Vejleder: Dorthe Posselt

233/92 "The effect of age-dependent host mortality on the dynamics of an endemic disease and
Instability in an SIR-model with age-dependent susceptibility
by: Viggo Andreasen

234/92 "THE FUNCTIONAL DETERMINANT OF A FOUR-DIMENSIONAL BOUNDARY VALUE PROBLEM"
by: Thomas P. Branson and Peter B. Gilkey

235/92 OVERFLADESTRUKTUR OG POREUDVIKLING AF KOKS
- Modul 3 fysik projekt -
af: Thomas Jessen

305/95 The Maslov Index:
A Functional Analytical Definition
And The Spectral Flow Formula

By: B. Booss-Bavnbek, K. Furutani

306/95 Goals of mathematics teaching

Preprint of a chapter for the forth-
comming International Handbook of
Mathematics Education (Alan J.Bishop, ed)

By: Mogens Niss