

# TEKST NR 271

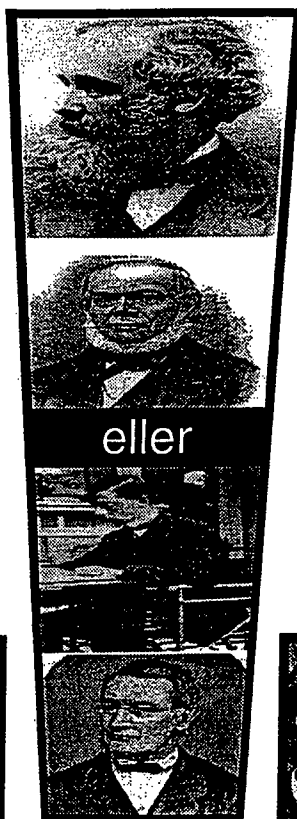
# 1994

## Matematikken I Fysikken

Opdaget

eller

Opfundet?



Af  
Bjarne W. Petersen  
Ea G.K. Hansen  
Erik G. Olsen  
Lars K. Holdt  
Marianne Bjerregaard  
Sune Vang-Pedersen  
Tore Dalsgaard

Vejleder:  
Jens. H. Jensen

P2, natbas, RUC  
efteråret 1993

## TEKSTER fra

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

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postboks 260, 4000 Roskilde

Matematikken i Fysikken. Opdaget eller opfundet?

af: Bjarne W.Petersen, Ea G.K.Hansen, Erik G.Olsen, Lars K.Holdt, Marianne Bjerregaard, Sune Vang-Pedersen, Tore Dalsgaard

Vejleder: Jens Højgaard Jensen

IMFUFA tekst nr. 271/94

56 sider

ISSN 0106-6242

---

Abstrakt.

Med udgangspunkt i 2 eksempler, termodynamikkens 1. hovedsætning og Maxwells ligninger, undersøger vi den tusind år gamle diskussion om matematikken i fysikken er opfundet eller opdaget. De 2 eksempler illustrerer, hvorledes det er muligt at opnå en fysisk erkendelse af henholdsvis energibevarelsen og elektromagnetiske bølger. I det første eksempel nåede man til erkendelsen primært ad empirisk vej, og i det andet fortrinsvist via matematiske ræsonnementer. Det viser sig, at der ikke findes et entydigt svar på, om matematikken er opfundet eller opdaget.

# Forord

I gamle dage, dengang jeg studerede og tiden forud for da, indledtes ethvert universitetsstudium i Danmark med det såkaldte "filosofikum". Alle studerende skulle gennemgå det fælles filosofikursus for derigennem at kunne se deres fagstudie i perspektiv. Og da kurset afskaffedes, skete det, ikke fordi denne bestræbelse fandtes overflødig, men fordi det løsrevne filosofikum var kommet til at fungere for abstrakt og overfladisk i forhold til de studerende. I stedet skulle hvert fagstudie (det skete af organisatoriske grunde kun i begrænset omfang) oprette hver sit fagrelevante filosofikursus.

Den naturvidenskabelige basisuddannelse på RUC tager 2 år og består ved deltagelse i 8 kurser og 4 projektarbejder. De tre første projekter skal eksemplificere arbejde med naturvidenskab (naturvidenskab anvendt på praktisk/samfundsmæssig problemstillinger; ingeniørens synsvinkel), arbejde i naturvidenskab (naturvidenskabelige problemstillinger; naturvidenskabsmandens synsvinkel) og arbejde om naturvidenskab (problemer vedrørende naturvidenskaber i samfundet, i uddannelsessystemet og som erkendelse; humanistens synsvinkel). Det fjerde projekt er frit.

Med, i og om projektarbejde er tilsammen ment perspetiverende i forhold til de senere fagstudier. Specielt kan om-projektet ses som en fagrelateret afløser af det hedengangen filosofikum.

Det foreliggende projekt er et om-projekt, som jeg har anbefalet projektgruppen at lade optrykke i IMFUFA's tekstrække. Anbefalingen skyldes, at jeg synes projektet er et vellykket eksempel på, hvordan det faglige (her matematik og fysik) og det filosofiske kan integreres ved indledningen af et universitetsstudie. Og altså et vellykket eksempel på et 3. semesters projekt på den naturvidenskabelige basisuddannelse i forhold til intentionerne med dette semesters projektarbejde. Men anbefalingen skyldes selvsagt også, at jeg finder, at projektet i sig selv er læseværdigt for en bredere kreds.

af Jens Højgaard Jensen

# Indholdsfortegnelse

<b>Indledning</b>	s. 1
<b>Termodynamik</b>	s. 4
1.1 Stoffeori	s. 5
1.2 Kinetisk teori	s. 5
1.3 Rumford	s. 6
1.4 Mayer	s. 7
1.5 Colding	s. 8
1.6 Joule	s. 9
1.7 Helmholtz	s. 9
1.8 Opsummering	s. 10
<b>Maxwells ligninger</b>	s. 11
2.1 Introduktion af Maxwell	s. 11
2.2 De fire love	s. 12
2.3 Maxwells ligninger	s. 16
2.4 Afrunding	s. 21
<b>Efterbehandlig af eksemplerne</b>	s. 22
3.1 Oplevelse af matematikken i termodynamikkens 1. hovedsætning	s. 22
3.2 Oplevelse af matematikken i Maxwells ligninger	s. 22
3.3 Opsamling	s. 24
<b>Er dette en pibe?</b>	s. 26
<b>Historisk introduktion</b>	s. 27
<b>Antikken</b>	s. 28
4.1 Platon	s. 28
4.2 Aristoteles	s. 30
4.3 Forskelle mellem Platon og Aristoteles	s. 30
4.4 Platon og Aristoteles i forhold til eksemplerne	s. 31
4.5 Filosofernes forudsætninger	s. 31
<b>Middelalderen</b>	s. 33
5.1 Realisme og nominalisme	s. 33
5.2 Forskelle mellem realisterne og nominalisterne	s. 35
5.3 Realisme, nominalisme og termodynamikkens 1. hovedsætning	s. 36
5.4 Realisme, nominalisme og Maxwells ligninger	s. 36
5.5 Filosofernes forudsætninger	s. 36
<b>Rennæssancen</b>	s. 38
6.1 Rationalisme og empirisme	s. 38
6.2 Rationalisme og empirisme og termodynamikkens 1. hovedsætning	s. 40
6.3 Rationalisme og empirisme og Maxwells ligninger	s. 40
6.4 Filosofernes forudsætninger	s. 40

## Indholdsfortegnelse

---

<b>Romantikens filosofi og positivismen</b>	s. 42
7.1 Romantikken	s. 42
7.2 Positivismen	s. 43
7.3 Romantikken, positivismen og termodynamikkens 1. hovedsætning	s. 44
7.4 Romantikken, positivismen og Maxwells ligninger	s. 44
7.5 Filsoffernes forudsætninger	s. 44
<b>Det 20'ende århundrede</b>	s. 46
8.1 Den logiske positivisme	s. 46
8.2 Kritik af den logiske positivisme	s. 48
8.3 Logiske positivister, kritikere og termodynamikkens 1. hovedsætning	s. 49
8.4 Logiske positivister, kritikere og Maxwells ligninger	s. 50
8.5 Grundlaget for de logiske positivister	s. 50
<b>Afslutning</b>	s. 51
9.1 Realister	s. 51
9.2 Anti-realister	s. 52
9.3 Sammenligning	s. 52
<b>Litteraturliste</b>	s. 55

# Indledning

En væsentlig del af fysikundervisningen bruges til at lære om sammenhænge mellem naturfænomener. Et er at der overhovedet er sammenhænge mellem naturfænomener, men noget andet forbløffende er, at sammenhængende kan opstilles matematisk. Vi lærer den ene forunderlige sammenhæng efter den anden;  $F=ma$  og  $E=mc^2$  er blot to eksempler. Men hvilken betydning kan vi tillægge det, at naturlove kan opstilles matematisk?

Mange har den opfattelse, at matematik bare er det sprog, der er nemmest at bruge, når man skal overskue komplicerede sammenhænge, som det jo tit er tilfældet i fysik.

En af fortalene for denne opfattelse er filosofen Mill (1804-1863), der mente, at matematiske sandheder udelukkende er verbale sandheder, og at matematiske ræsonnementer bare består af sproglige transformationer, som kan beskrive vores erfaringer. Altså er matematik bare et sprog, vi mennesker har opfundet (konstrueret) for bedre at kunne holde styr på vores viden. Mill udtalte bl.a.:

*"1+2=3: Det er en sandhed, der er kendt af os alle pga. tidlig og konstant erfaring - en induktiv sandhed: og sådanne sandheder er grundlaget for videnskaben om tal" <sup>1</sup>*

Andre mener, at de ting, som finder sted i naturen, er styret af matematiske principper, og at vi derfor ved at interessere os for fysikken automatisk må opdage den matematiske struktur, som ligger gemt i verden. Som fysikeren Galileo Galilei (1564-1642) udtalte:

*"Naturens store bog er skrevet i matematikkens sprog, og bogstaverne i den er cirkler, trekanten og andre geometriske figurer" <sup>2</sup>*

Det sagde han efter at have opdaget flere naturlove, som alle kunne udtrykkes matematisk. Han følte sig dermed overbevist om, at alle naturfænomener var opskrevet på formler (udtrykt matematisk) af Gud. Han mente derfor, at det eneste, vi kan gøre, hvis vi vil læse og forstå naturens store bog, er at lære det sprog, den er skrevet i.

Han var dog ikke den første, der fik den idé, idet Phythagoræerne (400 f.kr) tænkte noget lignende. De opdagede, at tonernes indbyrdes forhold på musikskalaen kan beskrives med hjælp af simple talforhold.<sup>3</sup> F.eks. kan man forestille sig, at vi slår en tone an på en streng. Det gælder så, at man ved at skære stren-

gen midt over og slå den ene halvdel an vil høre den samme tone som før; bare en oktav højere. Det foranledigede dem til at tro, at hele verden kan beskrives ved hjælp af simple talforhold, og at det ligger i mennesket at stræbe efter at kende denne fuldendthed, sådan som vi netop nyder musikken, når tonerne har nøjagtig disse rene talforhold.

Vi står altså nu med to forskellige syn på matematikken:

Er det et konstrueret og opfundet sprog, som Mill mener det, eller er naturen "skrevet" i matematik forud for menneskets eksistens, som Galilei har indtryk af?

Er matematikken opfundet, udtrykker den blot allerede kendt viden, idet man konstruerer formler til at formidle sin viden. Er verden skrevet i matematikkens sprog, må den også have fungeret efter disse matematiske principper, før vi opdagede det. Matematikken må så eksistere uafhængigt af menneskene, og man kan derfor sige, at matematikken kan opdages.

Spørgsmålet om matematikkens erkendelsesteoretiske status har mange filosoffer forsøgt at svare på op igennem tiden. De kunne hverken bevise, at matematikken er opfundet eller opdaget, så vi forventer heller ikke at kunne give et entydigt svar. Istedet vil vi klargøre diskussionen og argumenterne for og imod. Vi har alligevel valgt følgende problemformulering, som en ledetråd for projektet:

*"Hvilken rolle spiller matematik som led i erkendelse, specielt af fysiske fænomener"*

Istedet for at gennemgå filosofernes bidrag til diskussionen fra ende til anden, har vi valgt at tage udgangspunkt i to eksempler fra fysikken fra slutningen af sidste århundrede, der hver især kan bruges som illustrationer af matematikkens erkendelsesteoretiske status: Er den opfundet eller opdaget? Det gør vi for at få en praktisk indgangsvinkel og et mere konkret indhold i et ellers teoretisk problem.

Termodynamikkens 1. hovedsætning er et godt eksempel på, hvordan man nåede til en erkendelse af en alment gældende naturlov uden brug af matematik, og den giver derfor en fornemmelse af, at matematik kun er et sprog, vi kan bruge til at beskrive det, vi har erfaret.

Maxwells ligninger er et godt eksempel på, hvordan man via matematiske ræsonnementer nåede frem til en forståelse af en større sammenhæng indenfor fysikken og dermed også en forudsigelse af radiobølgenes eksistens. Dette eksempel giver én fornemmelsen af, at verden er skrevet i matematikkens sprog.

Eksemplerne kan ikke læses som historiske korrekte men er gennemgået som illustrationer af, hvordan man kan argumentere for, at matematikken er enten opfundet eller opdaget. Svaret på dette spørgsmål, mener vi, må være uafhængigt af historiens

gang.

Efter de to eksempler vil vi gennemgå udvalgte perioder inden for idéhistorien. Da filosofferne som oftest ikke har udtalt sig direkte om matematikkens rolle i fysik, men derimod mere generelt om menneskets muligheder for at opnå erkendelse, har vi ud fra vores viden om de to eksempler forsøgt at give en vurdering af, hvordan de forskellige filosofiske retninger ville have forholdt sig til vores to illustrationer. Vi har udvalgt de 5 forskellige perioder i historien, hvor vi synes diskussionen står klarst.

Det skulle være muligt at læse projektet uden særlige forudsætninger på nær det midterste afsnit af kapitel 2, som handler om Maxwells ligninger. Her gennemgås en del matematiske ræsonnementer, men vi har forsøgt at skrive kapitlet sådan, at pointen står klart for alle, også for dem der ikke er så gode til matematik.

---

<sup>1</sup> Ud over matematikken, s.19

<sup>2</sup> Hvem tænkte hvad, s.230

<sup>3</sup> The Power of Mathematics, s.8



# Termodynamikkens

## 1. hovedsætning

Termodynamikkens 1. hovedsætning er den første af de 2 eksempler, vi har valgt at behandle for at kunne belyse vores problemstilling. Vi vil undersøge, hvorledes det var muligt for personerne bag termodynamikkens 1. hovedsætning at nå frem til den erkendelse, at varme og arbejde er indbyrdes konvertible og tilsammen uforgængelige (energien er bevaret). Op gennem tiderne har man haft forskellige opfattelser af, hvad varme er, og vi vil derfor starte med at gennemgå disse, da det giver en idé om, hvilket grundlag man byggede på. Derefter vil vi tage de 4 personer frem, som har fået æren for termodynamikkens 1. hovedsætning, og se, at det er muligt at nå til en erkendelse uden brug af matematiske ræsonnementer men derimod via eksperimenter og observationer.

“Energien i ethvert lukket system er bevaret”, er en af de ting termodynamikkens 1. hovedsætning udtaler sig om. Helt præcist siger termodynamikkens 1. hovedsætning, at ændringen af et systems indre energi ( $\Delta E$ ) er lig den til systemet tilførte varme ( $\Delta Q$ ) og arbejde ( $\Delta W$ ):

$$\Delta E = \Delta Q + \Delta W$$

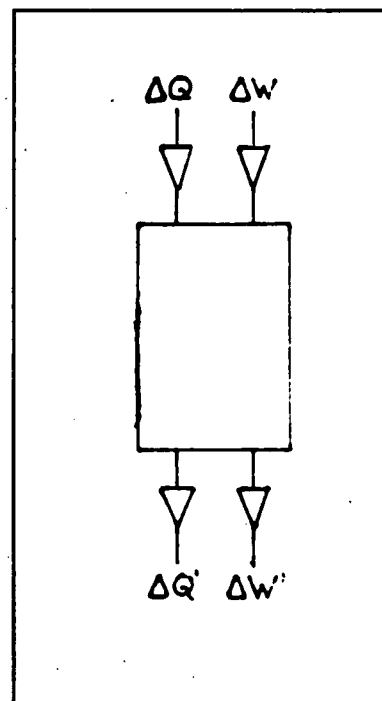
Vi ser her, at varme og arbejde er konvertible.

Lige kort et par eksempler på hvorledes dette virker i praksis. Hvis vi pumper et cykeldæk med en pumpe, kan vi efter et stykke tid mærke, at ventilen er blevet varm; en del af det arbejde, vi har brugt til at pumpe, er gået til varme. Omvendt, hvis vi ser på dampmaskinen, bliver en del af den varme, som udvikles i dampmaskinen, omsat til arbejde.

Det var først omkring 1850, at man for alvor anerkendte 1. hovedsætning som almen gyldig, selv om man allerede ca. 100 år før forsøgte at forstå sammenhængen mellem mekanisk bevægelse og varme. For at nå til erkendelsen af 1. hovedsætning er man først nødt til at forstå, hvad varme egentlig er.

### Hvad er varme?

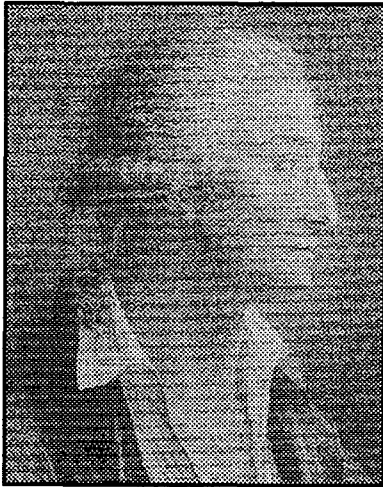
Allerede i det gamle Grækenland spekulerede man over, hvad varme er. Dengang havde de en opfattelse af, at ild, som er i stand til at varme omgivelserne op, er et af de grundelementer, som verden består af (vand, luft, jord og ild). Man gik allerede her ud fra, at varme er et stof.



Figur 1:  
 $Q$  = varme og  $W$  = arbejde. Størrelserne regnes med fortegn afhængig af, om de går ind eller ud af systemet.

I det 18'ende århundrede begyndte man at interessere sig stærkt for, hvad varme er, da man under den industrielle udvikling så, at varme kunne bruges i bl.a. dampmaskiner til udvikling af mekanisk arbejde, selvom man endnu ikke havde forstået teorien bag dampmaskinen.

To forskellige teorier gjorde sig gældende. Den ene teori, hvor man gik ud fra, at varme må være et stof, var den mest anerkendte. Den anden teori, hvor man troede, at varme er en mekanisk bevægelse, skulle senere vise sig at holde stik.



Antoine Laurent Lavoisier (1743-1794), fransk kemiker, blev født i Paris i 1743. Lavoisier fik undervisning med henblik på, at han skulle studere jura. I 1763 fik Lavoisier sin juridiske embedsek-samen, allerede på dette tidspunkt brugte han sin fritid på de videnskabelige studier. Lavoisier bliver betragtet som den moderne kemis fader og påviste bl.a., at en forbrænding kræver ilt. Lavoisier døde af guillotinerings i 1794.

## 1.1 Stofteori

Kemikeren Lavoisier arbejdede ud fra påstanden om, at stof hverken kan opstå eller forgå, og dermed lagde han grundlaget for kemien. Han startede med at udvikle det, vi idag kalder for det periodiske system, og han fandt flere grundstoffer. Til rækken af fundne grundstoffer tilføjede han stoffet "calorique" som det stof, der er varm. Det gjorde han ud fra den opfattelse, at varme hverken kan forgå eller opstå ud af den blå luft; temperaturændringer skyldes kun, at varmestoffet flytter sig fra et område til et andet. Man mente, at grunden til, at varme kunne gå igennem materialer, var, at varmestoffet bestod af meget små partikler (mindre end faststof-partikler), og det derfor kunne diffundere gennem faste stoffer og væsker.

## 1.2 Kinetisk teori

Allerede Platon mente, at varme var en mekanisk bevægelse. Han så, at der udvikledes varme (og nogle gange ild) ved gnidning mellem to legemer. Han skulle engang have sagt:

*"For varme og ild....er begge opstået ved sammenstød og friktion; men dette er bevægelse. Er disse ikke ildens oprindelse?"*

1

Vi kan også citere Francis Bacon (1561-1626) for at have sagt:

*"The very essence of heat.... is motion and nothing else",*

hvilket både fysikeren Isaac Newton og kemikeren Robert Boyle gav ham ret i. <sup>2</sup>

I det 18'ende århundrede forsøgte man at forklare den kinetiske teori på to forskellige måder.

Nogle troede, at en given genstand vibrerer (som en stemmegaffel man har slået an), og at det er denne bevægelse, der medfører, at genstandens temperatur stiger. Man forestillede sig vibrationer med så små udsving, at de var både usynlige og uhørlige. Det var kun muligt at registrere varmen ved at røre ved genstanden.

Andre mente, at bevægelsen i det pågældende stof var mere kaotisk; det var de enkelte atomer i stoffet, der skubbede til hinanden.

Lavoisiers stofteori gjorde sig gældende helt frem til 1840'erne, hvor den kinetiske teori (varme er bevægelse) blev eftervist af både Mayer, Colding og Joule, som alle beregnede varmens mekaniske ækvivalens ud fra eksperimentelle data.

Ca. 50 år før var der dog en, der offentliggjorde et videnskabeligt stykke arbejde, som faktisk førte til den konklusion, at varme er det samme som mekanisk bevægelse. Han byggede på nogle eksperimenter, som vi nu vil præsentere, og vi vil også komme ind på, hvorfor hans opdagelser ikke fik tillagt særlig stor værdi, før Mayer og Joule kom på scenen.

### 1.3 Rumford

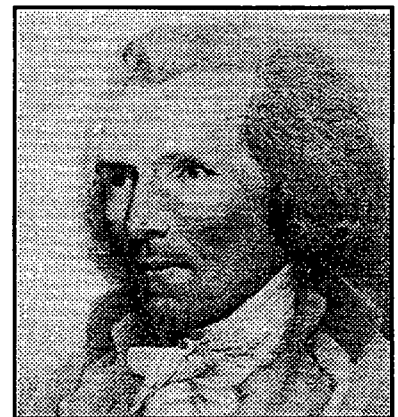
Rumford var en amerikansk hærfører, der pga. sit arbejde indenfor militæret gjorde sig mange overvejelser omkring varme og andre fysiske fænomener. Det var f.eks. vigtigt, at hans underordnede var ordentligt klædt på for at holde på varmen, og at man tog højde for en kugles bevægelse gennem luften, når man sigtede efter et mål. Allerede som ganske ung havde Rumford læst en afhandling af kemikeren Boerhaave, som troede, at varme skyldes en vibration af den pågældende varmekilde. Vibrationer med så høj frekvens, at man hverken kunne se eller høre dem, men kun ved berøring kunne registrere dem som varme.

Rumford tog Boerhaaves teori til sig og prøvede faktisk at eftervise den ved hjælp af de forsøg, han opstillede. Det var først senere, det gik op for ham, at varme skyldes en mere kaotisk bevægelse; den der finder sted på det molekylære plan i et stof.

#### Rumfords tre eksperimenter

Udboring af kanoner inspirerede Rumford til at undersøge om de messingspåner, der gik til spilte ved udboring af kanoner, vejede mindre efter opvarmningen eller ej. Ud fra den teori, at varme er et stof, kunne man godt tro, at det varmestof, der fandtes i dem, blev "vredet ud" ved opvarmning (gnidning), hvilket så ville medføre, at spånerne vejede mindre. Han foretog derfor nogle målinger for at undersøge dette og fandt, at vægtfylden var uforandret i messingspånerne før og efter varmeafgivelsen. Det betød, at teorien om varme som et stof, der bliver vredet ud af messingspånerne pga. gnidning, kunne forkastes. Det var selvfølgelig begrænset, hvor små vægtenheder han var i stand til at registrere, så derfor kunne han ikke med hundrede procents sikkerhed sige, at varme ikke vejer noget, men han kunne sige, at hvis det vejer noget, så er det ihvertfald utrolig lidt.

Det andet af Rumfords forsøg viste, at der ved gnidning mellem to legemer (en mekanisk bevægelse) kunne udvikles en uendelig stor mængde varme. Ved at placere en udboret kanon under vand og lade et stumpt bor (for at undgå messingspåner) bore i kanonen, så han, at vandets temperatur steg, som tiden gik, endda så meget at vandet begyndte at koge. Da det var åbenlyst, at varmen ikke kom fra omgivelserne, forstod Rumford hermed, at grunden til, at varmen udvikledes, måtte være den mekaniske



*Benjamin Thompson Rumford (1753-1814), amerikansk videnskabsmand og greve, måtte efter frihedskrigen (1783) drage til Europa, hvor han blev ansat af den Bayerske kurfyrste, Karl Theodor. Han blev dog så upopulær, at han i 1798 måtte rejse til Paris, hvor han giftede sig med enkefru Lavoisier. Rumfords samtid anerkendte ikke hans teorier om varme og døde ensom et sted uden for Paris.*



*Julius Robert Mayer (1814-1878), tysk læge og fysiker, blev født i Heilbronn, Württemberg. Han fik syv børn, hvoraf 5 døde, røg i fængsel i 1837 og blev arresteret under revolutionen i 1848. I 1850 forsøger Mayer at tage sit eget liv ved at springe ud fra et vindue i 9 meters højde, men han overlever og ender i 1852 på et sindsygehospital i 13 måneder. Først i 1878 dør Mayer af tuberkulose.*

bevægelse, der fandt sted ved udboringen. Det kom bag på de interesserede videnskabelige kredse, at man kunne bringe vand i kog uden ild som varmekilde. Ud fra dette forsøg mente han at kunne konkludere, at varme dermed ikke er en bevaret størrelse, da den jo i forsøget opstod ved hjælp af mekanisk arbejde. Er varmen ikke en bevaret størrelse, kan man ikke betragte den som et stof, da stof per definition hverken kan opstå eller forgå.

Det tredje forsøg var meget enkelt. Han hældte en saltopløsning ned i et glas vand og anbragte forsigtigt noget destilleret vand ovenpå (det kan lade sig gøre, fordi det vejer mindre end saltopløsningen). Ved at hælde en dråbe olie, som vejede mere end det destillerede vand og mindre end saltopløsningen, ned i glasset, kunne han se, hvor skillelinien gik mellem de to væsker. Rumford så, at oliedråben vandrede opad, som tiden gik. Saltet i saltopløsningen havde blandet sig med det destillerede vand, der så "bundfældede", hvorfor mængden af saltholdigt vand blev øget og oliedråben vandrede opad og dette uden omrøring. Forsøget bekræftede ham i, at der i et stof finder en konstant bevægelse sted; molekylerne bevæger sig mellem hinanden.

Rumfords argumenter for, at varme ikke er et stof, blev ikke accepteret før ca. 50 år efter, han gjorde opdagelserne. Det skyldes, at man ved at betragte varme som et stof kunne forklare mange fænomener, som Rumfords teori ikke umiddelbart ledte frem til. F.eks. beskrives varmebevarelsen i et lukket system, hvori der ikke indgår gnidning, tilstrækkelig godt ved hjælp af stofteorien, og man mente derfor ikke, at det var nødvendigt at ændre den.

For at kunne forkaste stofteorien fuldstændigt manglede Rumford at vise ad eksperimentel vej, at det er muligt at finde det kvantitative forhold mellem varme og mekanisk bevægelse. Dette forhold er i dag kendt som varmens mekaniske ækvivalens. Ca. 50 år efter gjorde tre forskellige opdagere, Joule, Mayer og Colding, det, som ikke lykkedes for Rumford. Æren for opdagelsen af energibevarelsen tildeles derfor ikke Rumford men fire andre personer: Julius Robert Mayer, Ludvig August Colding, James Prescott Joule og Herman von Helmholtz, hvor sidstnævnte anerkendes for sin matematiske formulering af loven. Vi vil i det følgende kort beskrive, hvorledes de fire personer - mere eller mindre uafhængigt af hinanden - formåede at eftervise, at energien er bevaret.

## 1.4 Julius Robert Mayer

Julius Robert Mayer var den af de fire opdagere, som først publicerede sine ideer omkring energiens bevarelse.

På en rejse til Java fortæller en styrmand Mayer, at havet efter et stormvejr altid er varmere end før stormen. Her så Mayer en sammenhæng mellem varme (havets temperatur) og bevægelse (stormens omrøring af havet); varme og bevægelse måtte være indbyrdes konvertible, hvilket han også så som et bevis på, at energien måtte være bevaret.

I årene 1841 og 1842 udgiver Mayer to artikler, hvor han prøver at argumentere for energibevarelse ud fra forskellige konverteringsprocesser. I sin 2. artikel forsøger han at beregne varmens mekaniske ækvivalens ud fra data fra andres eksperimenter. Mayer beregnede varmens mekaniske ækvivalens til at være 3,59 Nm/cal. Afvigelsen, fra den værdi vi bruger idag (4,18 Nm/cal), skyldes ikke Mayers regnemetode, men derimod de store usikkerheder på de størrelser, som han regnede ud fra.

## 1.5 Ludvig August Colding

Ludvig August Colding er den danske mand på banen. Han var meget religiøs, og det var mere eller mindre ad den vej, han var kommet til den overbevisning, at energien måtte være bevaret. V. Marstrand udtrykker det således:

*“For Coldings Vedkommende var Tankegangen den, at naar der var Naturlove til, og naar der var en Gud til, saa kunde de forskellige i Naturen virkende Kræfter ikke gaa til Spilde, de kunde kun være Udtryk for Guds Væsen, og derfor maatte de altid forblive uforandrede i Størrelse, selv om de antog forskellige Form.”*<sup>3</sup>

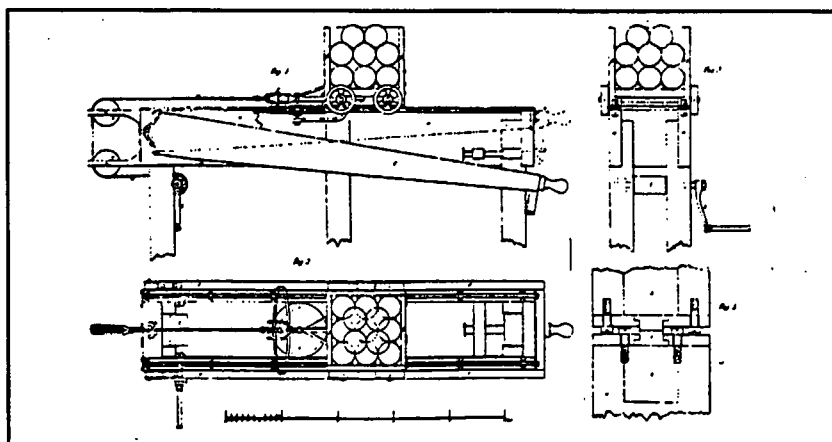
Ideen havde L.A. Colding fået, da han assisterede sin lærer H.C. Ørsted ved en række eksperimenter omkring sammen-presseligheden af væsker og gasser (1839). De efterfølgende år brugte Colding, på opfordring af H.C. Ørsted, til at gennemføre en række eksperimenter, som kunne underbygge hans teori. Eksperimenterne blev udført i flere omgange; første gang i 1843.

Ved at bygge en slæde med meder af forskelligt materiale (glødet messing, zink, bly, lindetræ og jern) og læsse den med kanonkugler, kunne de trække den med konstant kraft hen over nogle skinner.

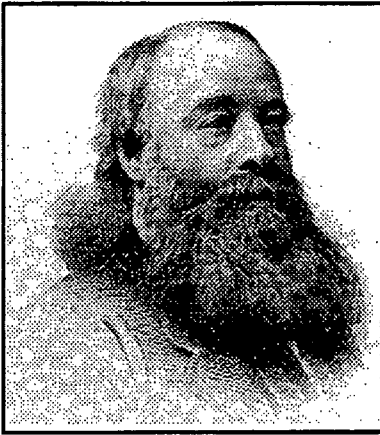
Gnidningsvarmen, som så ville fremkomme ved friktionen mellem skinnerne og mederne, ville kunne måles på længdeudvidelsen af skinnerne. Denne længdeudvidelse skulle så, hvis Colding havde ret i sine antagelser, være proportional med det arbejde, som var anvendt til at trække slæden. Resultatet af de



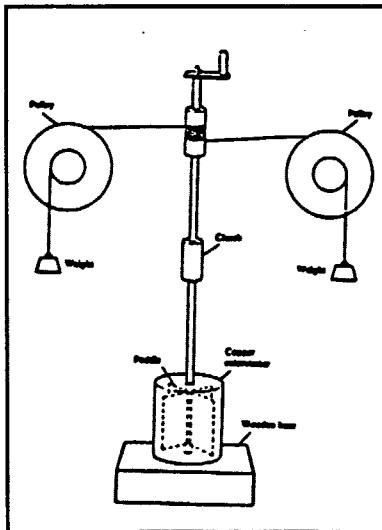
Ludvig August Colding (1815-1888), dansk fysiker, blev født på Arnakkegård ved Holbæk i 1815. I 1851 forestod Colding sammen med H. C. Ørsted et kloakeringsprojekt i København, som vandt en international pris. I 1864 blev Colding slået til Ridder af Dannebrog, i 1869 blev han udnævnt til professor på Polyteknisk Læreanstalt og i 1871 blev han så udnævnt til æresdoktor på universitetet i Edinburg.



Figur 2. Forsøgsopstilling fra Coldings 2. forsøgsrække.



*James Prescott Joule (1818-1889), engelsk fysiker og bryggeriejer, blev født i byen Salford, Manchester. Joule modtog hjemmeundervisning af bl.a. John Dalton. Som bryggeriejer interesserede Joule sig stærkt for at forbedre maskinernes effektivitet og fandt derigennem loven for varmeudviklingen fra et elektrisk kredsløb ( $P=RI^2$ ).*



*Figur 3, Joules "Paddlewheel" opstilling.*

første eksperimenter var, at den afsatte varme i skinnerne var proportional med det arbejde, der var gået til at trække slæden. Man var ikke helt tilfreds i Videnskabernes Selskab med resultatet; man mente, at Colding's idéer kunne formuleres mere præcist. Således blev Colding bevilliget 200 Rigsdaler til fortsættelse af sine eksperimenter. De følgende eksperimenter var opbygget efter samme princip som de forgående, men denne gang havde Colding fået bygget en større udgave af opstillingen og havde fået fat i mere præcist måleudstyr. Resultatet af disse eksperimenter var, at varmen, der var afsat i mederne, ikke blot var proportional med men (næsten) lig det arbejde, der var udført på slæden! Colding fandt, at varmens mekaniske ækvivalens var 3,63 Nm/cal.. Resultatet af disse og de foregående eksperimenter blev udgivet i 1850 i det Kgl. Danske Videnskabernes Selskabs Skrifter.

Colding havde altså formået at vise, at varme og mekanisk arbejde er indbyrdes konvertible, og at energien dermed er bevaret.

## 1.6 James Prescott Joule

James Prescott Joule kom på sporet af energibevarelsen ad eksperimentel vej. Som bryggeriejer forsøgte han at forbedre maskinernes effektivitet og håbede i første omgang, at elektromagneter kunne gå hen og blive en uudtømmelig energikilde. Han tænkte slet ikke i de baner, at energien skulle være bevaret. Gennem sine utallige eksperimenter blev Joule dog ledt ind på sporet af energibevarelsen (det lykkedes ham ikke at lave en evighedsmaskine), og i 1844 gennemførte Joule sit "Paddlewheel"-forsøg, hvor han forsøgte at finde varmens mekaniske ækvivalens (figur 3).

Forsøget var ret simpelt: Ved at sætte et skovlhjul ned i en isoleret beholder fyldt med væske og forbinde skovlhjulet til en stang, som forbindes til 2 lodder, der, når de falder til jorden, får stangen - og dermed skovlhjulet - til at dreje rundt og røre rundt i væsken, kunne man få temperaturen til at stige. Lodderne udfører, når de falder til jorden, et arbejde på væsken svarende til  $mgh$ .. Ved at tage forholdet mellem dette arbejde og den tilførte varme i væsken (måles ved temperaturforøgelsen) finder man varmens mekaniske ækvivalens (og at energien må være bevaret); denne fik Joule til at være 4,21 Nm/cal.

## 1.7 Hermann von Helmholtz

Hermann von Helmholtz (1821-1894) regnes også som en af opdagerne af energiens bevarelse. Dette skyldes ikke, at han var en af de første, men derimod at han formåede at beskrive princippet om energibevarelsen matematisk. Derudover var det først ved udgivelsen af Helmholtz artikel i "Annalen der Physik und Chemie" (Poggendorff Annalen) i 1847, at energibevarelsen blev modtaget endeligt i de videnskabelige kredse.<sup>4</sup>

Helmholtz var - i lighed med Colding - af den overbevisning, at

det er umuligt at lave en evighedsmaskine, hvilket jo netop er en konsekvens af, at energien er bevaret i ethvert lukket system. Skulle det være muligt at lave en evighedsmaskine, måtte det betyde, at det er muligt at få mere energi ud af et system, end man putter ind; altså at energien ikke ville være bevaret.

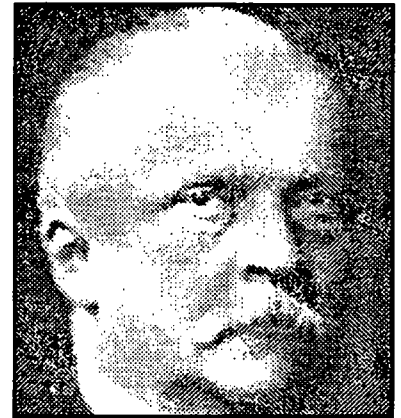
Med udgangspunkt i Newtons 2. lov ( $F=ma$ ) udleder Helmholtz en matematisk formulering af energibevarelsen.

## 1.8 Opsummering

Det vigtige i denne gennemgang er, at det via empiriske opdagelser er muligt at opnå erkendelsen af, at energien er bevaret. Man måtte først have fået idéen om, at varmen og arbejdet tilsammen er bevaret, inden man begyndte at formulere det matematisk.

At energien er bevaret er altså ikke noget, der er tvingende nødvendigt at antage på grund af logiske ræsonnementer, så længe man opfatter varme og arbejde som to adskilte fænomener. Pointen er den, at det var muligt at opstille mange forskellige eksperimenter, hvorudfra man kunne beregne varmens mekaniske ækvivalens. Da man så hver gang fik den samme omregningsfaktor, kunne man ad empirisk vej godtgøre, at varmen og arbejdet tilsammen er bevaret. Især Joules og Coldings eksperimenter var vigtige, idet de var veludførte og lette at efterprøve. 1. hovedsætning vandt hermed anerkendelse pga. forskernes empiriske arbejde. Beregningen af varmens mekaniske ækvivalens gjorde det aktuelt at forkaste teorien om, at varme er et stof, da man så, at anvendelsesmulighederne af den nye teori overgik stofteoriens anvendelsesområde.

Matematikken har altså ikke spillet nogen rolle som led i erkendelsen af termodynamikkens 1. hovedsætning, men det har derimod empirien.



*Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894), tysk læge og fysiker, blev født i Potsdam i 1821. Helmholtz havde professorater ved Königsberg, Bonn, Heidelberg og Berlin. I 1888 blev han udnævnt til præsident for det Kejserslige Fysisk-Tekniske Institut i Charlottenburg. Udover hans fysiologiske afhandlinger strakte Helmholtz' videnskabelige virke sig også over elektrodynamik, akustik, væskedynamik og termodynamik.*

<sup>1</sup> "The experience of Science" s. 95

<sup>2</sup> "The experience of Science" s. 95

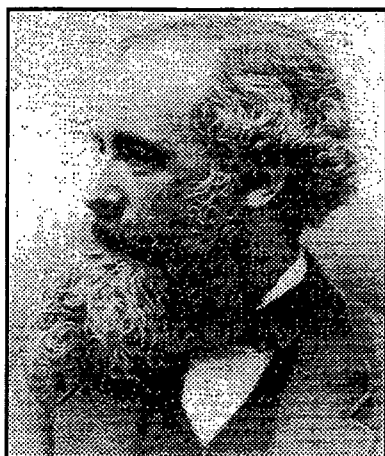
<sup>3</sup> Marstrand, V., 1929, "Ingeniøren og fysikeren Ludvig August Colding, Danmarks Naturvidenskabelige Samfund, G.E.C. GAD, København.

<sup>4</sup> Yehuda Elkana, "The Discovery of the Conservation of Energy"

# Maxwells ligninger

## Radiobølger

### 2.1 Introduktion af Maxwell



*James Clerk Maxwell (1831-1879), skotsk fysiker, blev født i Edinburg. Han var professor ved Kings College i London, og blev senere tilknyttet Cambridge Universitet, hvor han var rådgiver ved opbygningen af Cavendish Laboratoriet. Maxwell var for elektrodynamikken hvad Newton var for mekanikken, men udover det kom han også med teorier inden for andre felter end elektrofysikken, og han fremkom med teorien om Maxwell fordelingen indenfor gas kinetikken.*

James Clerk Maxwell var en fysiker, der beskæftigede sig med mange forskellige emner. Han har bla. beskæftiget sig med farveteori, termodynamik, lys og elektromagnetisme. Maxwell var også filosofisk interesseret, og i 1860'erne blev han professor i naturfilosofi.

I 1856 modtog Maxwell en artikel skrevet af Faraday om kraftfeltlinier (dem I har set med en magnet og jernspåner i fysikundervisningen!). Ved læsning af denne artikel opdagede Maxwell, at Faraday brugte matematiske begreber, men at han ikke formulerede sig som andre matematikere og fysikere. Faraday brugte ikke ligninger men feltlinier<sup>I</sup>, og derfor besluttede Maxwell<sup>1</sup>, at han ville prøve, at "oversætte" Faraday's idéer til "matematik".

Maxwell mente, at der eksisterede en æter<sup>2</sup>, der fyldte hele rummet, og at elektriske og magnetiske fænomener ikke kommer fra ledninger, kondensatorer osv. men allerede eksisterer i æteren som en form for energi, man endnu ikke havde fastlagt. For at klarlægge hvilken form energien har i æteren, opstillede Maxwell en kompliceret mekanisk model. Efter mange forgæves forsøg opgav han at beskrive elektricitet og magnetisme vha. den klassiske mekaniks begreber. Han arbejdede videre, hvor han behandlede elektricitet og magnetisme som størrelser, der var uafhængige af mekanikkens love, men eksisterede som kraftfelter.

Maxwells udgangspunkt var fire ligninger, der var formuleret af Gauss og Ampère samt en matematisk beskrivelse af Faradays opdagelser. Disse fire ligninger satte han sammen for at finde en sammenhæng mellem elektricitet og magnetisme. Ved matematisk behandling så han, at der manglede et led i den ene ligning, hvis alle ligningerne skulle gælde for de samme fænomener. Dette led førte til opdagelsen af et nyt fænomen; de elektromagnetiske bølger. Her overraskes videnskaben, idet det viser sig, at lys udbreder sig som elektromagnetiske bølger.

Det, vi finder interessant ved denne opdagelse, er, at Maxwell var i stand til at udlede generelle matematiske formler gældende for alle elektromagnetiske fænomener, uden at han helt forstod den fysiske fortolkning af formlerne.<sup>II</sup>

Formlernes fysiske konsekvenser gennemskuede og efterviste

<sup>I</sup> Feltlinier, har ingen virkelig eksistens, men er et billede som Faraday indførte af det magnetiske kraftfelt. Tætheden af linier symboliserer styrken af feltet, og pilene angiver retningen.



man først efter Maxwells død. Hertz så bl.a., at man ud fra ligningerne kunne forudsige, at der findes radiobølger. Ved eksperimentelt arbejde lykkedes det ham at eftervise radiobølgernes eksistens og dermed verificere Maxwells ligninger.

I 1873 udgiver Maxwell: "A Treatise on electricity & magnetism", hvor der for første gang bliver vist en sammenhæng med matematisk konsistens mellem Gauss', Ampères og Faradays love. Denne afhandling forudsiger eksistensen af elektromagnetiske bølger med bølgelængder uden for det synlige lys, og at disse har lysets hastighed.

Vi vil i det følgende komme ind på, hvordan man ud fra Maxwells ligninger kan komme til denne erkendelse, og hvor pointen er i forhold til vores problemformulering. Konsekvenserne af Maxwells fire ligninger er temmelig uansuelige uden brug af matematiske symboler; vi vil derfor i det følgende gøre flittigt brug af disse. Læsere, der ikke er interesserede i de matematiske og fysiske ræsonnementer, kan herfra springe direkte til afrundingen. Det væsentlige mht. handlingsforløbet er gennemgået i ovenstående, og pointerne vil blive trukket frem i afrundingen.

Resten af dette kapitel vil bestå af to hovedafsnit. Det ene vil beskrive de fire ligninger, Maxwell gik ud fra, inkonsistensen i dem og hvordan der rettes op på dem rent matematisk. Det andet hovedafsnit vil behandle konsekvenserne af det nye ligningssystem.

## 2.2 De fire love.

Inspireret af Newtons mekanik forsøgte Maxwell at vise en sammenhæng mellem elektriske og magnetiske fænomener.<sup>II</sup> Han tog udgangspunkt i 4 fysiske love, der på det tidspunkt var en komplet beskrivelse af de kendte elektriske og magnetiske fænomener. For at kunne forstå disse 4 love er det nødvendigt at kende de fysiske begreber kraftfelter, fluks og cirkulation, som vi derfor vil forklare her.

### Kraftfelter, fluks og cirkulation.

For at forstå begrebet fluks<sup>0</sup> må vi først beskrive, hvad et kraftfelt (vektorfelt) er. Et eksempel på et kraftfelt er jordens gravitationsfelt. Så snart en genstand med masse kommer ind i feltet, vil den blive trukket mod massemidtpunktet; jordens centrum. I ethvert punkt i feltet forestiller vi os en pil med retning og længde (en vektor), hvor pilen peger mod jordens centrum, hvilket er feltets retning. Pilens længde vil så angive feltets styrke præcis i det punkt, hvorfra vektoren udspringer. Feltet eksisterer hele tiden, men det er først, når der kommer et passende medie (en



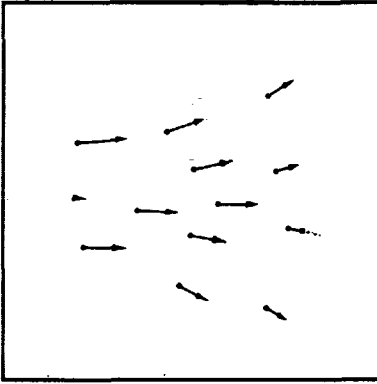
*Michael Faraday (1791-1867), engelsk fysiker og kemiker, var i lære som bogbinder, da hans interesse for videnskab blev vakt. Faraday imponerede sin lære, Humphrey Davy, så meget, at denne stillede sin assistent til rådighed for ham. Gennem nøje tilrettelagte forsøg opdagede Faraday, at magnetiske felter kan generere elektriske felter og vice versa. Da Faraday ikke havde den fornødne matematiske viden til at beskrive de fænomener han opdagede, opfandt han feltlinierne til at beskrive dette.*



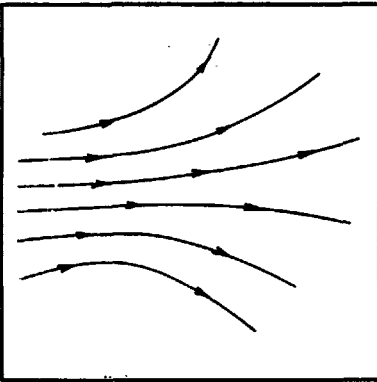
*Heinrich Rudolf Hertz (1857-1892), tysk fysiker, blev født i Hamburg. Han startede i 1876 med at studere til bygningsingeniør på Polytechnikum Dresden men koncentrede sig mest om fysik og matematik. Efter endt militærtjeneste fortsatte Hertz sine studier i Berlin, hvor han i sit 1. semester vandt en konkurrence for et projekt omkring Maxwells ligninger. I 1886 blev han professor på Polytechnikum Karlsruhe og professor i Bonn i 1889.*

<sup>II</sup> Maxwell troede til sin død på æterteorien, hvilket han byggede hele sin elektromagnetiske teori på.

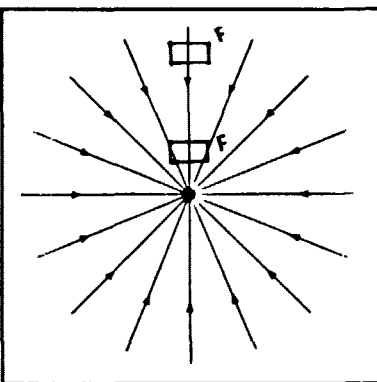
<sup>III</sup> Newton var den første der lavede en større forening af flere fysiske love, og siden da har man arbejdet imod sådanne foreninger.



Figur 2.1. Et vektorfelt tegnet vha. vektorer, hvor vektorernes længde og retning indicerer vektorfeltets størrelse og retning i deres udgangspunkt.



Figur 2.2. Faraday tegnede linier, der var tangenter til vektorerne i alle punkter, og lod afstanden mellem linierne indicere feltets styrke.



Figur 2.3. Jordens med kraftfeltet (tyngdefeltet) tegnet i form af pile. Ser vi på et areal,  $F$ , tæt på jorden går der 3 kraftlinier gennem. Samme areal,  $F$ , flyttet længere ud i rummet. Nu gennemstrømmes,  $F$ , kun af 1 kraftlinie. Fluksen i  $a$  er 3, mens fluksen i  $a'$  kun er 1.

genstand med masse) ind i det, at kræfterne bliver virksomme.

Til ethvert punkt i et vektorfelt vil der være en vektor, som beskriver størrelsen og retningen af feltet netop i dette punkt. Vi angiver felter med en streg ovenover bogstavet (enten  $B$  eller  $E$ ). Faraday indførte som før nævnt feltlinier for at illustrere, hvordan et felt ser ud. På figur 2.1 er tegnet et vektorfelt vha. vektorer, hvor vektorernes længde og retning indicerer vektorfeltets størrelse og retning i vektorernes udgangspunkt. Dette vektorfelt tegnede Faraday på en lidt anderledes måde (Figur 2.2). Han tegnede linier, der var tangenter til vektorerne i alle punkter, og lod afstanden mellem linierne indicere feltets styrke.

I vores kraftfelt lægger vi en fiktiv flade,  $F$  (tænk f.eks. på et stykke papir). Fluksen gennem en flade  $\Phi(F)$  er proportional med summen af vektorerne  $IV$ , der har udgangspunkt på eller går igennem fladen. Vi kan selv vælge placeringen af den tænkte flade.

Med Faraday's kraftlinier bliver fluksen,  $\Phi$ , gennem fladen,  $F$ , proportional med antallet af kraftlinier, der går gennem fladen (figur 2.3).

Cirkulation er den resulterende hastighed af kraftfeltet i den tænkte flade ganget med omkredsen. For ethvert vektorfelt er cirkulationen omkring en imaginær lukket kurve defineret som gennemsnittet af de tangentielle komponenter af vektorerne ganget med omkredsen af kurven.<sup>4</sup> Se figur 2.4.

#### De 4 love Maxwell tog udgangspunkt i :

1) Gauss' lov om elektrisk fluks:

$$\epsilon_0 \Phi(\vec{E}, F(\Omega)) = q(\Omega) \quad (1)$$

Igennem en lukket flade,  $F$ , som omslutter et rum,  $\Omega$ , vil den elektriske fluks,  $\Phi$ , være proportional med den elektriske ladning i  $\Omega$ . Ligningen sætter ikke nogen begrænsning på valget af fladens form og beliggenhed i forhold til ladningens placering. Proportionalitetskonstanten,  $\epsilon_0$ , er en fysisk konstant, der beskriver vacuum's gennemtrængelighed.

2) Ampères lov om magnetisk cirkulation, der bla. forklarer Ørsteds forsøg (figur 2.5):

$$C(\vec{B}, R(F)) = \mu_0 J(F) \quad (2)$$

<sup>IV</sup> Beskrivelsen er ikke helt korrekt, idet fluksen er summen af længden af projektionen ind på fladens normal. Men da vi lægger vores flader vinkelret på kraftfeltet, kan vi se bort fra denne afvigelse.

<sup>V</sup> Tangenterne vælges, så de ligger i samme plan.

Den magnetiske cirkulation,  $C(\mathbf{B})$ , i randen af en flade,  $R(F)$ , er proportional med strømmen,  $I$ , igennem samme flade,  $F$ . Det vil sige, hvis strømmen, der løber gennem en leder, øges, kan man i en større afstand end tidligere med en kompasnål (magnet) påvise et magnetfelt.

3) Faradays lov om elektrisk cirkulation:

$$C(\bar{E}, R(F)) = -\frac{d\Phi(\bar{B}, F)}{dt} \quad (3)$$

Den elektriske cirkulation,  $C(\mathbf{E})$ , i randen af en flade er proportional med ændringen i tiden af den magnetiske fluks,  $d\Phi(\mathbf{B})/dt$ , gennem samme flade. Med andre ord kan et magnetfelt inducere en elektrisk strøm, som det ses på figur 2.6, når vi fører en magnet gennem en spole. Her har vi princippet bag dynamoen.

4) Gauss' lov om magnetisk fluks:

$$\Phi(\bar{B}, F(\Omega)) = 0 \quad (4)$$

Den magnetiske fluks  $\Phi(\mathbf{B})$  gennem en lukket flade, som omslutter et rum,  $\Omega$ , er lig med 0 (figur 2.7a). Hvis dette ikke galdt, ville det betyde, at man skulle kunne have en isoleret magnetisk pol (figur 2.7b), hvilket ikke kan lade sig gøre.

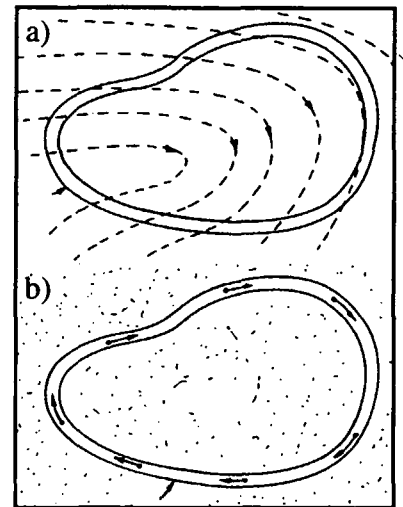
### Inkonsistens!

Maxwell indså, at ladningsbevarelsen, Gauss lov (1) og Ampères lov (2) havde en grad af inkonsistens, hvis de skulle kunne opfylde hans ønske om at være sammenhængende. Denne inkonsistens vil vi i det følgende gøre rede for.

Sætningen om ladningsbevarelse fastslår, at ladningstilvæksten i et rum er lig med den tilførte ladning. Per definition regnes en ladningsstrøm ud af et rum,  $\Omega$ , som positiv. Derfor får ligningen for sammenhængen mellem ladningstilvæksten per tidsenhed i området,  $\Omega$ , og ladningsstrømmen gennem området overflade, følgende matematiske udseende:

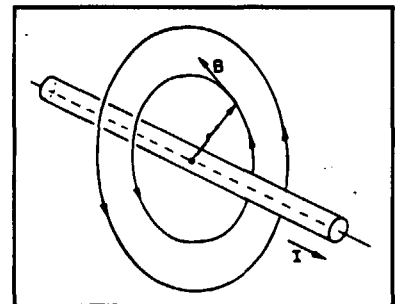
$$I(F(\Omega)) = -\frac{dq(\Omega)}{dt} \quad (5)$$

Det er nødvendigt at kigge på et grænsetilfælde af ligning (2). Hvis vi tager en opladet kondensator og lægger en lukket flade  $F$  om den positive plade (figur 2.8), får vi et problem. For kigger vi på Ampères lov (2), ser vi, at der ikke kan gå nogen strøm gennem en lukket flade (tænk på en bold); vi har ingen rand og dermed ingen magnetisk cirkulation. Man ville så ikke kunne

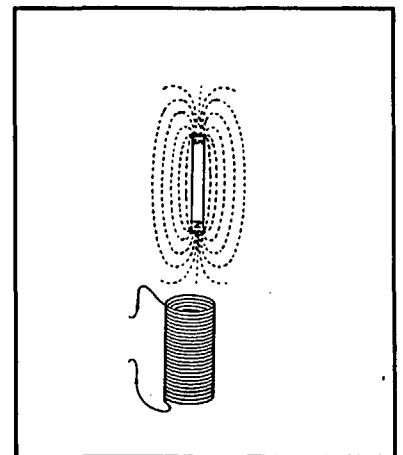


a) Cirkulation er den resulterende hastighed af kraftfeltet i den tænkte flade ganget med omkredsen.

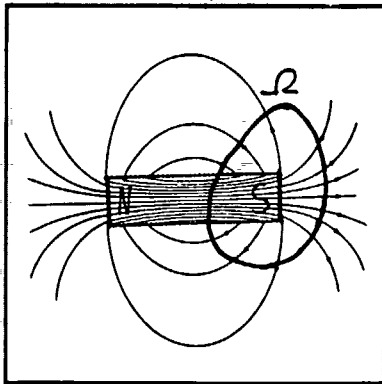
b) For ethvert vektorfelt er cirkulationen omkring en imaginær lukket kurve defineret som gennemsnittet af de tangentielle komponenter af vektorene ganget med omkredsen af kurven.



Figur 2.5. Når der løber en strøm gennem en leder, dannes der en magnetisk cirkulation rundt om lederen, som er vinkelret på strømretningen.



Figur 2.6. Hvis man tager en magnet, og bevæger den igennem en spole, vil magnetfeltet fra magneten inducere en strøm i spolen.



Figur 2.7a.  $F$  omslutter rummet  $\Omega$ ; det ses at, der går ligemange feltlinier ind i  $\Omega$  som ud.

aflade kondensatoren, hvilket er i modstrid med empirien.

Dette problem løste Maxwell ved hjælp af (1) og (5). Strømmen gennem en flade,  $F$ , der omslutter et rum,  $\Omega$ , er lig med ladningstilvæksten i rummet  $\Omega$  (5).

Da vi ved, at den elektriske fluks gennem en flade,  $F$ , som omslutter et område,  $\Omega$ , er lig med den elektriske ladning i  $\Omega$  (1), får vi, at ændringen af den elektriske fluks er lig ændringen af ladningen i rummet,  $\Omega$ . Sat sammen vil det matematisk se ud som følgende:

$$I(F(\Omega)) = -\frac{dq(\Omega)}{dt} = -\epsilon_0 \frac{d\Phi(\bar{E}, F(\Omega))}{dt} \quad (6)$$

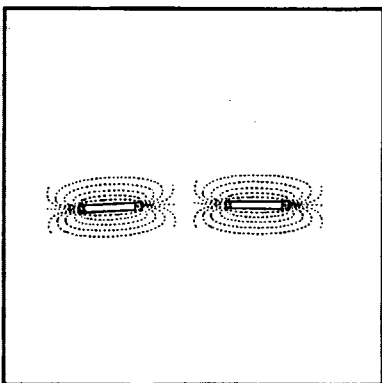
Vi har nu udledt en formel, der er konsistent i forhold til formel (1) og (5): ændringen af den elektriske fluks gennem den lukkede flade er proportional med strømmen, som kan omskrives til:

$$\epsilon_0 \frac{d\Phi(\bar{E}, F(\Omega))}{dt} + I(F(\Omega)) = 0 \quad (7)$$

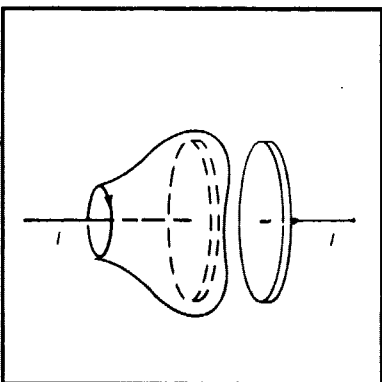
Her har vi medtaget betragtningen om, at fladen omslutter et område. Lader man nu formel (7) udtale sig om et tilfælde, hvor der er en strøm men ingen ændring i det elektriske felt, ses det, at første led er nul. Men dette stemmer ikke overens med Ampères lov (2), som gælder, når der ikke er nogen ændring af den elektriske fluks. For at rette op på dette ganges  $\mu_0$  på det andet led. Men da (7) stadig skal gælde - de to led skal tilsammen give nul - skal vi gange den samme konstant på det første led. Den nye formel er konsistent med formel (2), som udtaler sig om alle flader. Vi ved nu, at formel (7) og (2) tilsammen er generaliseret til at gælde i alle situationer og kan udskiftes med :

$$C(\bar{B}, R(F)) = \mu_0 I(F) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi(\bar{E}, F)}{dt} \quad (8)$$

Ligning (8) fastslår, at magnetfeltets størrelse er afhængig af den elektriske strøm og ændringen af den elektriske fluks.



Figur 2.7b. Når vi klipper en magnet over kommer der ikke to isolerede poler, men to nye magneter begge med to poler.



Figur 2.8. Hvis vi tager en opladet kondensator og lægger en lukket flade  $F$  om den positive plade får vi et problem. For kigger vi på Ampères lov (2) ser vi, at der ikke kan gå nogen strøm gennem en lukket flade (tænk på en bold); vi har ingen rand og dermed ingen magnetisk cirkulation.

### 2.3 Maxwell's ligninger

Herefter er det bare at sætte Maxwell's ligninger op, som de nu ser ud:

$$\epsilon_0 \Phi(\bar{E}, F(\Omega)) = q(\Omega) \quad (9)$$

$$C(\bar{B}, R(F)) = \mu_0 J(F) + \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi(\bar{E}, F)}{dt} \quad (10)$$

$$C(\bar{E}, R(F)) = -\frac{d\Phi(\bar{B}, F)}{dt} \quad (11)$$

$$\Phi(\bar{B}, F(\Omega)) = 0 \quad (12)$$

Herved var det lykkedes Maxwell som den første at danne et sammenhængende billede af de elektriske og magnetiske kræfter. Og det var ud fra disse ligninger grundlaget til et nyt verdensbillede blev skabt, selv om der kun var sket en lille ændring - tilføjelsen af det ekstra led på ligning (2). Den videre tolkning af ligningerne vil vi nu komme ind på.

#### Matematik får konsekvenser

I det foregående har vi skitseret en mulig vej, Maxwell kan have taget ved udledningen af ovenstående ligninger. Resten af afsnittet skal beskrive konsekvenserne af disse nye Maxwell'ske ligninger. Vi vil først trække de to ligninger frem, der er specielt interessante. Derefter vil der komme et kort afsnit om bølger og bølgefunktioner. Tredie afsnit vil så indeholde en omskrivning af to af ligningerne, fra integral til differential form. Hermed viser vi, at løsningen er en bølgefunktion, der beskriver elektromagnetiske bølgers udbredelse. I fjerde afsnit vil vi kort beskrive Hertz' verifikation samt beregne lysets hastighed.

Hvis vi ser på ligning (10) og ligning (11) rent matematisk, åbenbarer der sig en fantastisk sammenhæng: to differential ligninger der kobler matematisk med bølger som løsninger.

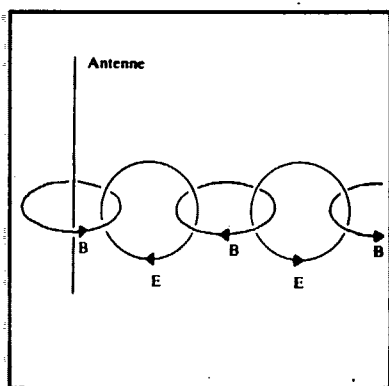
Hvis vi forestiller os, at vi er langt væk fra alle elektriske strømme og ladninger, får første led i Maxwell's anden ligning (10) ingen betydning, hvorfor den får følgende udseende:

$$C(\bar{B}, R(F)) = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi(\bar{E}, F)}{dt} \quad (13)$$

Denne ligning sammenholder vi nu med ligning (11):

$$C(\bar{E}, R(F)) = -\frac{d\Phi(\bar{B}, F)}{dt} \quad (14)$$

Ligning (13) fastslår, at hvis vi har et elektrisk felt, der ændrer sig i tiden, opstår der et magnetisk felt. Ligning (14) siger, at der opstår et elektrisk felt, hvis et magnetfelt ændrer sig i tiden. Sammenholdes disse to fænomener har vi et magnetisk felt, der laver et elektrisk felt, som laver et magnetisk felt, som laver et elektrisk....etc (figur 2.9). Det er dette fænomen, der henvises til, når vi senere siger, at to differentialligninger kobler. I det følgende vil vi bevise dette, samt vise at disse to ligninger har plane bølger som løsninger.



Figur 2.9. Magnetisk felt laver et elektrisk felt, som laver et magnetisk felt, som laver et elektrisk....etc.

### Bølger og bølgefunktionen

For at få en forståelse for de ræsonnementer, der nu følger, er det nødvendigt at vide lidt om bølger og bølgefunktioner. En bølge er karakteriseret ved, at dens profil til enhver tid er den samme, men dens placering vil ændre sig med tiden. Tænk på et sjiptov - hvis man binder den ene ende fast til en pæl og laver en bølge fra den anden ende, vil man bemærke, at det ikke er torvet, der flytter sig men udsvinget: bølgen. Enhver bølge er løsning til følgende ligning:

$$\frac{\delta^2 F_y}{\delta t^2} = v^2 \frac{\delta^2 F_y}{\delta x^2} \quad (15)$$

Hvis man får et udtryk, der kan skrives på ovenstående måde, har man bevist, at der er tale om bølger.

Vi vil nu klarlægge, at en løsning til ligningssystemet (13) og (14) er bølger.

### Gæt på en løsning

Vi antager, at elektromagnetisk stråling udbreder sig som plane bølger<sup>VI</sup> i x-retningen og det elektriske felt i y-retningen. Det magnetiske felt vil kun være i z-retningen, idet vi gætter på, at de magnetiske og elektriske felter står vinkelrette på hinanden.

Antagelse:

x-retning: udbreddelsesretning

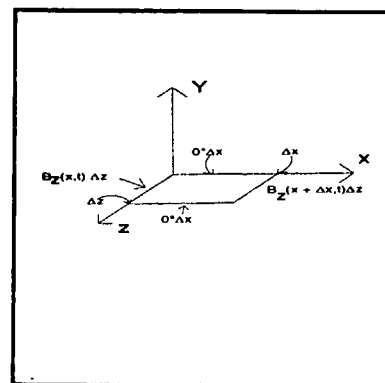
y-retning: elektrisk felt

z-retning: magnetisk felt

Vi vil først beregne den magnetiske cirkulation i den indlagte

<sup>VI</sup> Vi laver her et kvalificeret gæt, at løsningen til de to differential ligninger, er en bølge.

flade,  $F$  (figur 2.10); venstre siden af formel (13). Cirkulationen er, som tidligere nævnt, bestemt ud fra summen af vektorerne langs randen (størrelsen af fladen er  $\Delta z \Delta x$ ). Vi får 4 bidrag, da fladen er firkantet. To af disse led vil være nul, da  $B$ -feltet er nul i  $x$ -retningen (jvf. ovenstående antagelser). De to andre bidrag ligger i  $z$ -retningen. Størrelsen af disse to bidrag er styrken af magnetfeltet,  $B$ , gange længden af randen i  $z$ -retningen. Idet bidragene skal adderes langs randen (med uret), bliver det ene bidrag negativt, da feltet virker i samme retning.



Figur 2.10. Cirkulationen er bestemt ud fra summen af vektorerne langs randen. Der kommer 4 led, da fladen er firkantet. To af disse led vil være nul, da  $B$ -feltet er nul i  $x$ -retningen. De to andre bidrag ligger i  $z$ -retningen. Størrelsen af disse to bidrag er styrken af magnetfeltet,  $B$ , gange længden af randen i  $z$ -retningen. Idet bidragene skal adderes langs randen (med uret), bliver det ene bidrag negativt, da feltet virker i samme retning.

$$\begin{aligned} C(\bar{B}, F) &= \Delta x \cdot 0 + B_z(x + \Delta x, t) \Delta z - \Delta x \cdot 0 - B_z(x, t) \Delta z \\ \downarrow \\ C(\bar{B}, F) &= B_z(x + \Delta x, t) \Delta z - B_z(x, t) \Delta z \end{aligned} \quad (16)$$

Nu beregner vi højre siden af formel (13) for den samme flade. I stedet for at addere den elektriske feltstyrke i hvert eneste punkt i fladen for at finde værdien af den samlede feltstyrke i fladen tilnærmer vi denne værdi med feltstyrken midt i fladen  $x + \Delta x/2$  multipliceret med arealet  $\Delta x \Delta z$ . De andre variable: tidsændringen og de fysiske konstanter,  $\mu_0$  og  $\epsilon_0$ , er fra den oprindelige ligning (13). Ligning (13) får derfor følgende udseende:

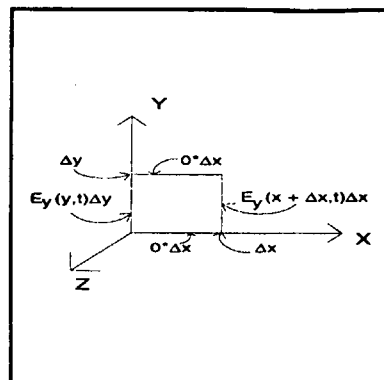
$$\mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi(\bar{E}, t)}{dt} = \mu_0 \epsilon_0 \Delta x \Delta z \frac{\delta E_y(x + \frac{\Delta x}{2}, t)}{\delta t} \quad (17)$$

De to fundne cirkulationer af  $B$ -feltet sættes nu sammen til følgende:

$$B_z(x + \Delta x, t) \Delta z - B_z(x, t) \Delta z = \mu_0 \epsilon_0 \Delta x \Delta z \frac{\delta E_y(x + \frac{\Delta x}{2}, t)}{\delta t} \quad (18)$$

Hvilket reduceres til:

$$\frac{B_z(x + \Delta x, t) - B_z(x, t)}{\Delta x} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\delta E_y(x + \frac{\Delta x}{2}, t)}{\delta t} \quad (19)$$



Figur 2.11. Cirkulationen er bestemt ud fra summen af vektorerne langs randen. Der kommer 4 led, da fladen er firkantet. To af disse led vil være nul, da  $E$ -feltet er nul i  $x$ -retningen. De to andre bidrag ligger i  $y$ -retningen. Størrelsen af disse to bidrag er styrken af det elektriske felt,  $E$ , gange længden af randen i  $y$ -retningen. Idet bidragene skal adderes langs randen (med uret), bliver det ene bidrag negativt, da feltet virker i samme retning.

Ved hjælp af definitionen på differentialkoefficient undersøger vi, hvordan bølgen opfører sig i  $x$ , for  $\Delta x \rightarrow 0$ :

$$\frac{\delta B_z(x,t)}{\delta x} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\delta E_y(x,t)}{\delta t} \quad (20)$$

Vi differentierer partielt mht. tiden på begge sider af lighedstegnet for at finde et udtryk, der minder om den generelle bølge-ligning:

$$\frac{\delta}{\delta t} \frac{\delta B_z(x,t)}{\delta x} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\delta^2 E_y(x,t)}{\delta t^2} \quad (21)$$

### Cirkulationen af E-feltet

Ser vi nu på den elektriske cirkulation,  $E_y$ , formel (14), udfører vi samme procedure som ved cirkulationen af B-feltet formel (13). Feltet, vi ser på, ligger nu blot som tidligere nævnt i  $y$ -retningen istedet for  $z$ -retningen. Forskellen ligger også i, at de fysiske konstanter,  $\mu_0$  og  $\epsilon_0$ , ikke optræder i formel (14). Vi får derfor:

$$\begin{aligned} C(\bar{E}, F) &= E_y(x,t)\Delta y + \Delta x \cdot 0 - E_y(x+\Delta x,t)\Delta y - \Delta x \cdot 0 \\ &\downarrow \\ C(\bar{E}, F) &= E_y(x,t)\Delta y - E_y(x+\Delta x,t)\Delta y \end{aligned} \quad (22)$$

Vi kan bruge højresiden af Maxwells ligning (14) til at beregne cirkulationen af det elektriske felt:

$$-\frac{d\Phi(\bar{B}, F)}{dt} = -\Delta x \Delta y \frac{\delta B_z(x + \frac{\Delta x}{2}, t)}{\delta t} \quad (23)$$

De to fundne cirkulationer sætter vi nu sammen til følgende:

$$E_y(x,t)\Delta y - E_y(x+\Delta x,t)\Delta y = -\Delta x \Delta y \frac{\delta B_z(x + \frac{\Delta x}{2}, t)}{\delta t} \quad (24)$$

Hvilket reduceres til:

$$\frac{E_y(x+\Delta x,t) - E_y(x,t)}{\Delta x} = \frac{\delta B_z(x + \frac{\Delta x}{2}, t)}{\delta t} \quad (25)$$



Ved hjælp af definitionen på differentialkoefficient undersøger vi, hvordan bølgen opfører sig i  $x$ , for  $\Delta x \rightarrow 0$ :

$$\frac{\delta E_y(x,t)}{\delta x} = \frac{\delta B_z(x,t)}{\delta t} \quad (26)$$

Vi differentierer nu partielt mht. stedet på begge sider af lighedstegnet, idet vi igen er interesserede i et udtryk, der minder om den generelle bølgeligning:

$$\frac{\delta}{\delta t} \frac{\delta B_z(x,t)}{\delta x} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{\delta^2 E_y(x,t)}{\delta t^2} \quad (27)$$

### Lysets hastighed og Hertz' verifikation

Sammenholder man de to udtryk efter at have differentieret partielt fås:

$$\frac{\delta}{\delta x} \frac{\delta B_z(x,t)}{\delta t} = \frac{\delta^2 E_y(x,t)}{\delta x^2} \quad (28)$$

Dette udtryk er på samme form som bølgeligningen, og deraf kan vi konkludere, at bølger er en løsning til Maxwell's ligninger nr (10) og (11):

$$\frac{\delta^2 E_y(x,t)}{\delta t^2} = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \frac{\delta^2 E_y(x,y)}{\delta x^2} \quad (29)$$

hvor vi kan se, at hastigheden  $v$  er:

$$v^2 = \frac{1}{\mu_0 \epsilon_0} \quad (30)$$

$$\Downarrow$$

$$v = \frac{1}{\sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} = c$$

Hvis vi indsætter værdierne for de to naturkonstanter,  $\epsilon_0$  og  $\mu_0$ , ser vi, at  $v$  er lig med lysets hastighed.

Hertz lavede i årene fra Maxwell's offentliggørelse af ligningerne (1873) til sit endelige gennembrud (1888) en række forsøg, der alle var med til at få ham på sporet af det, der i dag kendes som Hertz's forsøg. Disse ikke uvæsentlige forsøg vil vi lade ligge og kun se på hans afgørende gennembrud. Han slog, vha.

af højspænding, en gnist mellem to metal kugler. Et stykke derfra modtog han på en isoleret modtager af kobber en elektrisk strøm, som gav en ny gnist. Det var dermed lykkedes Hertz at sende elektrisk energi gennem luften som elektromagnetiske bølger.

## 2.4 Afrunding

Fænomenet beskrevet i foregående afsnit kaldes elektromagnetiske bølger. Maxwell viser ved hjælp af allerede kendte naturkonstanter, at elektromagnetiske bølger udbreder sig med lysets hastighed,  $c$ . Derfra slutter han sig til, at lys er elektromagnetiske bølger. Maxwell's ligninger viser endvidere, at når elektromagnetiske bølger udbreder sig, medfører de en vis mængde energi.

Denne elektromagnetiske lysteori fører til Hertz' opdagelse af radiobølger. Det er interessant, at elektromagnetiske bølger kan overføre energi.

I lyset af kompleksiteten af Hertz's forsøg må det antages, at radiobølger ikke var blevet opdaget uden brug af matematik. Radiobølger eksisterede ikke, før Hertz konstruerede dem på grundlag af Maxwells udledning af sine ligninger.

Det er tvivlsomt, om fysikere ved et "uheld" (held) ville have opdaget eksistensen af radiobølger på samme måde, som f.eks. Ørsted opdagede magnetismen gennem en strømførende ledning. Der skal så stor strømstyrke og præcision til for at få succes med Hertz' eller et lignende forsøg.

Matematikken har her vist os et område af verden, der ikke var kendt af menneskeheden, den har blotlagt sider af naturens store bog, som det ikke tidligere har været mulige at læse.

---

<sup>1</sup> James Clerk Maxwell: A Treatise on electricity and magnetism. Forord

<sup>2</sup> Hans C. Ohanian: Physics, second edition, expanded side 849

<sup>3</sup> Roger Penrose: The Emperor's New Mind side 185

<sup>4</sup> Richard P. Feynman: Lectures on Physisc, side 1-4

# Efterbehandling af eksempler

Vi vil nu gennemgå, hvad vi ud fra vores eksempler kan sige til problemformuleringen: "Matematikkens rolle som led i erkendelse; specielt af fysiske fænomener". Dette vil gøre ud fra vores egen oplevelse af matematikkens rolle i de to eksempler. Vi vil komme ind på matematikkens rolle under opdagelses og verifikationsfasen, samt beskrive teoriernes status, som de fremstår i dag.

## 3.1 Oplevelsen af matematikken i termodynamikkens 1. hovedsætning

Vi så i kapitel 1, at matematik ikke har spillet nogen væsentlig rolle i erkendelsen af 1. hovedsætning. Empirien var derimod det bærende. På denne måde nåede man frem til en sætning, som havde stor forklarende kraft f.eks. med henblik på dampmaskinen. Sætningen er blevet formuleret matematisk, men denne matematik er blot et husholdningsregnskab. De størrelser, arbejde og varme, man arbejdede med for at nå frem til sætningen, var kendte og målelige.

Udfra ovenstående er der ikke nogen grund til at tro, at matematik har andre roller i fysikken end at formidle kendt viden. 1. hovedsætning fungerer glimrende uden nogle udsagn om matematiske idéer. Videnskabens mål bliver derfor at finde sammenhænge mellem fænomener og ikke at søge efter bagvedliggende forklaringer.

1. hovedsætning er en sætning, det kan være vanskeligt at forholde sig til, hvilket citatet fra "Den lille Salomonsens" illustrerer:

*"At Energimængden ikke forandres ved disse Omdannelser [fra varme til arbejde] kan selvfølgelig kun paavises ved maalinger, men disse er meget vanskelige at udføre med tilstrækkelig Nøjagtighed. Det vigtigste Bevis for Energisætningen er derfor indirekte: at Energisætningen rigtig anvendt altid fører til rigtige resultater".*

## 3.2 Oplevelse af matematikken i Maxwells ligninger

Læser man afsnittet om Maxwells ligninger, får man straks et helt andet indtryk af matematikkens rolle, det være sig både i den erkendelsesmæssige fase, og som de fremstår i dag.

Således som vi fremstiller det, hvilket ikke skal forstås som

historisk korrekt, er Maxwell drevet frem af, at der er en matematisk inkonsistens mellem 2 af de ligninger, han arbejder med, der ellers udtaler sig om det samme fænomen, nemlig fluksen gennem en flade. Dette retter han så op på, men får derved en matematisk struktur, der udtaler sig om et langt større område, end den var konstrueret til. Det interessante mht. vores problemstilling er:

-at det er det matematiske ræsonnement, der gør det muligt at opnå ny erkendelse, radiobølger.

-at man opdager, at en matematisk konstruktion (bølgeligningen), der viser sig at være en løsning til de to af Maxwell's ligninger, der kobler. Hvis vi skal forsøge at skabe billeder af elektromagnetiske bølger, vil det være lettest at tænke på en matematisk bølge, som vist på figur 2.9. Man kan derfor umiddelbart tro, at der findes en bagvedliggende idé i naturen, elektromagnetiske bølger, som f.eks. er årsag til lys, radio- og tv modtagelse uden kabelnet.

Alle kan jo komme og påstå, at der ligger et eller andet bag nogle iagttagede fænomener, men det bliver mere interessant, når disse bagvedliggende idéer indebærer konsekvenser, man ikke kendte på forhånd. Konsekvenser man ikke havde mulighed for at erfare uden på forhånd at vide, hvor man skulle lede; uden på forhånd at kende den bagvedliggende idé. Idag anerkender de fleste elektromagnetiske bølger som et virkeligt fænomen, selv om ingen kan se dem, og selv om de udsprang af matematiske overvejelser. Vi tror på denne teori, bla. fordi det var muligt for Hertz at producere radiobølger, som aldrig var set før.

Havde vi på forhånd kendt alle de fænomener, som Maxwells ligninger udtaler sig om, kunne man have sat dem sammen til Maxwells ligninger og samtidig have påstået, at teorien blot beskrev omregninger fra det ene fænomen til det andet uden nogen bagvedliggende idé. Dette er netop, hvad vi gør ved termodynamikkens 1. hovedsætning, hvor vi påstår, at erkendelsen ikke er betinget af, om folk havde en forudgående idé om, at energien er bevaret. Selv hvis erkendelsen var kommet i denne rækkefølge, er der stadig noget fascinerende over Maxwells ligninger, fordi de sammenfatter så mange fænomener under en samlet teori. Som Penrose (en engelsk nulevende matematiker) udtaler:

*"Maxwells theory, likewise, is accurately valid over an extraordinary range, reaching inwards to the tiny scale of atoms and subatomic particles, and outwards, also, to that of galaxies, some million million million million million million times larger! (At the very small end of the scale, Maxwells equations must be combined appropriately with the rules of quantum mechanics.) It surely also must qualify as SUPERB." <sup>1</sup>*

Vi ser altså, at loven idag, kombineret med kvantemekanikken, betragtes som universel på alle planer; både mikroskopiske og makroskopiske.

Matematikens rolle i denne del af fysikken har altså været uhyre stor, ikke blot som vej til erkendelse men også ved brugen idag. Tolker man ligningerne som omhandlende elektromagnetiske bølger, har matematikken den altafgørende rolle, idet elektromagnetiske bølger netop er en ren matematisk idé, som så udmønter sig i forskellige fysiske fænomener.

### 3.3 Opsamling

Vi står altså med Maxwells ligninger som et eksempel, der taler for, at der er bagvedliggende idéer i naturen, som så udmønter sig i forskellige fænomener. Tilsyneladende fandt man den bagvedliggende idé - teorien om elektromagnetiske bølger - og kunne derfra finde nye fænomener - som f.eks radiobølger.

Eksemplet peger altså på, at naturlove og matematik er noget, vi opdager og ikke opfinder til at formulere vores erfaringer. Videnskabens mål bliver så at opdage disse idéer, da det vil bringe os til forståelse af de sanselige fænomener.

Termodynamikkens 1. hovedsætning er så på nogle områder et modeksempel. Denne lov er dannet på grundlag af empiri. Og hvorfor lede efter spøgelse og guder som man aldrig kan kontrollere empirisk. Ægte viden får man ad empirisk vej, dvs. ved at undersøge det, der ligger inden for vores sanssområde, hvilket 1. hovedsætning er et godt eksempel på.

Sætningen medfører dog indførelsen af et nyt begreb: energi.

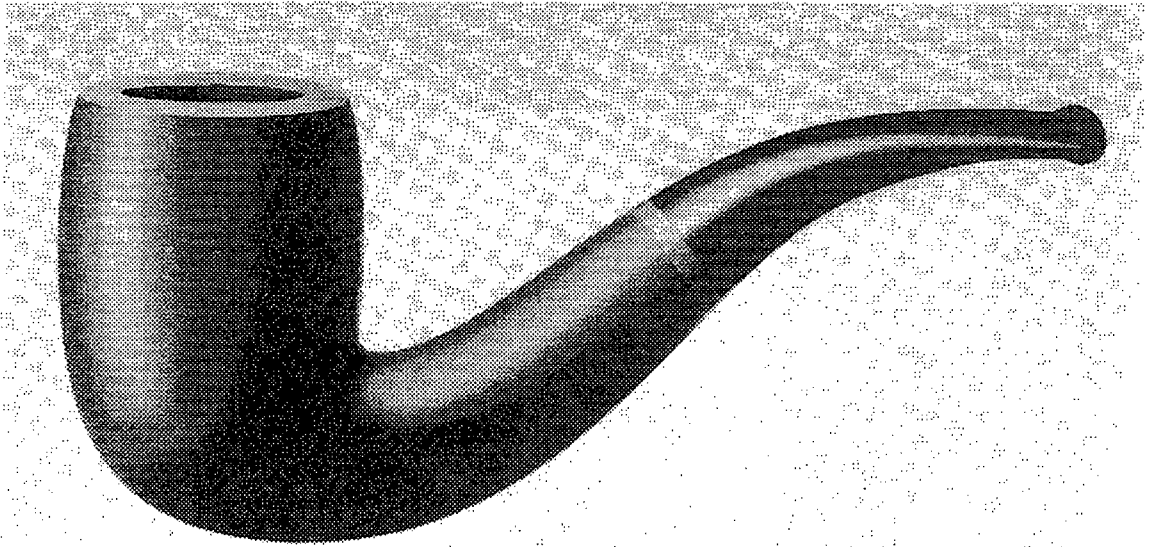
Man kan spørge, om energi så bare er et opfundet ord, eller om det er et begreb (en grundlæggende idé), der eksisterer uafhængigt af mennesket. Man kan sige, at energi er for arbejde og varme, hvad penge er for pærer og æbler. Man kan bytte sine æbler til pærer eller sine pærer til æbler, men værdien (pengemængden) er hele tiden den samme. Penge som begreb er derfor kun en uinteressant omregningsfaktor mellem forskellige værdier - æbler og pærer. Energi er også kun et udtryk for, hvor meget varme eller hvor meget arbejde vi har råd til.

Vi har valgt at beskrive termodynamikken inden for en kort tidsramme lige omkring opdagelsen, ikke for den historiske, sideskyld, men for det illustrative i at matematikken ikke har nogen større rolle. Ser man på 1. hovedsætning frem til idag har den fået en helt anden status, netop som en bagvedliggende idé. Her ved forudsagde man bl.a. neutrinoen, udfra energibevarelse. Vi ser altså at begge teorierne har haft forudsigelseskraft og deres status mht. bagvedliggende idéer er nogenlunde ens. Elektrodynamikken har vi brugt i en længere årrække, fordi man her ople-

vede at matematikken bestod, men fortolkningen ændrede sig. Forskellene mellem de to teoribygninger er idag altså ikke så stor. Vi har blot udvalgt de træk omkring deres udvikling, der er illustrative i forhold til vores problemstilling.

---

<sup>1</sup> The Emperor's New Mind. side 152



*Ceci n'est pas une pipe.*

# Historisk Introduktion

For at klargøre vores diskussion af eksemplerne, beskriver vi den del af filosofihistorien, der er relevant for os.

Vi vil beskrive, at der op gennem historien har været to gennemgående filosofiske retninger, der grundlæggende har modstridende verdensanskuelser. Vi har valgt perioderne: antikken, middelalderen, renæssancen, romantikken og til sidst det 20. århundrede. Opsamling af den historiske gennemgang findes i kapitel 9.

Vi har valgt de filosofiske retninger, der beskæftiger sig med erkendelsesteori. Vi forbigår derfor filosofiske retninger vedrørende mennesket og samfundet.

Vi har bygget kapitlerne op med en kort introduktion, en gennemgang af de to forskellige retninger, efterfulgt af hvad vi tror de forskellige filosofiske retninger ville have ment om vores eksempler. Det afsnit er for vores egen regning, men vi prøver at begrunde det ved kort at redegøre for filosofernes historiske grundlag.



# Antikken

## Platon og Aristoteles

Da grækerne begyndte at studere natur, etik og religion, opfattede de det som en videnskab og kaldte denne naturfilosofi.

Der er specielt to store filosoffer i antikken, der er fremtrædende: Platon, der grundlagde en skole omkring år 385 f.Kr., som han valgte at kalde Akademiet og Aristoteles, der som 17-årig tog til Athen for at studere på Platons Akademi, hvilket prægede ham meget. Han blev der indtil Platon døde 20 år efter og udviklede en anden filosofi, end den Platon stod for. Senere oprettede Aristoteles den peripatetiske skole<sup>I</sup>. Begge betragtes i dag som filosofiens og videnskabens grundlæggere, og mange lærde har gennem tiden taget udgangspunkt i deres holdninger.

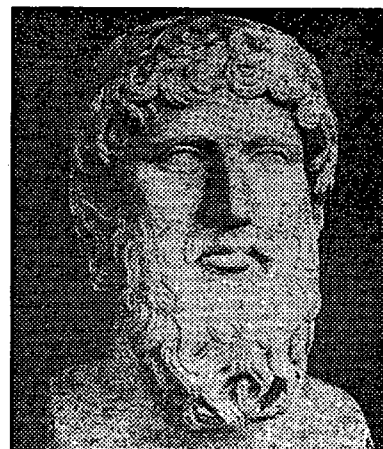
### 4.1 Platon

Platon mente, at der fandtes en verden bag vores, en idéernes verden, hvor alle de fænomener, vi kan se i den fysiske verden, er repræsenteret i en ideel form. Den fysiske verden er så kun et spejlbillede af idéernes verden. Fænomenerne forklares derfor af idéerne og i kraft af idéernes selvidentitet, forklarer idéerne sig selv. Den rette linie, cirklen, og andre matematiske former er for Platon eksempler på idéer, der kun findes perfekte i idéernes verden. De matematiske figurer, vi kan se i den fysiske verden, er til gengæld kun ufuldstændige billeder af idéerne. Han har rent billedligt forsøgt at forklare sin opfattelse af forholdet mellem den fysiske verden og idéernes verden, samt hvordan mennesket kan erkende ting i den fysiske verden og i idéernes verden.<sup>2</sup>

#### Solbilledet:

Dette billede belyser, hvad det godes rolle er, uden at definere, hvad det gode er, og skal især bruges til at vise, hvordan vi erkender.

Platon mente, at det gode i den intelligible verden<sup>II</sup> er, hvad solen er i den synlige verden. I den synlige verden er det solen, der ved sin kraft skaber alt levende. Samtidig er det den, der kaster lys over alle fænomenerne, så det er muligt for os at se dem. Det gode er ligeledes årsag til idéerne, tankernes objekter, og årsagen til, at vi kan erkende idéerne i lyset af sandheden. Platon mente, at uden det gode ville mennesket være ude af



*Platon (427-347 f.kr.), græsk filosof, var af en fornem adelig græsk slægt, hvis aner kunne føres helt tilbage til de gamle græske konger. Omkring år 408 f.kr. traf Platon Sokrates, hvilket blev et vendepunkt i hans liv. Herefter begyndte han for alvor at interessere sig for filosofi. I år 397 tog Platon ud på en lang rejse, der førte ham til Egypten, Sicilien og Syd-Italien, hvor han stiftede bekendskab med den pythagoræiske mysteriekultur. I år 387 f.kr. kom Platon tilbage til Athen, hvor han købte en lille lund med tilhørende idrætsplads og anlagde her sit berømte "Akademi".*

<sup>I</sup> Peripatos: en spadseregang anvendt til diskussion.<sup>1</sup>

<sup>II</sup> Den fattelige vha. forstanden, men ikke vha. sanserne.

stand til at få kendskab til idéernes verden og ude af stand til at erkende idéerne.

Solen er årsag til sanseerkendelsen, og til at sanseobjekterne bliver til, men den er ikke selve tilblivelsen af objekterne. Det gode er på samme måde årsag til, at idéerne er til, og at mennesket er i stand til at erkende dem, men selve det gode er hinsides væren.

#### **Hulebilledet:**

Dette billede skal illustrere menneskenes plads i verdenen og kan samtidig ses som en forklaring til det foregående billede.

Der sidder nogle mennesker lænket i en hule, sådan at de kun kan se hulens bagvæg. Bag dem føres der en række genstande forbi, som belyses (af et bål) og derved kaster skygger på væggen. Fangerne vil opfatte skyggerne som virkelige genstande, og de klogeste af dem vil udforme en videnskab, der er dannet, ud fra de genstande de har set, f.eks. kan de huske, at "genstand" x plejer at efterfølge "genstand" y osv. Hvis en af fangerne befries for sine lænker, vil han først blive blændet, når han vender sig om mod lyset, men efterhånden vil han forstå, hvad der er genstand, og hvad der er skyggebillede. Den befriede fange føres op fra hulen og ud i den virkelige verden, og igen vil det kræve tilvænning, inden han forstår, hvad der er billeder, og hvad der er det virkelige. Først til sidst vil han forstå, at der ligger idéer bag alting. Verden er altså kun en afspejling af idéernes verden, som skyggerne i hulebilledet er en afspejling af den fysiske verden uden for hulen.<sup>3</sup>

For at opnå en optimal forståelse af den idéverdenen, som Platon beskriver vha. hulebilledet, må man ifølge Platon gennemgå en uddannelse, som sigter mod denne forståelse. Uddannelsen svarer til den proces i hulebilledet, hvor det, der synes virkeligt, afløses som et skyggebillede. Jo flere gange processen gentages, jo længere når det enkelte menneske i sin udvikling. Platon forestillede sig, at man ved at studere bestemte fag langsomt kunne frigøre sig fra sine vrangbilleder af verden og få øjnene op for den ideale og perfekte idéverden.

Som et vigtigt led i denne uddannelse måtte man tilegne sig matematiske kundskaber, da matematikken kan "drage sjælen opad mod det intelligible, da den beskæftiger sig med de idealiserede objekter"<sup>4</sup>.

Vejen til den sande erkendelse beskriver Platon i Politeia, bog 6 og 7, da han lader Sokrates sige til nogle unge filosoffer:

*"Anvend nu dette billede [hulebilledet] på det, vi før sagde [solbilledet]. Det område, som synet åbner adgang til, svarer til fængselsrummet, og ilden, der skinner i det, er solens kraft. Når du endvidere fatter, at vejen op og synet af det, der er deroppe, svarer til sjælens opstigning til det intelligible område, så vil du sikkert kunne forstå den anelse, jeg har, siden det er den, du vil*

*høre. Kun Gud ved, om den er sand. I hvert fald forekommer det mig, at det man sidst og kun med møje får øje på i tankens verden, er den gode idé."*<sup>5</sup>

## 4.2 Aristoteles

Aristoteles mente ikke, at der eksisterede en idéernes verden bag alting. Han opdelte alle fysiske fænomener i form og materie, men mente ikke, at man i den fysiske verden kunne adskille disse to. Et eksempel, Aristoteles giver, er et laksegl. Lakken vil så være materien, og aftrykket af signetringen formen. Aristoteles betragter formen som det værende, hvor Gud, som er form uden materie, kan betragtes som "det blotte væsen". Jo højere form en materie opnår, jo mere virkelig bliver tingen.<sup>6</sup> Aristoteles er lidt uskarp i sin definition af form, da han bruger det samme græske ord, "ousia", som Platon bruger om idé. Men han siger dog, at form også er tingens egenskab. En kniv har f.eks. formen, så den kan skære.<sup>7</sup>

At mennesket overhovedet er i stand til at erkende og opnå forståelse af det værende (formen) skyldes, at vi besidder det, Aristoteles kalder intellektet. Adskillelsen af stof og materie, som er nødvendig for al erkendelse, kan nemlig kun foregå i intellektet. Man kan forestille sig hvilken som helst materie uden form, og omvendt en hvilken som helst form uden materie, men i vores verden og hvis man tænker i billeder, er de uadskillelige.<sup>8</sup>

For at kende fænomenerne fuldt ud er det, udover at kende form og materie, også nødvendigt at kende årsagen til fænomenets tilstand og formålet med denne tilstand<sup>9</sup>.

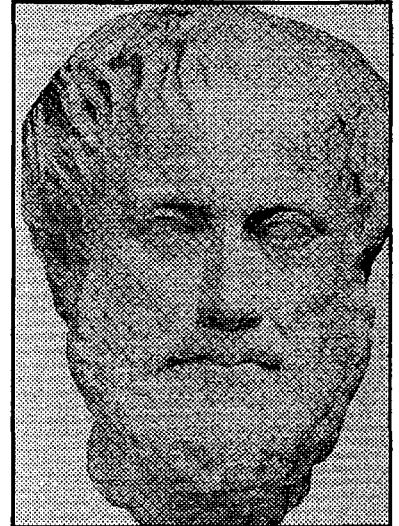
Ud fra disse fire antagelser lavede Aristoteles nogle af de første fysiske love. Han sagde, at en sten falder nedad mod jorden for at søge mod sin natur - jorden, og damp stiger til vejrs for at søge mod sin natur - luften. Hermed mener han, at naturen (bestemt af Gud) har sine egne kræfter (de vegetative kræfter), der søger mod deres natur.

Aristoteles mener, at man kan skelne mellem tre former for legemers bevægelse, "den naturlige" (stenen søger mod jorden), "den tvungne" (stenen, der løftes af et menneske) og "den villede" (den bevidste handling mennesket gør, når stenen løftes). Det er kun dyr og mennesker, der kan udføre "villedede" handlinger.<sup>10</sup>

## 4.3 Forskelle mellem Platon og Aristoteles

### Erkendelse

Platon hævdede, at mennesket bliver nødt til lytte til og lade det gode virke i sig selv, for at være i stand til at erkende og forstå idéernes verden. Aristoteles kaldte vejen til erkendelse for intel-



*Aristoteles (384-322 f.kr.), græsk filosof, blev som 17-årig sendt til Platons akademi i Athen, hvor han blev i 20 år. Her begyndte han sit omfattende forfatterskab. Mellem 347-335 f.kr. var Aristoteles lærer for den senere Alexander den Store, og da denne kom på tronen i 334 f.kr., drog Aristoteles tilbage til Athen, hvor han dannede sin egen skole. Da Alexander den Store døde i 323 f.kr., trak Aristoteles sig tilbage til Chalcis, hvor han levede indtil sin død.*

lektet, og han mente, at man sanser selve tingen, men dens egenskaber forstås af intellektet, da der ligger idéer bag dem.

Platon kendetegnede det gode som noget uafhængigt af menneskers bevidsthed, hvor Aristoteles mente, at der ikke eksisterede noget sådant. Til gengæld troede han på, at det var gennem det menneskelige intellekt, at vi havde mulighed for at nå til erkendelse.

#### **Verdensopfattelse:**

Aristoteles brugte idéerne anderledes end Platon, idet han ikke mente, at man kommer tættere på tingenes væsen ved at reducere dem til idéer. Hvor Platon sagde, at idéerne ligger bag ved tingene og egenskaberne, mente Aristoteles, at idéerne kun ligger bag egenskaberne.

Da både Platon og Aristoteles troede på, at der er en idé bagved verden, inspirerede de realisterne, som vi vil komme ind på senere i den historiske gennemgang. De mente, at idéerne er på forskellige niveauer i menneskets erkendelse. Platon troede, at idéerne har deres egen eksistens, mens Aristoteles mente, at de kun har eksistens i sammenhæng med fænomenerne, men dog uafhængigt af mennesket.

### 4.4 Platon og Aristoteles i forhold til eksemplerne

En platoniker ville ikke anse termodynamikkens 1. hovedsætning for særlig vigtig, da den umiddelbart kun udtaler sig om sanselige fænomener og ikke om idéer. En aristoteliker ville synes, at erkendelsen af 1. hovedsætning er naturlig, da man har taget udgangspunkt i iagttagelser af verden og derefter brugt sin logiske sans (intellektet) til at inducere sig frem.

Maxwells ligninger kan bruges som et godt eksempel både på platonisk og aristotelisk tankegang; at der er bagvedliggende idéer. Fremgangsmåden i erkendelsen kan tolkes platonisk, da man gennem matematik kommer i kontakt med idéverdenen og derigennem får den fulde erkendelse af betydningen af ligningerne. Først da man forstod idéen bag fænomenerne, var det muligt at forudsige de skygebilleder, man ikke havde set endnu. Aristoteles ville tolke erkendelsen anderledes, da han ville fremhæve, at Maxwell tog udgangspunkt i love, der byggede på fysiske iagttagelser og derefter anvendte intellektet til at behandle dem matematisk.

### 4.5 Filosofernes forudsætninger

Da Platon startede Akademiet, var der ingen tradition for at samle folk, for at de kunne bruge al deres tid på at tænke over filosofiske spørgsmål. Der var heller ingen tradition for at skelne mellem de videnskabelige grene, vi arbejder med i dag. De ting, filosoferne overvejede og forundredes over, var almindelige dagligdags fænomener. Deres matematiske grundlag bestod kun

af talsystemet og geometriske love. Aristoteles var den første, der så en fordel i at opdele videnskaben i biologi, matematik, fysik osv. Han var en af de første, der indsamlede og behandlede empiriske data om naturen på en måde, som vi i dag betragter som videnskabelig.

- 
- 1 Den Europæiske Filosofis Historie, s.337
  - 2 Den Europæiske Filosofis Historie, s.233
  - 3 Den Europæiske Filosofis Historie
  - 4 Den europæiske filosofis historie, s. 265
  - 5 Idé Historiske Tekster, Gyldendal, s23
  - 6 Hvem tænkte hvad, s.142
  - 7 Den Europæiske Filosofis Historie, s.363
  - 8 De Europæiske ideers historie, s.91
  - 9 Den Europæiske Filosofis Historie, s. 358
  - 10 De Europæiske idéers Historie s.94

# Middelalderen

I denne periode var det specielt de troende munkesamfund, der prægede den videnskabelige udvikling. En stor del af de filosofiske bestræbelser i tiden fra det 11. til det 13. århundrede gik derfor ud på at forene videnskab og tro. Man forsøgte at bevise ad videnskabelig vej, at Gud er til.

I det 14. århundrede opponerede en ny gruppe mod dette syn på Gud og afslog, at det er muligt at bevise Guds eksistens.

Disse to vidt forskellige anskuelser havde en stor indflydelse på meningene om, hvordan det er muligt at forholde sig videnskabeligt til omverdenen. De satte bl.a. spørgsmålstegn ved, hvad vi som mennesker er i stand til at udtale os om, og hvad der ligger udenfor vores erkendelsesområde.

Deres opfattelser af verden og vejen til erkendelse af verden var også meget forskellige; som vi skal se, afhang det af deres billede af Gud.

## 5.1 Realisme og nominalisme.

For at kunne besvare spørgsmålet om hvordan man kan opnå erkendelse, er man også nødt til at forholde sig til, hvordan verden er bygget op. I middelalderen skelnede man mellem tingenes reale og nominale essenser. For at give en forståelse af hvad disse begreber betyder, giver vi et eksempel:

Man kan vælge at beskrive en genstand ud fra dens reale og nominale essenser, hvor man med nominale essenser mener direkte let genkendelige træk, såsom størrelse, farve, lyd og lugt, dvs. sansekvaliteter. Derimod vil de reale essenser være den/de bagvedliggende ideer, naturlove, der netop får genstanden til at optræde med sine karakteristika. Et eksempel fra naturvidenskab<sup>1</sup> kunne være stoffet guld, hvor den gyldne farve og forarbejdigheden netop er sansekvaliteter, dvs. gulds nominale essenser. Gulds reale essens er derimod atomteorien, som beskriver stoffets struktur.

Man kunne så spørge, om den atomare struktur i stoffet eksisterer i sig selv (som det egentlige), eller om det bare er det rene tankespind, vi har fundet på for at forklare det sete (som stoffets blødhed, farve m.v.). Realisterne ville mene, at det er de reale essenser, der medfører bestemte nominale essenser f.eks stoffets blødhed. Nominalisterne ville sige, at de reale essenser er opfundne begreber.

Det er netop et eksempel på den strid, der fandt sted mellem realisterne og nominalisterne. Den handlede om, hvorvidt man kan tillægge de reale essenser en eksistens uafhængigt af menneskers bevidsthed, eller om de kun er et produkt af vores forsøg

på at strukturere de nominale essenser, vi har mulighed for at opsamle ad empirisk vej.

Anselm af Canterbury, som regnes for grundlægger af realismen, mente, at Gud besidder den højeste form for eksistens, og at Han er betingelsen for de almene principper (de reale essenser), der virker i enkelttingene.<sup>2</sup> Anselm af Canterbury er især kendt for sit ontologiske gudsbevis, hvor han ud fra rent logiske ræsonnementer forsøger at bevise eksistensen af Gud. Hans tro på, at det almene er mere virkeligt end enkelttingene, og at de almene begreber eksisterer selvstændigt og forud for de konkrete eksempler, er inspireret af Platons tanker om den bagvedliggende og eviggyldige idéverden.

Realisterne var stærkt præget af den skolastiske tankegang, hvor man kun i ringe grad hengav sig til empiri, for i stedet at sætte sin lid til intellektet og dettes mulighed for logisk at ræsonnere sig til f.eks. naturloves rigtighed;

*“Selve den logiske konsekvens er beviset på resultatets gyldighed”.*<sup>3</sup>

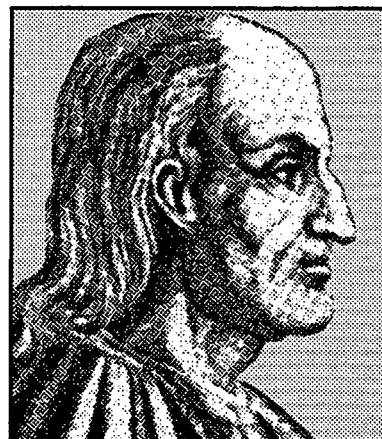
Sanserne kunne man ikke bruge til noget, da disse kun gav et skyggebillede af tingenes reale essens. Dette verdensbillede stemte helt overens med Platons.

Nominalisterne mente derimod, at den egentlige virkelighed er de enkelte ting, som vi kan erfare, dvs. de nominale essenser.

De troede ikke på, at der ligger en ideal verden gemt i den verden, vi sanser, men at den verden, vi sanser, er den egentlige i sig selv. De mente, at de almene begreber kun er tomme ord, som skabes efter iagttagelse af en række ensartede enkeltting, og at de er begrænset til at fungere som en praktisk foranstaltning for menneskelig kommunikation. Det vil sige, at de almene begreber ikke har nogen selvstændig eksistens, men bare er nogle ord, vi finder på, når vi har brug for at tale sammen om vores viden.

Eller sagt på en anden måde: Når man kalder noget ved en fælles betegnelse, mener nominalisterne, at det udelukkende er en kategorisering af sanselige karakteristika. F.eks. er almenbegrebet “cirkel” bare et opfundet ord, som bliver brugt som fællesnævner for nogle ting med et bestemt udseende. Cirkel som begreb er ikke en del af nogen form for højere virkelighed.

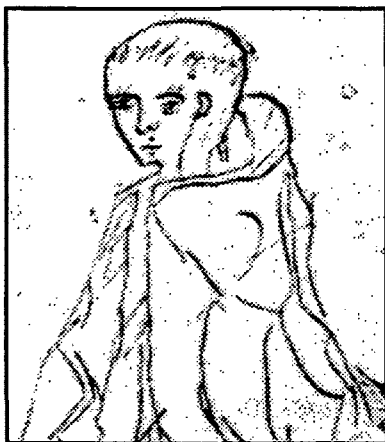
I begyndelsen af det 13. århundrede tog realisterne en drejning fra Platoniske og skolastiske til Aristoteliske tanker, hvilket især skyldtes Thomas Aquinas. Han mente, at vi gennem vor iagttagelse af verden og ved hjælp af vor bearbejdende forstand er i stand til at sammenfatte og ordne iagttagelserne og danne abstrakte begreber for på den måde at erhverve en forståelse af



Anselm af Canterbury (1033-1109), italiensk-engelsk teolog og filosof, blev født i Aosta i Piemonte (Italien), og uddannet på et kloster i Norditalien. I 1060 intræder han i benediktinerordenen, og i 1078 bliver han abbed for klosteret, Bec, i Normandiet. I 1093 bliver han ærkebiskop i Canterbury, men måtte forlade landet fire år efter, på grund af investitustridigheder med kong Vilhelm 2. Han vender dog tilbage til sit embede i 1107.



*Thomas Aquinas (1225-1274), italiensk filosof, var søn af en adelig familie ved Aquino. Som 19 årig, efter at have studeret på universitetet, intrådte han i dominikanerordenen til stor forargelse for hans familie. I 1252 kommer han til Paris og bliver lærer ved universitetet men vender tilbage til Italien i 1261, hvor han en overgang er pavehoffets ledende teolog. Han dør under en rejse til Lyon 49 år gammel.*



*William af Occam (1295-1349), engelsk fransiskanermunk, blev født i Surrey. Pga. sit irrationalistiske livssyn kom han i konflikt med pavestanden og blev ekskommunikeret. Han døde formentlig af den sorte død, mens hans sag hos paven var oppe til nyvurdering.*

Guds plan med mennesket i verden.<sup>4</sup> Han troede derfor ikke som Platon, at vi har medfødte evner til at forstå idéverdenen, men at vi udelukkende via vores erfaring bliver i stand til at udvikle vores forstand for derigennem at få en forståelse for det egentlige.

William af Occam, som er en af fortalere for nominalismen, opponerede kraftigt imod Thomas' idé om, at det er muligt at forene viden og tro. Occam troede nemlig ikke på, at opnåelse af viden kunne føre til erkendelsen af Guds eksistens og skaberværk. Han var ikke overbevist om, at der findes en bagvedliggende virkelighed, og han mente, at det var uden for menneskelig rækkevide at tage stilling til dette spørgsmål.

Derfor mente han, at de eneste interessante og sikre udsagn er dem, der refererer til umiddelbare erfaringer. Hvis man skal opstille en videnskabelig teori, kan man udelukkende bygge den på iagttagelser og logik uden at tilføje flere forudsætninger end de, der er strengt nødvendige.

## 5.2 Forskellene mellem realisterne og nominalisterne

Forskellen mellem de to grupper er, at realisterne mente, at de nominale essenser bare er et blændværk, hvorimod det er de reelle essenser, der kan fortælle os om Guds skaberværk. Nominalisterne mente derimod, at det er ved en undersøgelse af de nominale essenser, det er muligt at få en forståelse af, hvordan verden hænger sammen.

Matematik opfattes i denne tids termer både af realisterne og nominalisterne som real essens, dvs. en samling af almene begreber, men de er uenige om, hvilken betydning man kan tillægge matematikken (som alment begreb).

Man kan illustrere realisterens synspunkt ved at påstå, at der findes en perfekt idé-cirke (som et alment begreb), som alle verdens cirkler så er mere eller mindre gode kopier af.

De tror nemlig, at alle matematiske begreber er en del af den ideale verden, og at vi ved at forstå de matematiske sammenhænge kan opnå en viden om det egentlige.

Nominalisterne ville til gengæld mene, at begrebet "cirke" kun er en sammenfatning af alle sanselige fælleskarakteristika for cirkler. Dette mener de udfra deres holdning om, at matematiske begreber udelukkende er menneskelige tankekonstruktioner, som ikke nødvendigvis siger noget om, hvordan verden egentlig er, men måske snarere giver et billede af, hvordan vi tænker.



### 5.3 Realisme, nominalisme og termodynamikkens 1. hovedsætning.

For nominalisterne er termodynamikkens 1. hovedsætning et bevis på, at vi ved at forholde os til empiriske data alene er i stand til at opnå erkendelsen af en af de mest grundlæggende natursammenhænge.

De tidlige realister (Anselm af Canterbury) ville overhovedet ikke kunne acceptere termodynamikkens 1. hovedsætning, da denne bygger på empiri, som ikke kan give nogen beskrivelse af den reale essens.

Thomas Aquinas og de senere realister ville bedre kunne acceptere termodynamikkens 1. hovedsætning, da det netop er forstanden, som har sammensat og bearbejdet de empiriske data.

### 5.4 Realisme, nominalisme og Maxwells ligninger.

Opdagelsen af radiobølger er sket vha. matematiske ræsonnementer, hvorfor realisterne vil se Maxwells ligninger som et klart bevis på, at man ved brug af logiske ræsonnementer kan finde de reale essenser. Her blev den reale essens (elektromagnetiske bølger) opdaget før de nominale essenser (radiobølger). Dette kan sammenlignes lidt med at opfinde begrebet "cirkel", før man har set nogen cirkler. Maxwells ligninger kan derfor godt inspirere en til at give realisterne ret i:

-at de reale essenser virkelig eksisterer.

-at der eksisterer idéer bagved alting, naturlovene, som netop er formuleret matematisk, og samtidig beskriver sammenhænge mellem fysiske størrelser.

Nominalister vil dog påpege, at Maxwell tog udgangspunkt i allerede kendte formler, som alle byggede på empiri. Samtidig vil de også kunne fremføre, at det var rent held, og at Maxwells ligninger blot beskriver et omregningsforhold mellem elektriske og magnetiske kræfter.

### 5.5 Filosofernes forudsætninger

Det er tydeligt, at man i denne tid var meget koncentrerede om, på hvilken måde det er muligt at forene viden og trospørgsmål. Troen på Gud har tilsyneladende påvirket videnskabsmændene i deres valg af studier og meningsdannelser. Udviklingen inden for naturvidenskaberne gik i middelalderen ikke så hurtigt. Stilstanden i middelalderen må også have præget filosofiens udvik-

ling, det er f.eks tydeligt at både realisterne og nominalisterne hænger meget i Antikkens filosoffer: Platon og Aristoteles.

---

- 1 Naturvidenskabens teori, s. 98
- 2 Idehistorie s. 125
- 3 De europæiske idéers historie, s. 148
- 4 Idehistorie s. 134

# Renæssancen

I årene fra 1600 - 1800 var der to hovedretninger inden for naturfilosofien. Den ene blev kaldt rationalismen, og det var især de europæiske fastlands-filosoffer, der var tilhængere af denne filosofi. Den anden filosofiske holdning, som specielt englænderne tog til sig, var den empiriske. De to filosofiske retninger delte Europa i to lejre med rationalisterne på den ene side og empiristerne på den anden.

## 6.1 Rationalisme og empirisme

Rationalisterne mente, at det er den menneskelige fornuft, der er kilden til al erkendelse.<sup>1</sup> Sanserne kan bedrage os, og derfor er det umuligt at opnå nogen reel erkendelse ud fra rent sansesmæssige erfaringer.

René Descartes, der var rationalist, opstillede, hvad der i den moderne tid blev kaldt den sunde fornufts princip:

*"Alt, hvad vi klart og tydeligt fatter, er sandt."*<sup>2</sup>

Ifølge rationalisterne var det kun muligt at opnå en fuldstændig erkendelse af verden udfra rationel tænkning. Rationalisterne var også store fortalere for begrebet årsagssammenhæng, "Causa Efficiens", dvs. den begivenhed, der får en anden til at indtræffe. Descartes mente, at mennesker lige fra fødslen er i stand til at forstå årsagssammenhænge, og at det ikke er noget tillært.

Descartes mente ikke, at man kunne være sikker på, at nogen sanserfaringer var rigtige, og at man derfor skulle tvivle på alt. Det eneste, der var sikkert i denne verden, var tvivlen, og man vidste kun, at man eksisterede, idet man tvivlede. Han udtrykker det selv således:

*"Cogito, ergo sum."*<sup>1</sup>

Empiristerne mente, at den matematiske sandhed  $2+3=5$  er noget, man har opdaget ved at tælle efter mange gange. Da Descartes ønskede at vise, at dette ikke stammede fra en sanserfaring, forklarede han det med, at det var Gud, der havde givet os denne erkendelse. Han mente altså, at det enkelte individ tænker rationelt fra fødslen. Denne rationelle tankegang gav sig også udslag i matematiske ræsonnementer, og derfor sagde rationalisterne, at erkendelsen kan opnås via matematikken.

Empiristerne anerkendte ikke tanken om en medfødt idé, men mente derimod, at kilden til erkendelse lå i selve erfaringerne.

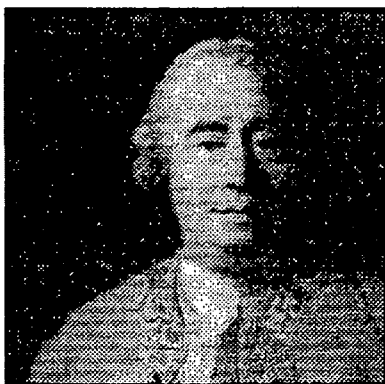


*René Descartes (1596-1650), fransk filosof, blev født i La Haye i Touraine (Nordfrankrig). Han blev indskrevet på det kraftigt skolastiske jesuiterkollegium, "La Flèche" og forblev ortodoks katolik hele sit liv. Under Tredveårskrigen (1619) gik Descartes ind i hæren og fik her sin såkaldte "filosofiske vækkelse". Han forlod hæren, flakkede de næste ni år rundt i verden og endte med at slå sig ned i Holland i 1629. I 1649 bliver han inviteret til Stockholm af dronning Kristina, hvor han dør af lungebetændelse.*

<sup>1</sup> Jeg tænker, altså er jeg til <sup>3</sup>



John Locke (1632-1704), engelsk filosof, blev født i Wrington 1632. Han studerede medicin og filosofi ved Oxford University men måtte dog opgive den påtænkte lægeerhverv grundet sit dårligt helbred. Locke gik i 1682 i eksil i Holland, da han blev anklaget for at lave et komplot mod kongen. Han vendte dog tilbage i 1689. Lockes forfatterskab omfattede erkendelsesteoretiske, økonomiske, religionsfilosofiske og retsteoretiske værker.



David Hume (1711-1776), skotsk filosof, bliver af nogen betragtet som den største af alle de britiske tænkere. Hume blev af forældrene sat til at studere jura, han afbrød dog snart sine studier og tog til Bristol, hvor han fik arbejde på et handelskontor. Da Hume var 23 år gammel tog han til Paris, og under sit ophold i byen startede han sine filosofiske studier. I 1752 blev Hume bibliotekar ved "Advocates Library", virkede som gesandtskabssekretær i årene 1763-66 og trak sig tilbage i 1769 for at begrave sig i filosofisk ro.

John Locke mente, at vi fødes med sjælen som et blankt papir men med evnen til at erkende. Når vi så får sanseindtryk, printer de sig ind på dette papir, og fornuften hjælper os til at erkende og sammenholde dem.

Locke udtrykker det således:

*"Lad os antage, at sjælen er, som vi siger, hvidt papir uden noget tegn på, uden nogen tanker - hvordan fyldes det? Hvorfra kommer den uhyre mængde tegn, som menneskets travle og grænseløse fantasi har malet på den med en næsten endeløs forskelligartethed? Hvorfra har den alle fornuftens og erkendelsens materialer? Derpå svarer jeg med eet ord: fra erfaringen. Deri er al vor viden nedlagt, og derfra udledes den i sidste instans"* <sup>4</sup>

Udgangspunktet for al erkendelse er derfor den enkeltes erfaring.

David Hume argumenterede for, at idéen om årsagssammenhæng var opstået som en vane, og, at den ikke var medfødt. Vi har ofte set solen skinne på en sten og dernæst opdaget, at stenen bliver varm. Hume mente, at den forestilling, en sanseagttagelse frembringer i bevidstheden, varer længere end selve den ydre påvirkning. Når man én gang har oplevet, at en sten var blevet varm i solen, går man ikke hen og brænder sig på den igen. Fornuften er blevet brugt til at indsamle og behandle indtryk. Hermed blev de af Newton opstillede naturlove inddirekte kritiseret, da de brugte ikke erkendbare størrelser og tog årsagssammenhæng for givet.

Immanuel Kant blev rystet af Humes argumenter imod videnskabens rigtighed, men da han syntes, at argumenterne var så afgørende, ville han prøve at finde en ny begrundelse for gyldigheden af rationel videnskabelig erkendelse.

Han forklarer den rationelle videnskabs gyldighed med, at der er to kilder til erkendelse. Den ene kilde, der er indirekte, består af en verden udenfor os; en idéernes verden, som vi ikke kan erkende, men hvorfra de grundlæggende idéer udspringer. Den anden kilde er selve vores sanseapparater, og det er ud fra de erkendelsesredskaber, der er i vores sanseapparat, at vi former og oplever den verden, vi kender. Kant mente, at sanseapparatet besidder syntetisk a priori viden<sup>I</sup> om tid og rum, hvilket medfører, at alt, hvad vi sanser, bliver udtrykt ved disse to grundformer. Hvis vi f.eks. ser en bil, der kører, er det nødvendig for os at se bilen i forhold til tiden og rummet, den befinder sig i. Tid og rum er syntetisk a priori viden, men eksisterer ifølge Kant ikke i idéernes verden. Tværtimod er de indeholdt i menneskets anskuelsesform. Det er os, der ser tingene i tid- og rumdimensi-

<sup>I</sup> Syntetisk a priori viden er viden om verden, der kan afgøres forud for eller uafhængigt af empiri.

onerne og det sådan, at vi ikke kan undgå dem, dvs. at de er en forudsætning for enhver erkendelse. Kant siger derfor, at alt, hvad der vil blive anskuet i fremtiden, vil forme sig i tid og rum. Den videnskab, der er i stand til at opstille love for tid og rum, vil derfor være i stand til at opstille love for enhver tænkeligt fænomen.<sup>5</sup>

## 6.2 Rationalisme, empirisme og termodynamikkens 1. hovedsætning

Empiristerne ville hævde, at termodynamikkens 1. hovedsætning ikke kunne være formuleret matematisk uden et erfaringsbaseret grundlag, og de ville betragte hovedsætningen som et mønstereksempel (og dermed et bevis) på deres filosofi.

Rationalisterne derimod ville måske hævde, at 1. hovedsætning med tiden ville være blevet formuleret ud fra rent rationelle overvejelser, forudsat at den var alment gældende. Da den er fundet empirisk, mener de ikke, at man kan derfra kan sige, at den er alment gældende.

## 6.3 Rationalisme, empirisme og Maxwells ligninger

Empiristerne ville sige, at Maxwells ligninger var rent tanke-spind som derfor ikke kunne udtale sig om nogle virkelige fænomener. Det mest nærliggende for en empirist ville derfor være at negligere Maxwells ligninger. Hvis en empirist alligevel ville vælge at tro på Maxwells ligninger, ville han sige, at de ligninger, Maxwell tog udgangspunkt i, var fremkommet ad empirisk vej.

For en rationalist ville Maxwells ligninger derimod stå som et fremragende eksempel på, hvordan man ved hjælp af rationel tænkning kunne nå til ny erkendelse af verden. Elektrodynamikken ville fremstå som et bevis på, at det er i fornuften, al erkendelse ligger.

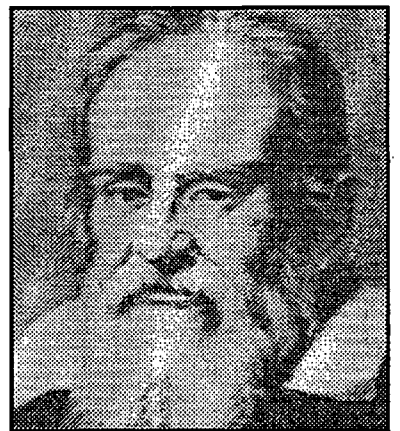
## 6.4 Filosofernes forudsætninger

I tiden 1600-1800 skete der mange interessante ting i udviklingen af naturvidenskaben, hen imod den fysik vi i dag kender som klassisk mekanik. Galilei opstillede nogle fysiske love heriblandt faldloven og inertiens love. Disse love kom i stand via empiriske overvejelser, og dermed kunne han indirekte underbygge empiristernes teori. En fysiker, der derimod gav empiristerne stof til eftertanke, var Isaac Newton, der med en rent rationalistisk metode grundlagde den klassiske mekanik. Den bliver stadigvæk i dag beregnet som et af de største gennembrud i fysikken.

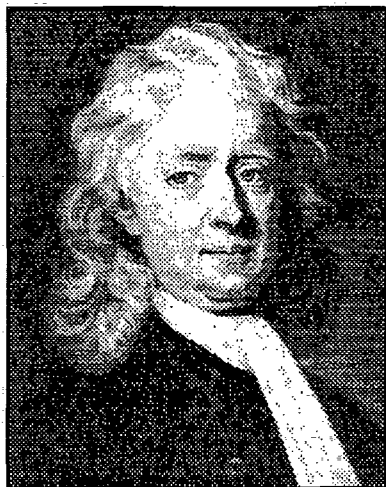
Filosofferne og naturvidenskabsmændene skulle i denne tid passe på ikke at blive uvenner med kirken og magthaverne, idet



*Immanuel Kant (1724-1804), tysk filosof, blev født i Königsberg i 1724 og betegnes af mange som den nyere tids største tænker. I 1740 blev han student ved universitetet i Königsberg, hvor han læste teologi. Kant var i årene efter sin universitetsuddannelse ansat som huslære hos forskellige adelige familier, og i 1755 opnåede han et docentur ved universitetet, og fra 1770 blev han professor i logik og metafysik.*



*Galileo Galilei (1564-1642), italiensk astronom, matematiker og fysiker, var professor ved Pisa og Padua og blev chefmatematiker ved Cosimo II de' Medici. Han var storhertug af Tuscany og viste eksperimentelt, at alle legemer falder med samme acceleration. Med et teleskop han selv havde konstrueret opdagede Galilei solpletter samt jupiters måner.*



*Isaac Newton (1642-1727), engelsk matematiker og fysiker, blev født i Woolsthorpe 1642. Han var professor ved Cambrigde university og president af the Royal Society. I 1687 publicerede Newton "Principia Philosophiae Naturalis et Mathematica", hvor han beskrev bevægelseslovene og gravitationsloven. Newton blev tillige betragtet som en stor matematiker får sammen med filosofen Leibniz æren for udviklingen af differentialregningen.*

de så kunne risikere at blive sat i fængsel eller i værste fald blive dømt til døden for kætteri.

- 
- <sup>1</sup> De Europæiske Ideers Historie, s.231
  - <sup>2</sup> Den Naturvidenskabelige Revolution, s.107
  - <sup>3</sup> De Europæiske Ideers Historie, s.222
  - <sup>4</sup> Vestens Filosofi, s.531
  - <sup>5</sup> De Europæiske Ideers Historie, s.281
  - <sup>6</sup> Verdens Kulturhistorie Bd 28, s.298

# Romantikens filosofi og Positivismen

Fra de realistiske og empiriske tænkere går vi nu ind i 1800-tallet, som i Europa er præget af industrialiseringen, hvor de tekniske landvindinger får stor betydning. I starten af denne periode er det specielt romantikken og positivismen, der gør sig gældende som to hovedgrene af filosofien. Den romantiske filosofi påvirkede mest Tysklands og Nordeuropas filosoffer, mens positivismen udsprang af den franske og engelske filosofi.

## 7.1 Romantikken

Romantikken er et diffust begreb, da det lige så meget står for en historisk periode inden for kunst, statsmagt m.m. som en naturfilosofi.

De romantiske filosoffer var idealistiske. De mente, at verden var identisk med idéerne. De mente, at mennesket har udviklet sig fra en slumrende intelligens til den bevidste ånd eller sjæl.

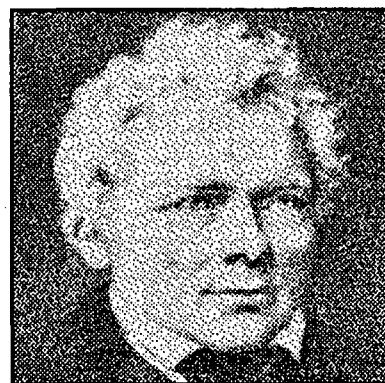
G.W.F. Hegel mente, at alle erfaringer kun var en bid af helheden, og hvis man ville danne sig et billede af helheden, kunne man ikke gå empirisk til værks, idet det kun ville illustrere en del af helheden. Hegel mente, at man ikke kunne danne nogen teori alene ud fra empiriske iagttagelser, da man aldrig ville kunne opnå alle iagttagelser.<sup>1</sup> Man skulle beskrive virkeligheden så godt som muligt, og derefter kunne man opnå den fulde og vigtigste erkendelse ved videre tankeudvikling. Hegel brugte den såkaldte dialektiske metode, der indebar, at erkendelsen blev opnået igennem samtale og modsatte synspunkter. Hvis man vil belyse et synspunkt, skulle det modsatte stilles op, og via diskussionen af de to synspunkter, skulle et af dem blive afklaret. Konsekvensen af Hegel var, at alt empirisk erfaring kun er underordnet.

Den samme udvikling gælder for alt i naturen, fra den uorganiske natur gennem plante-dyreverden og frem til mennesket. F.W.J. Schelling bliver regnet for romantikkens egentlige filosof. Det er ham, der taler om udviklingen i naturen. Udviklingen fra det lavere til det højere, fra det dårligere til det bedre. Der er hele tiden tale om en stadig større frigørelse af muligheder og kræfter, der styrer mod et åndeligt mål.<sup>2</sup>

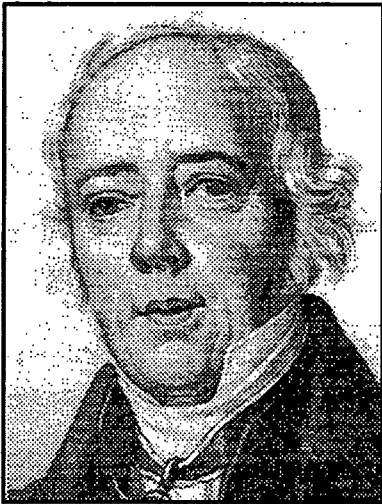
Romantikkerne mente, at der er en ånd i naturen. Erfaringer var derfor kun subjektive eller vildledende brudstykker i helheds-



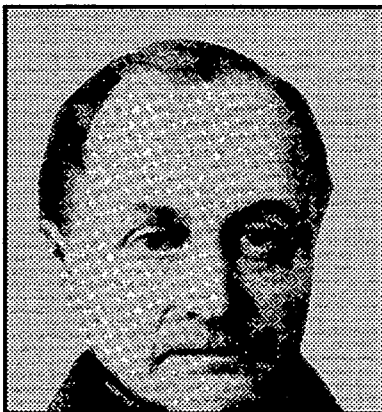
*Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770-1831), tysk filosof, blev født i Stuttgart i 1770. Læste i perioden 1788-93 filosofi og teologi ved universitetet i Tübingen, hvorefter han havde flere forskellige beskæftigelser huslære i Bern og Frankfurt, privat docent i Jena, redaktør i Bamberg og gymnasieinspektør i Nürnberg. Hegel opnåede i 1816 at blive professor i filosofi i Heidelberg, og fra 1818 blev han professor i Berlin.*



*Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling (1775-1854), tysk filosof, blev født i Leonberg. Som 15-årig studerede han teologi og filosofi i Tübingen og naturvidenskab i Leipzig. Efter at have arbejdet som huslærer blev han professor i Jena i året 1798. I 1841 blev han professor i Berlin efter at have været i München. Schelling blev betragtet som en af de førende indenfor den tyske romantik.*



Hans Christian Ørsted (1777-1851), dansk fysiker og kemiker, blev født i Rudkøbing 1777. Ørsted var professor ved Københavns Universitet, og det var her han opdagede, at en kompasnål slog ud, når den kom i nærheden af en strømførende ledning. Hermed var han den første, som opdagede en forbindelse imellem elektriske og magnetiske fænomener.



Auguste Comte (1798-1857), fransk filosof, blev født 1798 i Montpellier. Da Comte var 16 år blev han indskrevet ved den polytekniske læreanstalt i Paris, som senere blev lukket pga. elevernes revolutionære sindelag. I 1826 forsøgte Comte at gøre sig gældende med en forelæsningsrække men måtte imidlertid opgive, da han fik et nervøst sammenbrud. Forelæsningerne tog Comte op igen i 1828, og denne række af forelæsninger dannede grundlaget for hans filosofiske program.

mønstret. H.C. Ørsted udgiver i 1850 "Aanden i Naturen", hvor han gør rede for, at de naturlove vi opdager, skal forstås som det åndelige i naturen. Her har vi som i realismen en opfattelse af, at der må være en bagvedliggende idéverden, idéerne ligger i selve naturen.<sup>3</sup>

## 7.2 Positivismen

Positivismen udsprang af den franske materialistiske filosofi og den engelske erfaringsfilosofi.<sup>4</sup>

Auguste Comte betegnes som positivismens grundlægger. Han siger, at vi bør holde os til det positive, hvilket vil sige, det der kan vejes, måles og tælles. Det metafysiske og abstrakte kunne man ikke udtale sig om. Ifølge Comte kunne man kun opstille love for regelmæssige processer. Han opstiller nogle trin, som den menneskelige erkendelse kan gennemløbe. Det første trin består i, at menneskene tænker på en tilværelse styret af guder og ånder. Andet trin er det metafysiske stadium, hvor guderne og ånderne bliver erstattet med abstrakte kræfter og livsprincipper. Det sidste trin er det såkaldte positive stadium, hvor menneskenes erfaringsområde er vokset så meget, at de ikke mere behøver at supplere deres erkendelse med "fantasiforestillinger".<sup>5</sup> Positivistene mente ikke, at man overhovedet kunne opstille naturlove, hvis man ikke kunne sanse de fænomener, man havde opdaget. Ernest Mach skrev i 1893 til diskussion om atomerne:

*"Atomerne kan vi intetsteds sanse. Ja, atomerne tilskrives delvis egenskaber, som er i modstrid med alle hidtidige iagttagelser. Skulle atomteorien alligevel være egnet til at beskrive en række kendsgerninger, vil naturforskeren, som har fattet kærlighed til Newtons filosofiske regler, kun lade denne teori gælde som et provisorisk hjælpemiddel, og tilstræbe en udskiftning med en mere naturlig anskuelse".<sup>6</sup>*

Positivistene mente, at al viden bygger på vane og at vi gennem mange erfaringer (af f.eks. fakta eller naturlove) er vant til at se sammenhænge mellem fænomener, som er konstante. Udfra disse konstante fænomener kan vi danne nye naturlove. Disse naturlove er opstillet på grundlag af ufuldstændig induktioner, da man aldrig kan have samtlige iagttagelser. Fordi man f.eks. siger, at alt menneskeblod er rødt, er det ikke ensbetydende med, at man har skåret alle mennesker op. John Stuart Mill formulerede i sit værk "A System of Logic", at al videnskab byggede på vane.

Mill udtalte sig om matematik, han hævdede at matematikkens aksiomer bygger på sanseerfaringer og ikke på intuitiv afdækning af de matematiske størrelsers nødvendige relationer.



Mill mener, at man ikke kan udlede noget matematisk ud fra sine egne tanker og idéer, og at man heller ikke kan tage andres matematiske ræsonnementer og udlede noget ud fra disse. Det er kun vha. sine sanser, at man kan slutte noget matematisk.<sup>7</sup>

### 7.3 Romantikken, positivismen og termodynamikkens 1. hovedsætning

Romantikerne ville tolke termodynamikkens 1. hovedsætning som en erfaringsbaseret naturlov. Det vil sige, at man fra forskellige erfaringer har fundet frem til en naturlov, der beskriver ånden i naturen, og derfor er termodynamikkens 1. hovedsætning en del af idéverdenen.

Positivisterne ville tolke termodynamikkens 1. hovedsætning som et godt eksempel på deres grundholdning. Her bruger man sine erfaringer til at vise en grundlæggende naturlov.

Vi ser endnu engang i historien, hvordan de to filosofiske modpoler i historien er oppe mod hinanden. Romantikerne fastholder, at der eksisterer en bagvedliggende idéverden, en ånd i naturen, og positivisterne har en stærk empirisk opfattelse af, at naturlove kun kan beskrives ud fra direkte sansninger og erfaringer.

### 7.4 Romantikken, positivismen og Maxwells ligninger

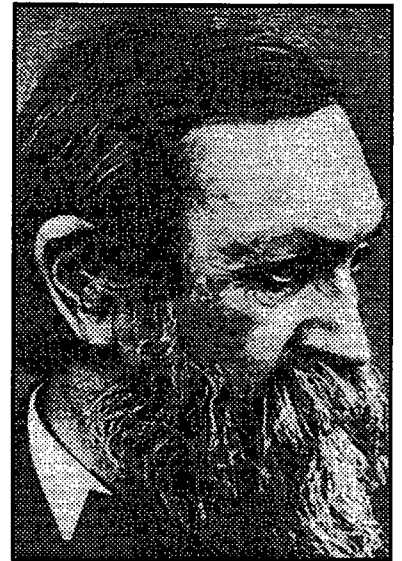
Maxwells ligninger bekræfter romantikernes filosofi. Her har vi en teori, som viser, hvordan man rationelt er nået frem til en overordnet beskrivelse af naturen, endda en teori der beskriver noget, man ikke kan se. Maxwells teori ville fra romantikernes synspunkt beskrive et aksiom fra idéverdenen.

For positivisterne ville Maxwells ligninger være rent tankespind. De ville opfatte ligningerne som en naturlov, der er udviklet ud fra matematiske ræsonnementer. Den ville ikke være gyldig, da man ikke direkte har brugt sanserne for at komme frem til teorien.

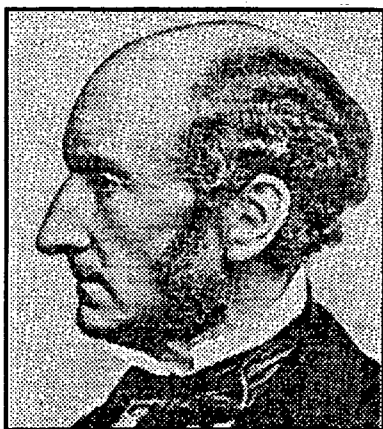
### 7.5 Filosofernes forudsætninger

Romantikerne er nok en reaktion på Lockes og Humes empirisme i 1600 - 1700 tallet. Romantikerne bygger videre på Descartes' teorier ved fremhævelsen af ånd og idéverden og er på nogle områder en videreudvikling af Kants teorier.

Positivisterne er en viderudvikling på Lockes empirisme og Humes skepticisme, hvor man kun ved hjælp af ren empirisk



*Ernest Mach (1838-1916), østrigsk fysiker og filosof, blev født i Turas i 1838. Han var professor ved universiteterne i Prag og Wien. I sin bog, "The Science of Mechanics", laver han en kritisk undersøgelse af den historiske udvikling, af det Newtonske verdensbillede.*



*John Stuart Mill (1806-1873), engelsk tænker, blev født i London i 1806, blev kendt som "frihedens filosof". Mill's far startede med at lære ham græsk og latin fra han var 3 år, hvilket resulterede i at Mill som 7 årig læste Platons dialoger på originalsproget. Mill var engelsk parlamentsmedlem i perioden 1865-1868 og ses som en af liberalismens fædre. I 1843 udgiver Mill "system of logic", hvor Mill betoner, at al erkendelse i sidste instans beror på vore sanseindtryk.*

viden kan finde naturlove. Denne tendens til at tillægge empiri større betydning skyldes den kraftige udvikling af forsøgsmetode og teknologi.

- 
- 1 Idehistorie, s. 292
  - 2 Idehistorie, s. 291
  - 3 Idehistorie, s. 291
  - 4 Idehistorie, s. 296
  - 5 Idehistorie, s. 296-297
  - 6 Videnskabens teori
  - 7 Ud over matematikken, s.17-20

# Det 20'ende århundrede

Vi er nu nået op i vort eget århundrede. Her har der været adskillige filosofiske retninger og skoler, men vi har kun valgt en enkelt: logisk positivisme. Til gengæld mener vi, at den er illustrativ i forhold til vores problemstilling, idet den har nogle nye ting at sige i forhold til videreførelsen af de tidligere gennemgaaede retninger.

Istedet for en modfilosofi har vi valgt blot at tage nogle enkelte kritikere frem, for at vise at diskussionen om, "hvorvidt der er bagvedliggende idéer", stadig bølger.

## 8.1 Den logiske positivisme

Denne filosofiske retning havde sit udgangspunkt i England, men blev især taget op i Østrig af en gruppe kaldet Wienerkredsen<sup>1</sup>. Disse var inspireret af empiristerne og nominalisterne og var en direkte videreudvikling af positiverne<sup>2</sup>. De kaldes "De logiske Positivister", da de mente, at alle videnskabelige udsagn ved hjælp af logik skal kunne føres tilbage til udsagn, der er empirisk beviselige. Hvis dette ikke er muligt, kan man ikke verificere dem, og man kan derfor ikke tillægge dem nogen mening. Dette medfører, at alle metafysiske udsagn er meningsløse.

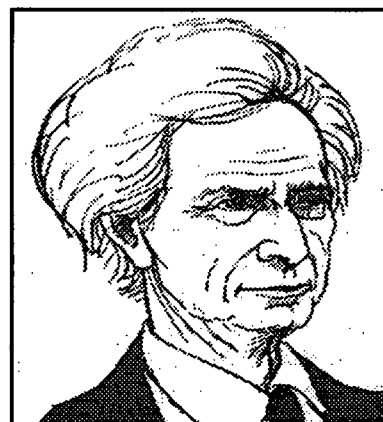
Bertrand Russell (en logisk empirist) sagde som en af hovedinspiratorerne følgende om det nye i logisk positivisme.

*"Platon, Thomas Aquinas, Spinoza og Kant tilhører det, vi kunne kalde det matematiske parti... .. I vor tid er der opstået en filosofisk skole, der har foresat sig at eliminere pythagorismen fra matematikkens principper og forene erfaringsfilosofien med en interesse for den deduktive del af menneskelig viden."*<sup>3</sup>

Erfaringsfilosofferne (nominalisterne, empiristerne og positiverne) har indtil nu haft problemer med at forklare matematikkens evne til at beskrive den fysiske omverden, og vi får derfor indtryk af, at matematikken selv er en del af sandheden.

De logiske positiver går væk fra de foregående erfaringsfilosoffers forklaring om, at matematikken bunder i erfaring: at vi ved  $2+2=4$ , fordi vi har talt efter tilstrækkelig mange gange.

Tværtimod mener de, at matematikkens grundaksioner er



Bertrand Russell (1872-1970), engelsk filosof, blev født i Ravenscroft, Wales. Hans forældre døde, da han var fire. Da han var 18 begyndte han på Trinity College, Cambridge men blev bortvist i 1916, og i 1918 kom han i fængsel; begge gange p.g.a. artikler han havde udgivet. Russell kom så i 1930'erne til USA, hvor han kom i modvind p.g.a. sin bog "Marriage and Morals". I 1944 ventede Russell tilbage til Trinity College, og først her begyndte han at høste anerkendelse, og i 1950 fik han Nobel Prisen i Litteratur.

tautologisk opbygget. Et eksempel på en tautologisk påstand kunne være: "Alle ungarle er ugifte". Påstanden er sand, udelukkende fordi vi på forhånd har valgt at definere ordet ungarle, som en mand der er ugift. Påstanden fortæller os derfor ikke noget nyt, den refererer kun til det allerede definerede. Det samme gælder for påstanden  $2+2=4$ , da vi på forhånd har valgt at definere tallet 4 som det samme som:  $2+2$ .<sup>5</sup>

Argumentationen for, at matematikken ikke er syntetisk a priori viden men derimod tautologisk opbygget, henter de logiske positivistere igen hos Bertrand Russell, som siger:

*"Vor grund til at tro, at 2 og 2 er 4, er ikke, at vi så ofte har konstateret at et par, og par til, udgør en kvartet. I denne forstand er matematisk erkendelse endnu ikke empirisk. Men er heller ikke a priori erkendelse om verden. Det er kort sagt en ren verbal-erkendelse. 3 betyder  $2+1$ , og 4 betyder  $3+1$ . Heraf følger (skønt beviset er langt) at fire betyder det samme som  $2+2$ . Matematisk erkendelse ophører således med at være mystik. Den er af samme væsen som "den store sandhed", at der går 3 fod på en yard."*<sup>4</sup>

Matematikken bliver på denne måde tautologisk.

Den matematik, Russell indførte, kaldes formel-matematik, hvor man opløser alle spørgsmål til nye underspørgsmål, som man kan svare på ud fra sikker viden. Dette kaldes verifikationsprincippet. Her kan der skelnes mellem to typer verifikation, direkte og indirekte<sup>6</sup>. Direkte verifikation er sanselige påstande, mens den indirekte verifikation udføres ved at undersøge den givne påstand og opløse den til spørgsmål, som er direkte verificerbare. Alt, som skal anerkendes som sikker viden, skal underkastet denne prøve. Det lykkedes også at verificere rum, tid og årsags-sammenhæng<sup>7</sup> som en speciel kategori af erfaringer. Disse blev hermed flyttet fra idéernes verden til erfaringsbaseret viden.

Alle spørgsmål, som ikke kan verificeres, kan hermed straks kastes bort, og på denne måde får man fjernet alle spørgsmål om bagvedliggende idéer, hvilket Rudolf Carnap argumenter for her:

*"Metafysikere kan ikke undgå at gøre deres spørgsmål ikke-verificerbare, for hvis de gjorde dem verificerbare, ville bestemmelsen af deres doktriners sandhed eller falskhed afhænge af erfaringer og således tilhøre den empiriske videnskab. Således er de tvungne til at overskære enhver forbindelse imellem deres påstande og erfaringen, og netop derved berøver de påstandene enhver mening."*<sup>8</sup>



Rudolf Carnap (1891-1970), tysk-amerikansk filosof, blev født i Ronsdorf, Tyskland. Fra 1910 til 1914 studerede han filosofi og videnskab ved universiteterne, Jena og Freiburg. Efter endt tjeneste som officier i første verdenskrig fortsatte han sine studier og fik sin doktorgrad i 1921. I 1931 blev han professor på det Tyske Universitet i Prag men måtte i 1935 flygte til USA, hvor han blev professor på University of Chicago. I 1961 blev han professor på University of California, hvor han var indtil sin død.

## 8.2 Kritik af den logiske positivisme

En af de mest kendte kritikere af den logiske positivisme er Karl Popper, som selv har sit udgangspunkt i Wienerkredsen. Han stillede sig især kritisk overfor verifikationsprincippet<sup>9</sup>, da det er en induktiv metode. Det, Popper betvivlede, var, om man nogen sinde ville kunne generalisere på et sådant grundlag. F.eks. sluttede man ud fra, at alle iagttagne svaner var hvide, at alle svaner er hvide<sup>10</sup>. Med verifikationsprincippet kunne alle mulige teorier opnå videnskabelig status, idet ingen kunne leve op til princippet, og intet derfor kunne siges at være mere videnskabeligt end noget andet.

Han indførte derfor istedet et falsifikationskrav, da han mente, det var vigtigt, at alle de situationer, hvor man kunne tænke sig, at ens teori ikke gælder, bliver undersøgt. Derefter ved man, om ens teori holder stik eller ej. Videnskabelige teorier er karakteriseret ved, at man skal kunne forestille sig en situation, hvor teorien ikke gælder.

*"...kriteriet på en teoris videnskabelige status er dens falsificerbarhed, eller dens mulighed for at blive gendrevet, eller dens prøvbarhed."*<sup>11</sup>

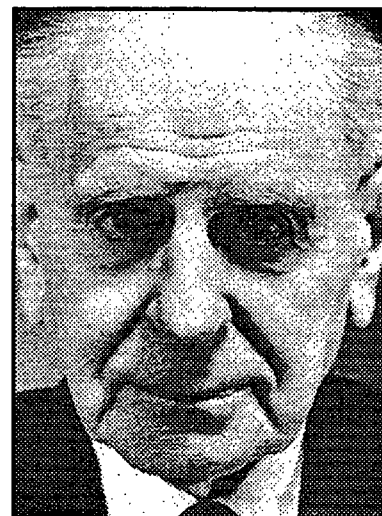
Den logiske positivisme løb også ind i det problem, at matematikeren Gödel viste, at deres matematiske grundlag, formelmatematikken, havde nogle indbyggede paradokser.

Han viste, at der fandtes matematiske sandheder, som hverken kunne bekræftes eller afkræftes. Dette paradoks var Russell allerede stødt ind i under udviklingen af formel matematik, men han troede det kunne løses hen ad vejen. I 1931 viste Gödel imidlertid, at det aldrig kan løses. Et sprogligt eksempel på en udtalelse, der ikke kan afgøres, kan være:

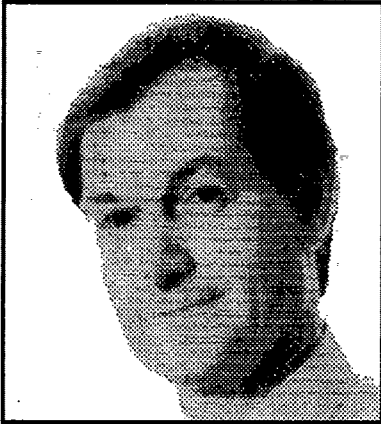
*Den næste sætning er sand.  
Den foregående sætning er falsk.*

I begyndelsen troede man udelukkende, at det var et sprogligt problem, men Gödel viste, at der i alle formale matematiske systemer vil være sandheder, der aldrig kan bevises. Dette er meget vigtigt, idet verifikationsprincippet smider de påstande væk, der ikke er verificerbare. I matematikken kunne man finde sætninger, som var sande, men som systemet ikke kunne bevise, og hvorfor skulle det ikke også være sådan i andre fag? Dermed fik logikken et alvorligt knæk.<sup>12</sup>

Gödels bevis fik meget stor indflydelse på resten af dette århundredes filosoffer; bla. matematikeren Roger Penrose kommenterer dette:



Sir Karl Raimund Popper (1902-), østrigsk filosof, blev født i Wien. Han studerede på universitetet i Wien og i 1937 accepterede han en post på Canterbury University College i New Zealand. I 1949 blev han professor og i 1950 gav han gæsteforlæsninger på Harvard University. Popper blev slået til ridder af Dronning Elizabeth II i 1965.



Roger Penrose (??-??), matematiker og fysiker, arbejdede i 1960'erne med Stephen Hawkings og har siden 1973 været Rouse Ball Professor of Mathematics på Oxford University. Modtog i 1988 Wolf Prisen sammen med Stephen Hawkings.

*"People often think of Gödel's theorem as something negative - showing the necessary limitations of formalized mathematical reasoning. No matter how comprehensive we think we have been, there will always be some propositions which escape the net..Somehow we have managed to see that  $P_k(k)$  [en matematisk påstand] is a true despite the fact that it is not formally provable within the system."*<sup>13</sup>

Penrose ser det altså ikke som noget problem, at den formelle matematik ikke kan finde alle sandheder. Dette hænger nok sammen med hans Platoniske syn på matematik<sup>14</sup> i lighed med Gödels<sup>15</sup>; dvs en tro på matematik som a priori viden. Platonisme findes stadig som en filosofiretning i vort århundrede og er især udbredt blandt matematikere.

De logiske positivister faldt også for deres eget verifikationskrav ved at påstå, at metafysiske påstande er meningsløse. Hvordan skal man begrunde denne påstand? Den kan ikke verificeres og er samtidig et eksempel på, hvor vanskeligt og flertydigt sproget er. De logiske positivister ville kun acceptere påstande, der var entydige og verificerbare, men deres eget brug af ordet meningsløs kan betyde "uden tankemæssig mening", "absurd" eller "omsonst".<sup>16</sup> Her kan måske anes det problem, at så snart man udtaler sig om andet end iagttagelser, løber man ind i nogle problemer omkring sproget, som vi vil vende tilbage til i afslutningen af projektet.

Kritikere af den logiske positivisme har også spurgt om, hvor mennesket plads er i alt dette. Logiske positivister har intet svar på dette og er rede til at forkaste alle spørgsmål omhandlende tro og værdier.

### 8.3 Logiske positivister, kritikere og termodynamikkens 1. hovedsætning

Termodynamikken 1. hovedsætning vil for logiske positivister være en velbegrundet sætning. Den direkte verifikation, empiri, efterfulgt af logik førte til en sætning. Vil man tale om energiens bevarelse betyder det så blot, at arbejde og varme tilsammen er bevaret, hvilket netop er det, man forstår ved ordet energi.

1. hovedsætning udtaler sig i første omgang ikke om andet end varme og arbejde, men tolker man herudfra at energien er bevaret, kan man bruge falsifikationskravet. Man kan, som det senere er blevet gjort, opstille nye systemer, hvor man kan forestille sig, at energien er bevaret. Dette kan man så forsøge at falsificere, og lykkes det ikke, er teorien frugtbar.

## 8.4 Logiske positivister, kritikere og Maxwells ligninger

De logiske positivister vil til forskel fra mange af deres inspiratorer godtage Maxwells ligninger. De vil opstille dem som aksiomer, hvor grundantagelserne er tid, rum, elektriske og magnetiske felter. Grundantagelserne er, som tidligere nævnt, verificeret som en speciel klasse af erfaringer. Udfra disse vil man kunne beskrive radiobølger, idet alle andre variable blot er afledninger af grundantagelserne.

Elektromagnetiske bølger vil så blot være koblingen mellem elektriske og magnetiske felter, altså et afledt fænomen. Da Maxwell tog udgangspunkt i fire verificerbare love, og brugte logik, vil de synes, at der intet overraskende er i erkendelsesfasen. Det er jo blot nye sammenhænge mellem gammelkendte størrelser.

Udfra Poppers falsifikationskrav er Maxwells ligninger et eksempel på særdeles god videnskab. Teorien forudsiger helt nye fænomener, altså en chance for at falsificere teorien. Men teorien består prøven, og dermed er den god videnskab.

## 8.5 Grundlaget for de logiske positivister

Det 20. århundrede har frembragt mange nye teorier, indefor alle de videnskabelige fag. Dette har rystet mange af de veletablerede filosofiske retninger. Den teknologiske udvikling er også gået stærkt og har ændret grænserne for, hvad der er erfaringsbaseret viden.

<sup>1</sup> Idéhistorien, s.378

<sup>2</sup> Viden, Videnskab og Virkelighed, s.20

<sup>3</sup> Vestens filosofi, Bertrand Russell, s.718

<sup>4</sup> Vestens filosofi, s.721

<sup>5</sup> Naturvidenskabens Teori, s.112

<sup>6</sup> Rudolf Carnap, Filosofi og logisk syntaks(1934), uddrag i Viden, videnskab og virkelighed, s.20

<sup>7</sup> Superfluous entities, or Occam's razor. s.11-15

<sup>8</sup> R.Carnap, uddrag af filosofi og syntaks, i Viden, Videnskab og Virkelighed, s.23

<sup>9</sup> Viden, Videnskab, Virkelighed, s.37

<sup>10</sup> Viden, videnskab, Virkelighed, s.13

<sup>11</sup> Uddrag fra gisninger og gendrivelsler af K.Popper i Viden, Videnskab og Virkelighed, s.40

<sup>12</sup> Mærk Verden, s.73

<sup>13</sup> The Emperors New Mind, s.108

<sup>14</sup> The Emperors New Mind, s.426

<sup>15</sup> Mærk verdenen, s.74

<sup>16</sup> Filosofiens univers, s.61

# Afslutning

Vi har nu gennemgået forskellige filosofiske grundholdninger, fra Antikken og helt frem til vore dage. I dette kapitel vil vi lave en grov kategorisering af de forskellige filosofier. Diskussionen imellem vores udvalgte filosoffer har taget forskellige retninger op igennem historien, og de implicerede har indført nye begreber. Men som vi har forsøgt at vise med vores historiske gennemgang, er dette kun overflade. Diskussionen kan ledes tilbage til det samme hovedspørgsmål: "Er der en idé bag det hele?".

Efter kategoriseringen, vil vi beskrive nogle karakteristika ved de to hovedgrupper og deres indbyrdes diskussion.

## 9.1 Realister

Den ene hovedkategori kan man kalde realister, idet de tillægger idéer realisme. I denne kategori finder vi Platon, Aristoteles, middelalder-realister, rationalister og romantikere. Disse vil alle tillægge idéer en selvstændig eksistens men forsøger at vise det ad forskellige veje, da de har forskellige motiver. Platon troede, at vores verden var en afspejling af en idéverden, mens Aquinas og Anselm forsøgte at vise, at Gud står bag alt. Descartes sætter det menneskelige intellekt før sanserne og argumenterer for, at dette er vejen til de evige sandheder som f.eks matematik. De ledte alle efter en evig sandhed bag naturen, en sandhed som eksisterer uafhængigt af mennesket.

Kant (idealist i 1700-tallet) indfører som noget nyt begrebet syntetisk a priori viden, som dækker over den viden, vi er i stand til at tilegne os om verden forud for erfaring. I virkeligheden er det netop denne form for viden, realisterne har troet muligt op igennem filosofihistorien, men de formulerede det ikke så klart.

I 1800-tallet tog romantikerne en drejning i forhold til renæssancen. Man mente nu, at idéerne boede i naturen i stedet for i en særskilt verden. Samtidig ændrede man også på sine kriterier for videnskabeligt arbejde. Nu skulle man arbejde ud fra empiriske iagttagelser og derfra tænke sig til ånden i naturen. Den store tænker (videnskabsmanden) ses her som forbindelsesleddet mellem ånd og natur, idet han er i stand til at se sammenhængen.

Alle realisterne tror på, at der er idéer bag alting, og at der findes sandheder forud for erfaring. De mener derfor, at intellektet er det vigtigste, idet det kun er med dette, vi kan erkende, at der eksisterer bagvedliggende idéer. For realisterne er matematikken en del af den idéverden, der eksisterer uafhængigt af menneskers bevidsthed (intellekt), og vi kan derfor kun "opdage" den ved



brug af intellektet.

## 9.2 Anti-realister

Den anden hovedkategori af filosoffer kan man kalde anti-realister, der betragter vores omgivende verden som det eneste virkelige. Til denne gruppe regner vi nominalister, empirister, positivister og logiske positivister. Allerede i middelalderen kom der med nominalismen en kritik af realismen. Denne blev først rigtig stærk i renæssancen, hvor Locke formulerede nogle stærke argumenter imod rationel videnskab. Alligevel fortsatte den rationelle videnskab sine fremskridt med indførelse af nye størrelser, som i begyndelsen hverken var sanselige eller målelige.

Som en reaktion på dette opstår positivismen. Positivisterne gør matematik til empiri og stiller krav om, at man udelukkende skal opskrive det positivt målelige. Derfra må man inducere sig til generelle sammenhænge. Dette er et problem, da man aldrig kan kende alle oplysninger. Hvad skal man vægte højest: teori eller empiri for at drive "god" videnskab. Positivisterne mener empiri. Den realistiske videnskab klarer sig dog og arbejder videre med opfundne størrelser, men i 1900-tallet kommer anti-realisterne med et nyt og mere omfattende program: den logiske positivisme. Dette indfører verifikationsprincippet udfra den holdning, at alle videnskabelige opdagelser først er meningsfulde, idet de kan verificeres. Denne filosofiske retning havde stor udbredelse også inden for andre fag end fysikken, og betragtes idag stadig som en god arbejdsmetode.

Alle anti-realister mener, at erfaringer kommer forud for intellekt. Derfor er erfaringer den primære kilde til erkendelse.

## 9.3 Sammenligning

Vi står altså med to hovedretninger. Alle realisterne før det 20'ende århundrede mener, at mennesket har syntetisk a priori viden. Anti-realisterne mener derimod, at det eneste, vi kan sige om verdenen, er erfaringsbaseret viden. Men her viser der sig et interessant paradoks. Skal man modbevise, at vi har syntetisk a priori viden, har man netop brug for syntetisk a priori viden. Dette kan illustreres ved et eksempel;

De logiske positivister stillede kravet, at "alle meningsfulde påstande skal kunne verificeres". Dette må naturligvis også gælde påstanden selv. Man kan jo enten verificere analytisk eller udfra erfaring. Da sætningen ikke kan verificeres udfra erfaring må den altså være en tautologi. Dermed påstår man, at ordet mening netop betyder verifikation. Dette vil mange naturligvis være uenige i.

Skal rationalisterne derimod vise, at mennesker har syntetisk a priori viden, er man også nødt til at gøre brug af syntetisk a priori viden. Hvordan skal man ellers kunne argumentere for sin

påstand, idet den hverken er tautologisk eller angående erfaring. Dermed har vi et kommunikationsproblem mellem de to lejre. Den ene lejr (realisterne) bliver nødt til at bevise a priori viden udfra a priori viden, mens den anden lejr (anti-realisterne) ikke mener, at man kan bevise noget tautologisk. Omvendt ønsker anti-realisterne ikke at bevise noget vha. sproget, men vil kun kigge på virkeligheden, derfor kan realisterne ikke diskutere med dem. Man kan altid modbevise opponentens argumenter udfra sit eget grundlag, da der viser sig store problemer med overførslen mellem virkelighed og sprog, og da sproget altid kan pilles fra hinanden.

Men samtidig er sproget vores vigtigste kommunikationsmiddel, og vi ser altså, at vores problem også er et problem mellem sprog og virkelighed.

Diskussionen kan også henføres til problemet mellem intellekt og sanser. Realisterne mener, at intellektet kommer før erfaringerne, mens anti-realisterne mener, at det er omvendt.

I vores gennemgang har man kunnet mærke en tendens til, at en realistisk filosofi altid efterfølges af en anti-realistisk og vice versa.

I begyndelsen af dette århundrede var der en stærk antirealistisk retning, de logiske positivister. Deres æra er måske ovre, og vi er på vej ind i en ny "realismetid".

Man kan på baggrund af vores historiske gennemgang måske synes, at det er absurd at diskutere spørgsmålene: matematik; opfundet eller opdaget, sprog og virkelighed, sanser eller intellekt, syntetiske a priori viden eller ikke, idet de virker umulige at svare på. Men alene denne påstand er allerede en form for stillingtagen, som der kan sættes lige så stort spørgsmålstejn ved.

Ser vi tilbage på vores problemformulering, må vi konkludere, at den er uafklaret. Ingen kan svare på, om matematikken i fysikken er opdaget eller opfundet. Det har vist sig, at det er en trossag, hvilket dog også er en interessant pointe. Vores opgave har derfor (som nævnt i indledningen) ikke været at løse problemet, men derimod at sætte konkrete eksempler på filosofernes ofte luftige snak.

Som vist gennem hele projektet er diskussionen ikke ny, selv om den har fået nye argumenter og større viden. Vi vil derfor slutte med et citat fra Antikken om forholdet mellem intellekt og sanser.

---

*“Men vores forargede sanser svarer: “Stakkels intellekt. Du får dine vidnesbyrd fra os og du prøver at styrte os? Din sejer er i sandhed dit nederlag””<sup>2</sup>*

*Demokrit*

---

<sup>1</sup> Hans Hahn, s.1

<sup>2</sup> Mind and The New Physics, s.4

---

# Litteraturliste

A Treatise on electricity and magnetism, af James Clerk Maxwell, Dover Publications Inc. New York, 1954.

De Europæiske idéers Historie, af Erik Lund, Mogens Pihl og Johannes Sløk, Gyldendal. København, 1962.

Den Europæiske Filosifis Historie, bd.1, af Karsten Friis Johansen, Nyt Nordisk Forlag. København, 1991.

Den Naturvidenskabelige revolution, af H. Butterfield, Rosenkilde og Bagger. København 1991.

Filosofiens Univers, af Henrik Bandak, C. A. Reitzel. København, 1962.

Foundations of electromagnetic theory third edition, af John R. Reitz, Frederick J Milford og Robert Christy, Addison-Wesley publishing company. Reading, 1979.

Fysik 2 1. bølger, af Bent Elbek, Københavns universitets fysikstudie. København, 1992.

Hvem tænkte Hvad, af Henrik Thomsen, Politikens Forlag. København, 1971.

Idé Historiske Tekster, samlet af Jørgen Carlsen m.fl., Gyldendal.

Mærk Verden, af Tor Nørretranders, Gyldendal. København, 1991.

Naturvidenskabernes teori, af Helge Kragh og Stig Andur Pedersen, Nyt nordisk forlag. København, 1991.

Idéhistorie, af Svend Erik Stybe, Munksgaard. København, 1978.

Om fysik 1, af Jens Højgaard Jensen og Søren Kjørup, Reitzel. København, 1983.

Philosophy & Mathematics, af Freeman, Cooper and company. San Francisco, 1973.

Philosophical foundations of physics, af Rudolf Carnap, basicbooks inc. London, 1966.

---

Physics, second edition, expanded, af Hans C. Ohanian, W. W. Norton & Company. New York, 1989.

Salmonsens leksikon tidsskrift, redigeret af Folmer Pedersen og Mikal Rode, J H Schultz. København, 1943-57.

Superfluous entities og Occam's Razor fra tekstsamlingen Empiricism, logic, and mathematics, H. Hahn, D. Reidel publishing Company. Wien, 1980.

The Feynman Lectures on physics, af Richard P. Feynman, Addison-Wesley Publishing company. Californien, 1964.

The Discovery of the Conservation of Energy, af Yehuda Elkana, Harvard University Press. Cambridge, 1975.

The Emperor's New Mind, af Roger Penrose, Oxford university Press. Oxford, 1989.

The experience of Science, af Martin Goldstein og Inge Goldstein, Plenum Press. New York, 1984.

The Power of Mathematics, af Moshe Flato, McGraw-Hill inc. New York, 1992.

Ud over matematikken, af Ole Skovsmose, Systime. Herning, 1990.

Verdens Kulturhistorie, bd.28, af W & A Durant, Hassing.

Vestens filosofi, af Bertrand Russell, Munksgaard forlag. København, 1933.

Viden, videnskab og Virkelighed, af Karin-Ann Madsen og Rita Werner, Gyldendal.

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

- 227/92 "Computersimulering og fysik"  
af: Per M.Hansen, Steffen Holm,  
Peter Maibom, Mads K. Dall Petersen,  
Pernille Postgaard, Thomas B.Schröder,  
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 alternativt basseret  
på andenordens kybernetik og semiotik.  
af: Søren Brier
- 
- 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 "RATMODELLEN" 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
- 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 isærdeles 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 Andreassen
- 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
-

- 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 Brovedligholdelse - 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 og dens anvendelse i CT-scanning  
Projektrapport  
af: Trine Andreassen, 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, IMPUFA
- 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 Andreassen and Ebbe Thue Poulsen
- 252/93 MODELLERING AF TILFÆLDIGE FÆNOMENER  
Projektrapport af: Birthe Friis, Lisbeth Helmgaaard 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 UAFBÆNGIGHED  
af: Peter Barremoës
- 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, Jørnik Rasmussen, Christina Specht, Mikko Østergård  
Vejleder: Tage Christensen
- 258/93 Supplerende kursusmateriale til "Lineære strukturer fra algebra og analyse"  
af: Mogens Brun Beesfelt
- 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

- 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 Vejre  
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek
- 277/94 PROJEKTARBEJDSPEDAGOGIK - 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 Cardiovasculære System med  
Neural Puls kontrol  
Projektrapport udarbejdet af:  
Stefan Frello, Runa Ulsø Johansen,  
Michael Poul Curt Hansen, Klaus Dahl Jensen  
Vejleder: Viggo Andreasen
- 282/94 Parallele algoritmer  
af: Erwin Dan Nielsen, Jan Danielsen,  
Niels Bo Johansen



- 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!  
Gymnasie matematikkens begrundelsesproblem  
En specialrapport 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