

## **Physics revealed the methods and subject matter of physics**

part III: physics in philosophical context

Sørensen, Bent

*Publication date:*  
2001

*Document Version*  
Publisher's PDF, also known as Version of record

*Citation for published version (APA):*  
Sørensen, B. (2001). *Physics revealed the methods and subject matter of physics: part III: physics in philosophical context*. Roskilde Universitet. Tekster fra IMFUFA No. 392  
<http://milne.ruc.dk/ImfufaTekster/pdf/392.pdf>

### **General rights**

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain.
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal.

### **Take down policy**

If you believe that this document breaches copyright please contact [rucforsk@kb.dk](mailto:rucforsk@kb.dk) providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

**TEKST NR 392**

**2001**

Bent Sørensen

# **PHYSICS REVEALED**

**THE METHODS AND SUBJECT MATTER  
OF PHYSICS**

**an introduction to pedestrians  
(but not excluding cyclists)**

**PART III:  
PHYSICS IN PHILOSOPHICAL CONTEXT**

JANUARY 2001

**TEKSTER**  
**IMFUFA**

fra Institut 2

**ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER**

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

PRIS: 39.50  
PHYSICS REAVEALE



9 789673 810523  
23.01.2001

ROSKILDE UNIVERSITY, P O BOX 260, DK-4000 ROSKILDE, DENMARK  
INSTITUTE OF STUDIES IN MATHEMATICS AND PHYSICS, AND THEIR FUNCTIONS  
IN EDUCATION, RESEARCH AND APPLICATIONS  
TEL: +45 4674 2000, FAX: +45 4674 3020, WEBSITE: <http://mmf.ruc.dk/energy>

JANUARY 2001

PHYSICS REVEALED: The methods and subject matter of physics, an introduction to pedestrians  
(but not excluding cyclists). PART III: PHYSICS IN PHILOSOPHICAL CONTEXT

© all rights reserved: 1989; 2001 Bent Sørensen ([novator@danbbs.dk](mailto:novator@danbbs.dk))

this text may be downloaded from <http://mmf.ruc.dk/~boson/fysikE>

printing history:

-as *BLEGDAMSVEJ 17 - et essay om fysik og virkelighed*. Nysyn serien, Munksgaard,  
Copenhagen 1989

-this version: part 3 of the material for the course FYSIK E, spring 2001

Note: the present version of part III is in Danish

IMFUFA text 392, 72 pages

ISSN 0106 6242

---

### Abstract:

This is part 3 of 3, serving as reading material for the a course called Physics E. The course addresses students not aiming at becoming physicists (although some do after all!), as part of the two-year curriculum for the Natural Science base years of the Bachelor and Master's studies at Roskilde University. Part 3 covers the recent history of physics, with emphasis on the period 1960-1990, and puts the presentation in a context of philosophy of science as well as of the sociology of physics in modern society.

Adjoining materials:

Part 1: Physics in society, deals with the place physics occupies in society

Part 2: Physics proper, deals with the subject matter of physics, but ordered according to applications, rather than the conventional textbook ordering in a progressive way based upon mathematical prerequisites and historical order of discovery.

Contents of Part III (in Danish):

Introduction

1. The 60ies

2. The 70ies

3. The 80ies

Winding up

References

Bent Sørensen

# **PHYSICS REVEALED**

## **THE METHODS AND SUBJECT MATTER OF PHYSICS**

**an introduction to pedestrians  
(but not excluding cyclists)**

### **PART III: PHYSICS IN PHILOSOPHICAL CONTEXT**

JANUARY 2001

## PREFACE

This material grew out of a series of lectures held at Roskilde University since 1982. It has been somewhat updated for the 2001 lectures, but many of the issues used to illustrate physics are unchanged from the 1983 version, reflecting a belief that the most recent illustrations are not always the most instructive ones.

The course using this material is primarily aimed at first (two) year's natural science students not aiming at specialising in physics (although some do after all). It is, however, very different from the available textbooks for such courses, which generally try to make these people "small" ordinary physicists by presenting them a simplified version of "real" physics textbooks.

My treatment does not present a simplified version of physics. All the complexity is there, but it is not what the student is supposed to master. The student has achieved the purpose of the course if he or she at the end knows the breathtaking depth of the subject matter of physics and has a feeling for the kind of methods employed by physicists. In addition to this, the position of science in current society is presented for debate, and is placed in a historical and philosophical context.

Dyson once said: The difference between a text without problems and a text with problems is like the difference between learning to read a language and learning to speak it (Dyson, 1981). I shall invite the reader to join in two kinds of exercises. One I call "problems" and the other "discussion issues". Both are found at the end of each chapter. The problems may be solved using physical theory at some level. Some may be answered from everyday experience, but in such cases a physical reasoning should be sought. In many of the problems, the sharpening of the formulation into a well-defined set of questions is 90% of the solution. Such detailed formulations will be given for selected problems, but remember that it is only in textbooks that these precise problem formulations exist. In real life, problems are mostly diffuse and open-ended. Here is one to start you off: Read the short love story from my book *Superstrings* (Sørensen, 1987), which you can find on my web page

<http://home9.inet.tele.dk/novator/Bent/SSTkap45.htm>  
and discuss what it has to do with relativity theory [at the moment, the story is only in Danish].

The other participation part consists of bringing up society-related issues connected to the text in each chapter. They may be discussed in groups or with yourself as the discussion partner. They may lead you anywhere, and there are no correct or false conclusions. I hope the reader will think of further discussion topics. People insisting that they see no problem in entrusting quantitative evaluations of scientific issues to politicians or some other decision-makers may of course skip these problems!

Gilleleje 2001, Bent Sørensen

PHYSICS REVEALED: The methods and subject matter of physics,  
an introduction to pedestrians (but not excluding cyclists).

## CONTENTS

Preface	4
---------	---

### Contents of Part I (physics in society)

#### [IMFUFA Text 129bis]:

1. Introduction to physics	6
2. Physics and technology	12
3. Physics and society	24
4. Physics and war	30
5. Physics and women	39
6. Physics and education	43
Interlude 1: Suppose you are going to work in the knowledge industry	51
Interlude 2: Suppose you just need to relax a moment with a poem	63
References	67

### Contents of Part II (physics proper)

#### [available as IMFUFA Text March 2001]

7. Models in physics (models defining the subdivision of physics)	
8. The structure of matter (theories of quantum behaviour, fields, particles)	
9. The universe (astrophysics, relativity and matter theories)	
10. Our surroundings (the Earth and its atmosphere, geo- and biological systems)	
11. Military applications (stone throwers, lenses, fission and fusion bombs)	
12. Energy applications (wind turbines, photovoltaic and electrochemical cells,...)	
13. Microelectronic applications (transistors, integrated circuits, nano-technology)	

### Contents of Part III (physics in philosophical context):

#### [This volume: IMFUFA Text 392, in Danish only]

Introduktion	6
14. 60erne	8
<i>Draminsky og den andalusiske evighedsmaskine, EPR, Aspect, Bohm og Bell, Niels Bohrs selvbiografi, Fra Los Alamos til Dubna, Sartre, Parentesen og observatoriet på Øster Voldgade, Blomsterbørnernes parade</i>	
15. 70erne	32
<i>Alt hænger sammen - alle hænger sammen, Atomkraft, energi, miljø Samfundsrelevans, Atomvåbnene igen!, U-landenes mareridt, Begynd forfra (ikke gladere, men klogere?)</i>	
16. 80erne	45
<i>Kaos i naturen, Kaos i det strømlinede samfund, Paradigmer til husbehov, Fysikere som TV-underholdning</i>	
Afrunding	65
Litteratur og noter	69

## INTRODUCTION

---

### INDLEDNING

---

Den historie om fysikken, som her fortælles, tager udgangspunkt i nogle personlige oplevelser, der er udvalgt udfra deres egnethed til at belyse en række temaer fra det sidste halve århundredes videnskabsdebat. Mit ærinde er at belyse de markante skift i videnskabssyn, der er sket indenfor denne periode. Det handler om en udvikling i videnskabens arbejdsmetode, begrebsdannelser og selvforståelse. Det er nærmest en definitionssag at sige, at videnskaben søger at beskrive og forstå virkeligheden. Men samtidig arbejder videnskaben udfra en bestemt forestilling om, hvad virkeligheden er for en størrelse. Det underliggende syn på virkeligheden ændrer sig med tiden, og præger dermed hvilken slags videnskab der dyrkes, og hvordan tingene gribes an. Videnskaben er til stadighed "på sporet af virkeligheden".

Flere af de episoder, som danner optakten til hvert afsnits diskussion af en eller flere sider af fysikkens virkelighedsopfattelse, kredser om en bestemt lokalitet: Blegdamsvej 17. På denne adresse på Østerbro i København fandtes Niels Bohr Institutet, som ikke kun mens Niels Bohr levede, men bestemt også sidenhen har dannet rammen om en overordentlig levende diskussion af såvel klassiske problemstillinger som nytilkomne. I dag er navnet Niels Bohr Institutet hæftet på en række instituter indenfor forskellige grene af fysikken, inklusiv geofysik og lignende. Disse instituter er spredt ud over København, og har naturligvis ikke samme atmosfære eller videnskabssyn som det, der kendetegnede det gamle Niels Bohr Institut. Dér blev ny, flyvske ideer præsenteret under uformelle seminarer, flere år før deres vigtighed blev alment anerkendt. Personligt tænker jeg med varme følelser tilbage på de mange inspirationer, som jeg fra studenterårene og fremad har hentet på Blegdamsvej 17, og jeg ønsker at mine læsere skal vende og dreje mine fortolkninger med samme uhøjtidelige mangel på respekt, som hvis jeg havde fremført dem i det gamle Niels Bohr Instituts frokostkantine. God læselyst!

Jeg har inddelt materialet efter de tre årtier fra 1960 til 1990, fordi det var her, jeg blev introduceret til diskussionen af de forskellige emner. Imidlertid rører mange af debatterne ved hele fysikkens historie og i hvertfald i særdeleshed det 20. århundredes, så de er ikke præcis bundet til det årstal jeg har hæftet på dem (iøvrigt på samme måde som i Günther Grass' fortællinger om det 20. århundrede; Grass, 1999). Der røres ved mange videnskabsteoretiske problemstillinger, men jeg har valgt ikke at give en formel introduktion til hverken filosofi eller videnskabsteori. I det første tilfælde kan henvises til den populære *Sofies valg* (Gaarder, 1991), og i det andet tilfælde den velskrevne *What is this thing called Science* (Chalmers, 1978).

Det er min overbevisning at filosofi som fag er ude i en alvorlig krise: Oplysningstiden så filosofi som det overbliksgivende fag, som samlede de enkelte videnskabsgrenes

landvindinger til en samlet helhedssyn på menneskets omgivelser og livssituation. Filosoferne mistede denne rolle i det 20. århundrede, fordi en dyb forståelse af specialvidenskaberne ikke længere var mulig for en "generalist", og det er naturligvis ikke muligt for filosofen at skabe overblik over videnskaber som han eller hun kun forstår overfladisk. Derfor har filosofer siden kastet sig over en række andre opgaver (eksempelvis case studies og videnskabssociologi) med vekslende held. Fremtrædende blandt disse er videnskabsfilosofien, som søger at forstå videnskabens metoder og arbejdsform. Popper tog udgangspunkt i naturvidenskabs-forskernes forestilling om "bekræftelse" af en teori ved gentagen fiasko i forsøg på at falsificere teorien, mens Kuhn tog udgangspunkt i videnskabsfolkenes arbejdsform, som han så som baseret på et sociologisk paradigmebegreb. Begge retninger har fat i vigtige delasppekter af videnskaben, men indfanger langt fra helheden i videnskabssynet og arbejdsprocessen. De seneste årtier har ikke føjet nogen vægtige aspekter til den filosofiske behandling af videnskaberne, og det er sandsynligt, at hvis der kommer et nyt gennembrud, så opstår det i hvertfald næppe blandt filosofer, fordi de trods alt er for langt fra hvor gryden koger. Mere sandsynligt vil det være bredt orienterede fagfolk, der tilføjer nye aspekter til forståelse af den filosofiske overbygning til de videnskabelige discipliner (eller grundlag, som man nu vil). Dette vil være i forlængelse af den indsats, som er gjort af folk som Bohr, Heisenberg, Einstein og Dyson. Litteraturlisten giver forslag vil videre læsning ad disse linjer.



## CHAPTER 14 [kapitelnummerering for hele værket]

---

### 60erne

---

#### DRAMINSKY OG DEN ANDALUSISKE EVIGHEDSMASKINE

Niels Bohr Institutet består af en 7-8 bygninger af forskellig størrelse. Flere af dem er sammenbyggede, og til trods for at de enkelte etagers loftshøjder og placering af etageadskillelser er vidt forskellige, så er det flere steder muligt at gå fra en bygning ind i den næste. Et par trapper op eller ned, og man befinder sig i et rum med en anden arkitektur. Det kræver naturligvis et indgående kendskab til konstruktionen at finde rundt: En etage op for at komme fra C- til D-bygningen, dernæst to etager ned og omkring et hjørne. Resultat: rummet der støder op til det oprindelige.

Der er imidlertid mere end den tilfældige forbispadserende på Blegdamsvej ser. Under de fleste bygninger befinder der sig kælderrum med eksperimentelle laboratorier, og en sindrigt system af gange og korridorer forbinder de forskellige underjordiske afdelinger. Den avancerede medarbejder ved, at det ofte er den hurtigste vej mellem bygningerne at benytte sig af disse kælderkorridorer. Et par trapper ned, hurtige skridt gennem to retvinklede korridorer, op igen og rundt fører fra A-bygningen til barakken over cyklotron-laboratoriet. Flere af Niels Bohr Institutets bygninger er "midlertidige" barakker, som bare er blevet stående i 30, 40, 50 år. Kantinen, der idag ligger i F-bygningen, nås om sommeren lettest ved at skrå over græsplænen (der oprindelig hørte til en villa som blev inkorporeret i bygningskomplekset), men om vinteren dykkes ned i kældergangene, på tværs gennem Van de Graaff laboratoriet, en dør der ligner alle de andre kontordøre, og op i F-bygningens kælder. Når Van de Graaff generatoren er i brug, bør man ikke falde i snak undervejs i korridoren under cykelkældereren, da der under uheldige omstændigheder kan forekomme radioaktiv stråling.

Som specialestudent havde jeg i 1963 fået tildelt kontorplads i S-bygningen. Jeg delte kontor med en gæsteforsker fra Japan, Toshio Marumori, som jeg snakkede godt med sidst på ugen. Mandag talte han ikke engelsk, for som han forklarede, var engelsk og japansk to "ortogonale" sprog, ihvertfald for ham. De kunne ikke begge rummes i hovedet samtidig. Efter en weekend med familien var alt det engelske blæst ud, og først i løbet af ugen kom det gradvist tilbage.

Niels Bohr var død året før, men institutet blev videreført i hans ånd, med sønnen Aage Bohr som bestyrer. Dette indebar en stærk vægt på internationalt samarbejde og åbenhed for forskere fra alle lande, uanset jerntæpper og lignende uvidenskabelighed. Familien Bohr udviste også åbenhed overfor nye tanker på mange andre områder. Niels Bohr havde taget en personlig interesse i praktisk talt alt, som skete på institutet. Ingen videnskabelig medarbejder udgav sit arbejde uden at Niels Bohr havde gennemlæst det, foreslået utallige rettelser og omsider givet sin anbefaling. Aage Bohr udviste en

lignende varm interesse for det videnskabelige arbejdes kvalitet, men var ikke bange for at uddelegere ansvar til institutets videnskabelige stab. Det centrale var for begge en dyb interesse for såvel yngre som ældre medarbejderes udvikling og velfærd, såvel fagligt som personligt. Den demokratiske holdning, som jeg lærte at kende i perioden under Aage Bohrs ledelse, gav en frihed som på overfladen var total. Imidlertid gjorde Bohrs personlige udstråling, at det forekom utænkeligt ikke at følge hans råd. Hans medleven i hver enkelt medarbejders forskning gjorde, at de jævnlige samtaler på hans kontor blev rettesnore for det videre arbejde. Hans suveræne færdigheder i "overslagsberegninger" gjorde, at han ved disse samtaler altid syntes at kende facit. Han glædede sig, når den unge medarbejders resultater stemte overens med hans overslag, og mente at der måtte være noget galt hvis de ikke gjorde - og som oftest med rette.

Jeg nævner disse egenskaber, der må have været til stede i endnu højere grad i Niels Bohrs tid, fordi de forklarer, hvorfor det i praksis var personen Bohr, som afgjorde hvad der var god forskning og hvad der var dårlig forskning - og det uden at der var tale om nogen enevældig magtudøvelse i sædvanlig forstand. Det er klart, at Bohr udøvede denne retningsgivende funktion med størst kraft på de områder, hvor han selv var mest hjemmevant, dvs. indenfor den teoretiske kernefysik, mens områder som faststoffysik, højenergifysik og hele den eksperimentelle fysik i højere grad selv måtte finde sine veje.

Som student iagttog man dette spil om definitionen af god og dårlig fysik, glædede sig når ens eget arbejde blev genstand for Bohrs opmærksomhed og kommentarer, og forstod et vink hvis et forslag blev forbigået i tavshed. Videnskabelighed er i høj grad et spørgsmål om en skarpslebet kritisk sans. Alle kan få gode ideer, men at sortere de uholdbare fra kræver en kritisk indsats.

Kritiken blev på Niels Bohr Institutet udøvet under former, som slog en nytilkommen student med forundring. Den blev ofte leveret uden formildende høflighedsfraser, uden at nogen tilsyneladende lyttede færdig til hinandens argumenter, og ganske uden hensyn til spilleregler som den med ikke at tale i munden på hinanden. Et par gange om ugen blev ny forskningsresultater fremlagt i et såkaldt kollokvium, hvor kun forskere med lang erfaring i at genvinde ordet havde held til at fremlægge deres resultater som planlagt. Som regel blev taleren afbrudt efter et par sætninger, med spørgsmål fra tilhørerne som satte spørgsmålstejn ved samtlige grundlæggende antagelser og anvendte metoder, eller som fremsatte hypoteser om foredragets konklusioner, underforstået at hvis det allerede nu var lykkedes tilhøreren at gætte resultatet, så var der vel ingen grund til at høre resten af foredraget!

Specialist i at bringe udefra kommende foredragsholdere, som ikke kendte disse spilleregler, fra koncepterne, var Gerry Brown, en fornøjelig professor ved det Nordiske Institut for Atomfysik, som var blevet installeret i et hjørne af Niels Bohr Institutet. Gerry kom altid brasende ind midt i kollokvierne, hvor han allerede i døråbningen afbrød foredragsholderen med et spørgsmål. Den forvirring, som dette normalt hensatte foredragsholderen i, satte Gerry Brown i stand til hurtigt at lade øjnene glide over tavlen for at få lidt idé om foredragets emne, hvorefter han kastede sig ud i et nogen

gange mere, andre gange mindre, vellykket forsøg på at skitsere en sammenhæng mellem hans oprindelige spørgsmål og dagens emne. Dette var naturligvis en bevidst provokation, men den havde samme formål som de andre afbrydelser af foredragsholdere, nemlig at afprøve om taleren besad et så dybtgående overblik over sit emne, og en så klar forståelse af sin egen tese og argumenterne for den, at selv en kraftig provokation ikke kunne røkke derved. Ofte førte denne debatform til, at de centrale problemer straks kom frem i lyset, så en relevant diskussion kunne udspænde sig, men under alle omstændigheder betød det, at kun de som allerede var inde i emnet, kunne deltage i kalaset. Nogen introduktion til ny emner gav Niels Bohr Institutets seminarer ikke, og det var op til den enkelte at udfylde gabet mellem elementære forelæsninger og forskningens fronter, f.eks. ved ihærdig læsning af videnskabelige tidsskrifter.

Den specielle kritik-form gav ikke mange chancer for folk udenfor miljøet, og den har givetvis også haft den funktion at frasortere de mere spekulative ideer, på godt og ondt. Problemet er, at udenforstående næppe altid kunne se Niels Bohr Institutets måde at afgrænse god fysik på som fyldestgørende. Et eksempel herpå er Per Draminsky, en ingeniør som mente at have fundet (og rettet) en fejl i Einsteins generelle relativitetsteori.

Efter lidt tovtrækkeri fik Draminsky lov til at placere en maskinskrevet kopi af sin afhandling på tidskrifthylden i institutets bibliotek. De videnskabelige medarbejderes skæve smil antydede overfor os studenter, at her måske forelå noget spændende, så flere af os læste faktisk Draminskys afhandling.

Einsteins relativitetsteori beskriver den grundlæggende idé, at vi kan vælge mellem at beskrive masse-ansamlingers opførsel enten ved at antage at der virker tyngdekrafter mellem dem, eller ved at tillægge rum og tid passende krumninger. Rummet og tiden bliver i det sidste tilfælde mere end en baggrund, på hvilken stoffet bevæger sig under indflydelse af usynlige kræfter. Rum og tid bliver en del af virkeligheden, som kan påvirkes af det stof som bevæger sig gennem rum-tiden.

Draminsky går istedet ud fra et special-tilfælde, nemlig krumningen af rum og tid omkring en isoleret masse (f.eks. en stjerne). I dette tilfælde lykkedes det tidligt Schwarzschild at finde en løsning til Einsteins ligninger. Det er denne løsning, som Draminsky synes er grim, fordi nogle led er kvadratiske (dvs. et bestemt udtryk ganget med sig selv) mens andre ikke er det. Draminsky foreslår at gøre alle led kvadratiske, og udleder den form, som relativitetsteoriens grundligninger skulle have for at give denne form på løsningen i det specielle tilfælde.

Draminskys afhandling (Draminsky, 1964) er velskrevet, og han undersøger hvilken virkning hans modificerede teori har på de situationer, hvori den generelle relativitetsteori på det tidspunkt havde været konfronteret med målte størrelser. Det drejer sig om tyngdefeltets indvirkning på rødforskydningen af lys fra fjerne himmellegemer, afbøjningen af lys der passerer tæt forbi en masseansamling (f.eks. solen), og endelig

en ændring af planeternes bane som benævnes periheldrejningen. Indenfor måleusikkerheden stemmer Draminsky's teori ligeså godt overens med eksperimenterne som Einstein's relativitetsteori.

Hvad skal man nu mene om dette? Grunden til at det ikke er eksperimentelt muligt at skelne mellem de to teorier, er at relativitetsteorien fulde ansigt kun viser sig under omstændigheder der er sjældne i vores del af universet. Idag synes de sorte huller at åbne muligheder for en dybtgående eftervisning af relativitetsteorien, men de effekter som man kendte i 1960'erne var små korrektioner til størrelser, som i det store og hele var godt bestemt af den klassiske fysik. Forskellen mellem Einsteins og Draminskys relativitetsteorier er små forskelle ("2. ordens led") mellem de i sig selv små korrektioner til den klassiske fysiks udsagn. Derfor kunne eksperimenterne ikke fastslå, hvem der havde ret.

Tilbage står teoretiske argumenter om konsistens, sammenhæng, almengyldighed og forklaringskraft. Og her ligger grunden til, at professionelle fysikere straks afviste Draminskys ideer. Einsteins generelle relativitetsteori bygger på det ovenfor nævnte almene princip om ækvivalensen mellem kræfter og krumninger, og på rummets og tidens relativitet (altså at der ikke findes noget absolut koordinatsystem eller tidsmål som er bedre end alle andre). Draminskys tager udgangspunkt i et specialtilfælde, og hans slutresultat opfylder ikke fuldtud relativitetsprincippet. Selvom Draminskys teori indenfor sine egne opstillede rammer er konsistent og sammenhængende, så er den altså ikke almengyldig (fordi udgangspunktet var "pænheden" i et specialtilfælde), og den har ikke den forklaringskraft, som Einstein's har i kraft af at bygge på et alment princip, der kan generaliseres fra tyngdekraften til andre kræfter (som det bl.a. fornylig er sket med superstrengteorien; se Sørensen, 1987).

Om en ordentlig dialog mellem Niels Bohr Institutets teoretikere og Per Draminsky ville have afklaret problemerne, ved jeg ikke, men givet er det, at frustrationen hos den afviste kan afføde alvorlige psykiske problemer. I Draminsky's tilfælde spores stadig animositet når talen falder på relativitetsteori, men Draminsky har ydet værdifulde bidrag på andre områder og synes at have styret uden om den "hængen fast" i en tabt sag, som i andre lignende tilfælde har formørket den forsmåede persons videre liv.

Det skal også siges, at universitetsforskere hvert år modtager adskillige henvendelser fra folk, som mener at have gjort store opdagelser eller opfindelser, men som er så meget på afveje eller så skøre, at det ikke er umagen værd at indlade sig i en dialog med dem. En af de mest farverige af slagsen var en spansk (vistnok andalusisk) opfinder, som en dag troppede op på mit kontor sammen med sin "assistent" - en letpåkædt kvinde hvis opgave det var at indskyde jublende lyde og hænder klappen hver gang mesteren havde yttret sig. "Opfindelsen" var en sædvanlig evighedsmaskine i strid med termodynamikkens 2. lov, altså hvor der udføres mekanisk arbejde ved alene at tage varme fra et reservoir af lavere temperatur og aflevere det andetsteds ved en højere temperatur.

Den tilsyneladende modstrid ligger i den barske kritik, som fysikerne giver hinanden ved enhver lejlighed, sammenholdt med den til tider arrogante afvisning af kritik fra "udenforstående". Heri ligger dels en forståelig modvilje mod at bruge tid på at forklare sig overfor iøjnefaldende tåbeligheder, men også en risiko for at afvise ideer som kan vise sig frugtbare. Den interne kritik foregår jo netop indenfor rammerne af nogle fundamentale sandheder, som alle er overbeviste om rigtigheden af. En gang imellem må der også sættes spørgsmålstegn ved de fundamentale "sandheder", og det er ikke givet at inspirationen hertil ikke kan komme "udefra". Faktist befandt Einstein sig jo udenfor de etablerede fysikinstitutioner, da han som ansat på et patentkontor udtænkte den specielle relativitetsteori i 1905. Men den slags spørgsmålstegn var ikke velsete i 1960'erne!

#### EPR, ASPECT, BOHM OG BELL

*Der er naturlige forklaringer på alting - problemet er at de ikke altid passer!*  
(Carsten Overskov i TV-programmet Crash)

En af Niels Bohr Institutets mest inspirerende skikkelser var belgieren Léon Rosenfeld. I en tid hvor de fleste fordybede sig i stadig mere specialiserede emner, var det en særlig stor oplevelse at møde Rosenfelds bredtfavnende viden, der spændte fra kunst og filosofi til politik og samfundsforhold. Hans udtryksmåde var munter og på overfladen forsigtig, men indholdet var skarpt og gennemtænkt. Det var netop med Rosenfeld som medarbejder, at Niels Bohr i 1935 havde udarbejdet svaret på Einsteins ultimative angreb på kvantemekanikken, EPR paradokset (offentliggjort af Einstein, Podolsky og Rosen i Physical Review 1935).

Svaret er temmelig uklart og afspejler Bohrs vanskelighed ved at udtrykke sig skriftligt. Niels Bohr tænkte og formulerede sig verbalt, altså i talesprog. Når argumenterne skulle skrives ned, mistede de som oftest den overbevisende kraft, som Bohr gerne ville have formidlet. Disse forhold er næppe så mærkelige, når man tager i Bohr's arbejdsform i betragtning: Han udarbejdede sine afhandlinger i samtaleform, med udvalgte samtalepartnere (her altså Rosenfeld), til hvem han normalt også dikterede de forskellige udkast til skriftlige arbejder. Denne form blev udviklet til en avanceret dialog (på Bohrs præmisser), men i og med at mundtlig og skriftlig formidling er to vidt forskellige ting, så er det også næsten indlysende, at de skriftlige udmøntninger af samtalerne ofte lod meget tilbage at ønske.

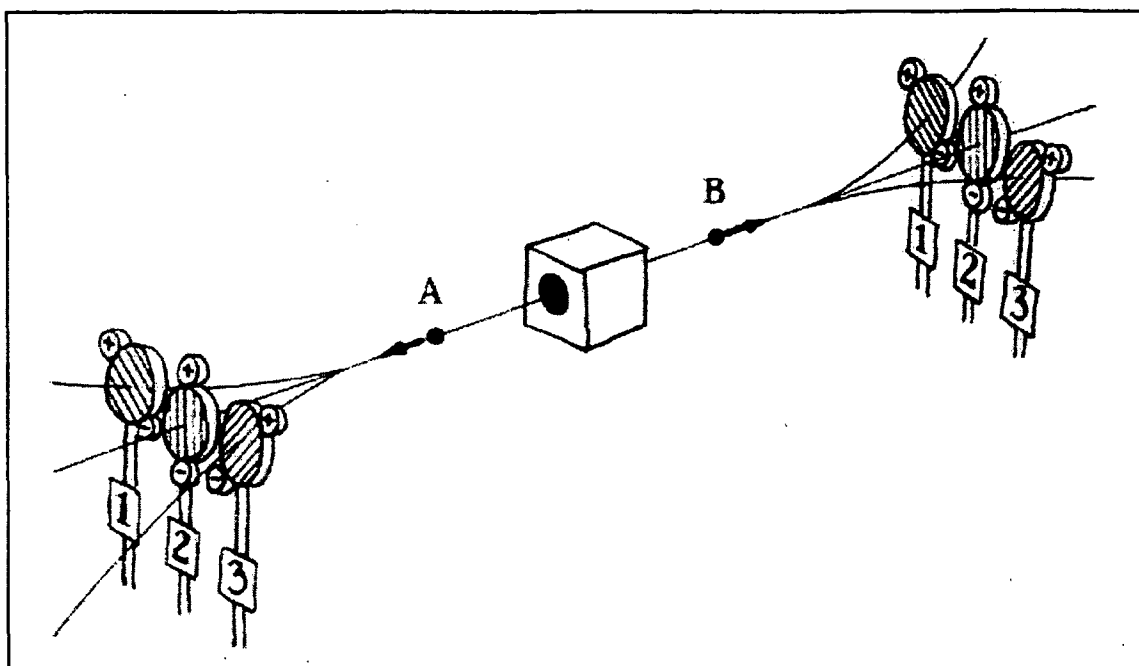
Allerede i Bohrs tidligere dialoger med Einstein (ved Solway konferencerne i 1927 og 1930; se Bohr, 1957; Rosenfeld, 1963) forekom argumenter som var egnede til frokostdebatter men ikke står sig på tryk. F. eks. benyttede Bohr i 1930 den generelle relativitetsteori som hovedargument for, at kvantemekanikkens ubestemthedsrelationer var opfyldt i det af Einstein foreslåede lyskasse-tankeeksperiment (Rosenfeld, 1963). Selvom det tilfældigvis gav det rigtige resultat i det givne tilfælde, så er dette en principielt forkert argumentationslinje, fordi kvantemekanikken som den forelå i 1930 var en urelativistisk teori, dvs. en teori som ikke opfyldte den specielle relati-

vitetsteori's krav og som derfor kun kunne være gyldig ved små hastigheder. Kvantemekanikken kan derfor ikke umiddelbart bruges på en kasse med lys, selvom man kendte en metode som tillod at inddrage de elektromagnetiske vekselvirkninger for en elektron.

Einstein burde derfor have valgt et eksempel der omhandlede partikler med hastigheder langt under lyset, og Bohr burde ikke have sammenblandet kvantemekanik og relativitetsteori i et tilfælde hvor de ikke begge er gyldige. Med held kunne man dog bruge lidt fra den ene teori og lidt fra den anden, og komme til et fornuftigt resultat, og det var netop hvad Bohr gjorde. Dette fremhæver den pointe, at Bohr's væsentlige talent var *fysisk intuition*. Han valgte den rigtige balancegang men havde svært ved at argumentere herfor på skrift, fordi flere af de brikker, som kunne have understøttet hans intuitive fornemmelse, ikke forefandtes i 1930!

Samme sag gentager sig i 1935, hvor Bohr instinktivt ved at Einstein har uret, men ikke formår at argumentere herfor på overbevisende måde (Bohr, 1935). Det drejer sig netop om den mest fantastiske konsekvens af kvantemekanikkens brud med den klassiske fysiks forestillinger, så det forekommer rimeligt at dvæle et øjeblik ved Einstein's tankeeksperiment, som senere er omformet af Bohm og Bell (Bohm, 1951) og af Aspect (1982). Einstein så på de to komplementære størrelser sted og impuls (bevægelsesmængde), Bohm og Bell på to andre komplementære størrelser, nemlig elektroners spin langs forskellige retninger, og Aspect så på fotoners (lyspartiklers) polarisation i forskellige retninger. Aspect og hans medarbejdere var i 1982 de første som gennemførte en overbevisende eksperimentel undersøgelse af problemet - og udfaldet var til Bohr's fordel og imod Einstein's forhåbninger. De forskellige versioner af tankeeksperimentet, som nu er blevet et rigtigt eksperiment, er ifølge vor nuværende viden om kvanteteorien ækvivalente, i og med at de afprøver samme træk ved kvanteteorien og den Bohr'ske fortolkning af den (kaldt "Københavnfortolkningen"). Historien spænder således fra 1935 til 1982, men for mig vækker den først og fremmest minder om tressernes diskussioner på Niels Bohr Institutet, med Léon Rosenfeld i centrum.

Figur 14.1 viser skematisk opstillingen i Aspects forsøg. I kassen i midten frembringes et par af partikler med modsatrettet spin. Alment kan dette sikres ved at tage udgangspunkt i et system som ikke har den pågældende egenskab (her spin eller polarisation), og betragte situationer hvor systemet splitter op i to delsystemer, som ifølge deres natur *skal* have den betragtede egenskab. Elektroner skal have et spin, og fotoner en polarisation (polarisation er et udtryk for retningen af spinnets drejning langs bevægelsesretningen). Der betragtes nu situationer, hvor den samlede egenskab ikke kan ændres, altså hvor netto spinnets forbliver nul, som det var før systemet delte sig. Da den ene partikel har et fra nul forskelligt spin i én bestemt retning, så må den anden have et ligeså stort spin i præcis den modsatte retning. Det kan være op/ned, højre/venstre eller modsatte skrå retninger. Jeg vil betegne den ene orientering langs en given retning som "+"-tilstanden, og den modsatte som "-"-tilstanden.



Figur 14.1. Aspects forsøg. Et par af partikler med modsatte egenskaber (+ og -) dannes i kassen midt i billedet og bevæger sig ud til hver sin side. For hver af dem kan Aspect vælge, hvilket af de tre måleapparater partiklen skal gå igennem, og hermed vælge, i hvilken retning egenskaben skal måles.

De to partikler, som vi kan kalde A og B, flyver nu ud af kassen i hver sin retning, og møder længere fremme nogle måleapparater, som kan måle om partiklen befinder sig i "+" eller "-" tilstanden langs en given retning. I Aspect's forsøg måles så partiklernes polarisation. I Figur 14.1 er det muligt at måle i tre forskellige retninger (op/ned og drejet 60 eller 240 grader til en af siderne), og partiklerne kan vælges styret ind mod hvilkensomhelst af de tre måleapparater. Dvs. at det kan vælges at måle efter samme retning på partiklerne A og B, eller det kan arrangeres sådan at måleretningen udvælges helt tilfældigt, efter at partiklerne har forladt kassen i midten.

Resultatet af eksperimentet er i det tilfælde, hvor A og B måleapparaterne måler i samme retning, at hvis partikel A findes i tilstanden "+", så findes partikel B i "-", og omvendt. I det tilfælde, hvor der måles i vilkårlige retninger, så findes kombinationerne "+-", "-+", "++" og "--" at optræde helt tilfældigt, sådan at der f.eks. i gennemsnit over et passende stort antal målinger findes lige mange tilfælde hvor de to partikler er i modsatte tilstande, som tilfælde hvor de er i samme tilstand.

Nu siger Einstein i EPR artiklen, at i og med, at vi i det tilfælde hvor der måles i samme retning med sikkerhed kan fastlægge partikel B's tilstand ved bare at måle A's (hvis A's tilstand er "+" så må B's være "-" og omvendt), så er partikel B i en bestemt tilstand, uanset om vi vælger at måle på den. B må altså hele tiden have kunnet karakteriseres ved den givne værdi + eller - (af spinnet langs den valgte retning).

Dette er i modstrid med kvantemekanikken, som beskriver systemets tilstand, fra det

øjeblik de to partikler sendes ud af kassen, ved en matematisk størrelse kaldt bølgefunktionen, som indeholder to led: et hvor den første partikel er i tilstanden + og den anden i -, og et hvor den første er i - og den anden i +. Karakteriserer vi bølgefunktionen ved den valgte retning (svarende til betegnelserne 1,2 eller 3 på skiltene i Figur 1) og en kantet parentes, der indeholder først partikel A's tilstand og så partikel B's, så kan den samlede system-bølgefunktion skrives

$$f = f_1[+-] - f_1[-+],$$

i det tilfælde hvor måleretning 1 er valgt\*. Vælges en af de andre retninger, fås helt samme udtryk, blot med indeks 2 eller 3 på funktionerne  $f$  i de to led. Dvs. at ifølge kvantemekanikken beskrives systemet ved en bølgefunktion, som indeholder begge muligheder (+ og -) for partikel B's tilstand, så længe der ikke er foretaget nogen måling. Først ved vekselvirkningen med måleapparatet ændres bølgefunktionen: Efter at målingen på partikel A har vist "+", så ved vi, at ovenstående bølgefunktion er ændret på en sådan måde at det andet led (der har "-" for partikel A) ikke længere kan forekomme. Lad os tænke os, at måleapparatet ved A er nærmere kassen end det ved B (Figur 14.2). Måleapparatet ved A har altså i det valgte eksempel ændret bølgefunktionen til

$$f = f_1[+-],$$

og en måling på partikel B kan nu kun give svaret "+". Ifølge Einstein er dette en "spøgelsesagtig vekselvirkning over afstand", idet målingen på partikel A jo faktisk har ændret partikel B's bølgefunktion - og det selvom B kunne være mange tusinde kilometer væk fra A.

Einstein's synspunkt er videreført af David Bohm (1952), som siger at hver partikel hele tiden må bære på et "instruktionssæt", som siger hvad den skal svare, hvis den møder et måleapparat der tvinger den til at opgive sit spin langs en hvilken som helst retning. For eksperimentet med de tre mulige retninger (Figur 14.1), skal hver af de to partikler altså vide hvad de skal gøre i hvert af de tre tilfælde. Et sådant inskruktionssæt kunne se sådan ud:

For partikel A	For partikel B
retning 1: +	retning 1: -
retning 2: -	retning 2: +
retning 3: +	retning 3: -

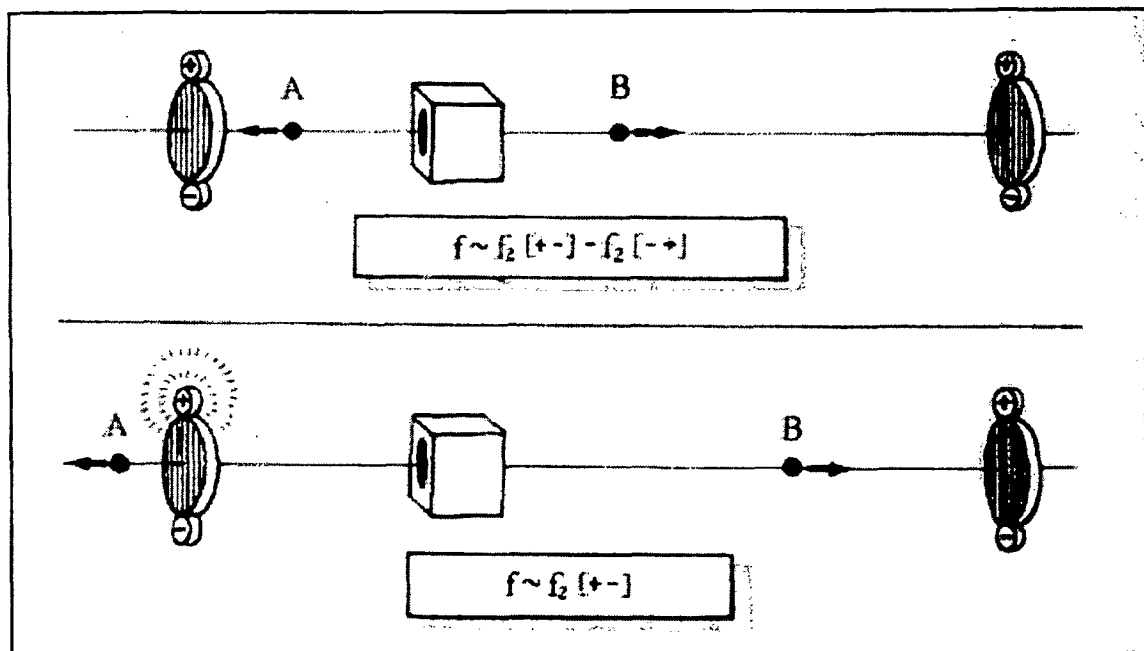
Instruktionerne er vilkårligt valgt for A, mens de for B er bestemt i overensstemmelse med kvanteteorien, altså modsat A's. Bohm troede, at ideen om tilstedeværelsen af et sådant underliggende instruktionssæt (ofte kaldt "skjulte variable") i princippet kunne opretholdes uden at komme i modstrid med kvantemekanikken. Der var blot tale om

---

\* Minustegnet mellem de to led optræder for elektroner, mens der skal stå "plus" for fotoner. Dette fortegn har ingen betydning for diskussionen her.



et dybere lag af teori, som ville bedre forståelsen uden at ødelægge kvantemekanikkens uomtvistelige evne til at forudsige udfaldet af konkrete eksperimenter.



Figur 14.2. En version af Aspect's forsøg, hvor der er længere til de måleapparater, som kan måle på partiklen B, end til dem der måler på A. Nederst meddeler måleapparatet til venstre, at det har målt egenskaben "+" hos A, og vi ved dermed, at B har egenskaben "-" uden at have målt på partiklen B (det led i bølgefunktionen  $f$ , som har "-" for A's egenskab, kan ikke længere forekomme; se teksten).

I 1965 viste Bell imidlertid (se Bohm, 1951), at den blotte antagelse af et underliggende instruktionssæt var i modstrid med kvantemekanikken, og ville få konsekvenser som kunne afprøves eksperimentelt, nemlig ved i forsøget i Figur 14.1 at se på det tilfælde (Heisenberg, 1960), hvor retningerne langs hvilke der måles på partiklerne A og B bliver valgt helt tilfældigt. For hver af de ni mulige kombinationer af retningsvalg giver antagelsen om et instruktionssæt en klar besked om eksperimentets mulige udfald. For eksempel giver det instruktionssæt, som er beskrevet ovenfor, følgende udfald:

De to måleretninger	A- og B-målingernes udfald
1,1	+
1,2	+
1,3	+
2,1	-
2,2	-
2,3	-
3,1	+
3,2	+
3,3	+

Vi ser at målingerne giver modsat fortegn i 5 ud af 9 tilfælde. Samme resultat får vi for alle mulige andre valg af forskriften, undtagen de, hvor partikel A ender op i samme tilstand uanset hvilken retning der vælges (og hvor B så i alle tilfælde skal være -, hvis A var +, og omvendt). Her får vi altså 9 ud af 9 tilfælde med modsat fortegn. Sammenfattende har vi nu bevist Bell's ulighed, som siger at antallet af tilfælde (ud af en række gentagelser af forsøget, som er stort nok til, at det har mening at dyrke statistik på resultatet.), hvor dette forsøg finder partiklerne A og B med modsatrettede spin, er over  $5/9$ , såfremt der findes en underliggende instruktion med den af Bohm foreslåede karakter.

Bell's ulighed er i direkte modstrid med kvantemekanikken, der (som det er redegjort for ovenfor) siger at spinnene vil være modsatrettede i præcis halvdelen af tilfældene, fordi denne fordeling er nedfældet i systemets bølgefunktion  $f$ . Aspect fandt da også, at Bell's ulighed ikke holdt i eksperimenterne, men at kvantemekanikkens udsagn er gyldigt med den præcision som eksperimentet var i stand til at give (dvs. at Bell's værdi  $5/9$  lå langt udenfor forsøgsusikkerheden).

Når Bell's ulighed ikke holder, så betyder det at forudsætningen for den er forkert, altså at der ikke kan forefindes noget underliggende instruktionssæt, som fortæller partiklerne hvad de skal gøre i enhver forekommende situation.

Derimod er kvantemekanikken en præcis (matematisk) forskrift for, hvordan vi kan beregne bølgefunktionens udvikling, hvis vi kender den til en bestemt tid. Men alligevel afskærer kvanteteorien os altså principielt fra entydigt at kunne forudsige resultatet af fremtidige målinger. Komplementariteten gør at der findes størrelser som ikke samtidig kan have bestemte værdier, altså at måler vi den ene af to komplementære størrelser, så mister vi kendskab til den anden, og forsøger vi derefter alligevel at måle den anden, så forstyrres den første og har altså ikke længere den værdi som vi tidligere målte.

Kvantemekanikken gør det hermed umuligt for os at forudbestemme fremtiden, hvilket nok ikke er så tosset, men den gør det altså på en så elegant måde, at den samtidig bevarer sin stringente matematiske entydighed. Det sker ved at der mellem teorien og virkeligheden indskydes et "fortolkningslag", som afgrænser det antal spørgsmål, som det har mening samtidig at kræve svar på. Kvantemekanikken lærer os, at det ikke er alle spørgsmål som vi kan få svar på, men på den anden side fortæller den os, hvordan vi kan få præcise svar på alle de spørgsmål om virkeligheden, som det indenfor dens begrebsramme har mening at stille.

Situationen i Aspect eksperimentet (med forskellig afstand til de to måleapparater, Figur 14.2), er at vores viden om systemet er forskellig før og efter målingen af A's spin eller polarisation. Den tilsyneladende vekselvirkning over afstand, som sker når systemets bølgefunktion (og dermed vores beskrivelse af partikel B) ændres ved målingen på partikel A, har altså sit udsping i den kendsgerning at der aldrig har været tale om to adskilte systemer A og B. De to partikler er korrelerede, og korrelationen

bevares selvom de efterhånden kommer langs væk fra hinanden. Målingen på A griber ind i systemets bølgefunktion, men er ikke istand til at ødelægge korrelationen mellem partiklerne (for det ville kræve en håndfast vekselvirkning over afstand!). Resultatet er, at vi efter A-målingen har en bedre viden om B's tilstand, nemlig at B befinder sig i en bestemt af de to mulige, korrelerede tilstande "+" og "-", hvor vi før kun vidste, at der var lige stor sandsynlighed for at den var en den ene og i den anden.



*Figur 14.3. C. Møller med hustru til fest i de studerendes forening "Parentesen" (ca. 1960). Til højre Nancy Mottelson (fra Parentesens fotoarkiv).*

Som Rosenfeld udtrykte det, så er denne opførsel en direkte følge af kvanteteoriens grundlag: det som Bohr kaldte komplementaritet og som Heisenberg nedfældede i sine ubestemthedsrelationer. Derfor har det ingen mening at forkaste følgevirkningerne af kvantemekanikken, hvis man ikke har noget bedre end komplementaritetsprincippet at sætte i fundamentet. Havde vi kunne fortælle Rosenfeld om udfaldet af Aspect's forsøg, ville han have sagt "ja, naturligvis", og ville nok have glædet sig over forsøgets pædagogiske kvaliteter. Som en anden af mine lærere, Christian Møller, ofte fremhævede, så må en eventuel efterfølger til kvanteteorien nødvendigvis stemme overens med kvantemekanikken indenfor dennes vidtstrakte gyldighedsområde, og skulle man gisne om arten af en sådan ny teori, så er det helt usandsynligt, at den skulle vende tilbage til tidligere tiders begrebsverden. Snarere vil der blive tale om et endnu større indgreb i vores forestillingsverden end de indgreb, som komplementaritetsbegrebet indebærer og som Einstein og Bohm havde så svært ved at forlige sig med (Møller, 1972).

Niels Bohr's filosofi kan beskrives som det videnskabssyn, der gjorde det naturligt for ham at akceptere at elektroner og fotoner ikke skulle forstås som partikler *eller* bølger, men at *både* partikel- og bølgebeskrivelsen er nødvendige for en så fuldstændig beskrivelse af fænomenerne som det er muligt at give. Komplementære størrelser er redskaberne til forståelse af de ny atomare fænomener, som ikke kunne forklares i den klassiske fysiks sprog. Den person som klarest har identificeret Bohr's filosofiske ballast er netop Léon Rosenfeld (1963). Han ser Bohr's grundsyn som primært formet af et enkelt forbillede: licentiaten i Poul Martin Møllers *En dansk students eventyr*. Omend Bohr også læser Kierkegaard og konfronteres med en række danske filosoffer, så er det licentiatens dilemmaer, som giver Bohr indgangen til den filosofiske grundholdning, der på tværs af tidens sædvane sætter ham i stand til at "løse" atomernes gåde ved en række "kvantepostulater", og at forklare kvantesystemernes opførsel ved hjælp af komplementaritetetsbegrebet, som Bohr aldrig gav nogen formel definition på, men som han aldrig selv var i tvivl om, hvordan man skulle anvende.

Således gjorde Bohr intuitionen til et anstændigt redskab i videnskaben. Intuitionen vandt over Einstein's og Bohm's og Bell's og Aspect's krav om rationalitet og realisme. Komplementariteten, der kun lader sig begribe intuitivt, som en helhed, havde ingen plads i det gamle videnskabssyn. Einstein kaldte komplementariteten et brud med realismen, altså med det virkelige, men Bohr påstod jo netop ikke, at månen ikke var der når vi ikke kikkede: Komplementaritetsprincippet er realisme på et højere plan, hvor virkeligheden på én gang er der, og alligevel smutter mellem fingrene, når vi forsøger at gribe om den!

## NIELS BOHR'S SELVBIOGRAFI

Mange store fysikere har skrevet om deres eget liv, f.eks. Einstein og Heisenberg. Hvorfor skrev Niels Bohr aldrig en selvbiografi? Var det fordi han havde så svært ved at udtrykke sig skriftligt? Næppe, for han skrev jo utrætteligt om mange andre ting. Det er så meget mere ærgerligt, at vi ikke har Bohr's bidrag, som der findes en række uafklarede episoder - ikke mindst i forbindelse med atombombeprojektet under 2. Verdenskrig, som de andre parter har givet deres versioner af, men hvor troværdigheden er under mistanke.

Lad mig fremdrage et meget omdiskuteret eksempel af denne skuffe, nemlig den samtale, som Bohr og Heisenberg havde i København i efteråret 1941. Heisenberg's version, som findes i et brev til videnskabsjournalisten Robert Jungk (1956) og igen i Heisenberg's selvbiografi (1969) angiver at formålet med at opsøge Bohr var at lufte den tanke, at atomforskere på begge sider i krigen måske kunne enes om at forhale atombombeprojektet, så ingen bomber blev færdige så længe krigen varede. Dette formål nåede han dog ifølge sin beretning aldrig at fortælle Bohr, fordi Heisenberg's første bemærkninger om bombeprojektet (som var bevidst vagt formulerede fordi Heisenberg mente at de to blev overvåget af Gestapo) blev misforstået af Bohr, der ifølge

Heisenberg's beretning fortolkede dem som en meddelelse om at tyskerne var langt fremme med bombeprojektet.

Ifølge journalisten Ruth Moore (1966), som interviewede Niels Bohr til sin bog om ham, fortalte Bohr straks om indholdet af sin samtale med Heisenberg, til sin familie og til Stefan Rozental. Sønnen Aage Bohr fortæller om begivenheden (i mindebogen om Niels Bohr; Bohr, 1964), at Heisenberg mente at atombomben kunne afgøre krigen, ifald den trak ud. Bemærkelsesværdig er en fodnote, hvor Aage Bohr frasiger Robert Jungk's version af historien, og i særdeleshed at Heisenberg skulle have forelagt Bohr et forslag om en aftale mellem fysikerne om at sinke udviklingen af atombomben, "ethvert grundlag i de faktiske begivenheder". For det første er Jungk's version jo ordret Heisenbergs, og for det andet skriver disse jo begge, at Heisenberg aldrig nåede så vidt som til at bringe et sådant forslag på bane.

Rozental giver ikke nye oplysninger om samtalen i 1941, men oplyser (1985), at Heisenberg efter krigen skulle have afvist, at fysikerne kunne have drøftet at sinke atombombeprojektet, for det ville jo have været landsforrædderi og kunne have fået dem alle hængt! Alligevel er det altså Heisenberg selv, som har luftet denne fortolkning i sin erindringsbog "Del og Helhed".

Det er klart, at der er noget galt med Heisenberg's erindringer og hans brev til Jungk, som ligger til grund for dennes beretning. Heisenberg hævder ikke at huske samtalen ret godt, og alle hans udsagn om den er formuleret i vendinger som "Samtalen kan have begyndt med at jeg sagde..." og "her kan jeg have svaret noget i retning af...". Ingen andre afsnit af Heisenberg's erindringer er formuleret på denne måde. Samtaler længere tilbage i tiden, såvel som andre samtaler fra samme tidsperiode som den med Bohr, er alle formuleret i klare citater af typen "jeg sagde sådan og sådan".

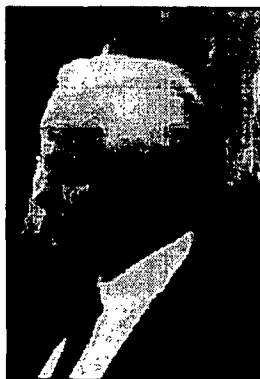


*Figur 14.4. Werner Heisenberg, ca. 1965*

Man må altså dels slutte, at Aage Bohr ikke selv havde læst Jungk's bog fra 1956 ("Stærkere end tusind sole"), men har fået den forkert refereret, og dels at Niels Bohr's version af historien, fortalt til familien, har været væsentlig forskellig fra Heisenbergs, omend det altså ikke afsløres præcist hvordan.

Mit gæt har i mange år været, at Heisenberg snarere forsøgte at fritte Bohr for oplysninger om, hvor langt de Allierede var med deres atombombeprojekt, eller måske endog søgte Bohr's råd på områder, hvor tyskerne var gået istå med deres atomprojekt (som også antydtes af Wilhelm Christmas-Møller; 1985). Niels Bohr's ophidsede reaktion såvel i 1941, som da de to mødtes igen efter krigen (Heisenberg, 1969), er hermed let at forstå, men også Bohr's uvilje mod at fortælle hvad der virkelig skete falder på plads, når man betænker, hvor stor vægt han lagde på de store fysikers renommé i historiebøgerne. Heisenberg er sammen med Bohr kvanteteoriens vigtigste ophavsmand, og Bohr kan simpelthen have villet undgå at sætte en meget alvorlig plet på Heisenbergs rygte, ved at undlade at videregive alle detaljerne i den famøse samtale, og i konsekvens heraf ved ikke at skrive sine egne erindringer, som næppe kunne have forbigået denne vigtige episode. Aage Bohr og Stefan Rozental respekterer naturligvis dette ønske om tavshed.

Stærk støtte til min opfattelse af samtalsens mulige forløb er fornylig kommet fra den fysiker, C. F. von Weizsäcker, der sammen med Heisenberg stod for det tyske atombombeprojekt. Weizsäcker fortæller i sin seneste bog (1988), at han gennem den sovjetiske fysiker Jefgenij Feinberg har fået Bohrs version af samtalen i 1941, fortalt til Feinberg under Bohr's besøg i Moskva i 1950'erne (hvilke omstændigheder, der her skulle have formået Bohr til at bryde sin tavshed kàn vi kun gisne om). Weizsäcker var selv i København i 1941, men deltog ikke i samtalen med Bohr. Til gengæld husker han, at Heisenberg i denne periode skal have sagt, at Europa ville lide mindre under tysk herredømme end under russisk, og at Heisenberg - der ved krigens start troede at Hitler ville tabe - i 1941 anså det for sandsynligt at Hitler ville vinde. Feinberg fortalte at Heisenberg hin efterårsdag i 1941 skulle have forsøgt at overtale Bohr til at samarbejde med tyskerne, i første omgang med den tyske besættelsesmagt i Danmark, og Bohr havde fortalt Feinberg, at det var hans opfattelse at Heisenberg ville bevæge ham til konkret medvirken i det tyske atombombeprojekt.



*Figur 14.5. C. von Weizsäcker, 1985 (foto Bent Sørensen)*

At Bohr afslog al videre drøftelse ved vi. Også at han intet røbede om de Allieredes bombeprojekt, og at hans bekymring over det tyske atombombeprojekts mulige fremgang blev videregivet til de Allierede.

Tilbage står ønsket om at holde hånden over Heisenberg, for så vidt angår det historiske kildemateriale. Det forekommer af mange træk klart<sup>\*</sup>, at Bohr lagde overordentlig stor vægt på de store videnskabsmænds fremtræden i verdenshistorien, og ganske plausibelt, at han så et problem i at den netop for hans hjertensbarn - kvanteteorien - så centrale person Werner Heisenberg skulle fremstå for eftertiden som "nazist-kollaboratøren der også bidrog med matriks-mekanikken og ubestemtheds-relationerne". Hvis dette var Bohr's bevæggrund for at tilbageholde oplysninger der kunne belaste Heisenberg, så er jeg imidlertid uenig med ham.

I mine øjne er det ikke sundt at sætte de fysikere, som er heldige og dygtige nok til at bibringe naturforståelsen vigtige landvindinger, op på en piedestal som en slags overmennesker. Tværtimod ser jeg det som nyttigt og rigtigt at fremhæve, at de "store fysikere" også er ganske almindelige mennesker, der somme tider kludrer i det og foretager sig moralsk angribelige ting. At angsten for represalier fik mange tyskere til under krigen at opføre sig mere Hitler-vernlige end de bagefter vil indrømme, er forståeligt. At Heisenberg ikke var noget overmenneske på dette punkt, finder jeg er vigtigt at få med i billedet af ham. Uanset hvor gode motiver vi måtte have for at retouchere portrætterne til brug for historiebøgerne, så er det forkert at ville forsøge noget sådant - det er at bevæge sig ind på et skråplan, som i sidste ende ikke er til at skelne fra f.eks. Stalin-tidens forsøg på historieforfalskning.

Selv har jeg kun en enkelt gang oplevet Werner Heisenberg forelæse, men i gymnasietiden slugte jeg hans bøger, hvori han argumenterer for sin filosofiske position: at problemerne ved at fatte komplementariteten har at gøre med vor tænknings grundlæggende binding til dagligsproget.

## FRA LOS ALAMOS TIL DUBNA

Lufthavnen i Albuquerque, New Mexico, 1968. Sammen med min kone Kirsten og 2 måneder gamle datter Irene, et par kufferter og en kasse bleer bliver jeg proppet ind i et lille Cessna-fly, som snart er på vej ind over Navajo-indianernes territorium. Bestemmelsessted: Los Alamos.

Ingen kan besøge dette laboratorium uden at overvældes af en række følelser. I disse bygninger, eller skurene omkring dem, udviklede et bundt af verdens mest

---

<sup>\*</sup> Bohr's personlige henvendelser til en lang række statsledere, f.eks. i spørgsmålet om atomsamarbejde ("den åbne verden"), viser at han anså sig selv for en historisk person på højeste niveau (en vurdering som det ville ligge mig fjernt at anfægte).

fremragende forskere atombomben, febrilsk arbejdende for at nå resultatet før Hitlers folk. Da bomben var færdig overtog militæret den og slog en streg over den indbyrdes forståelse, som fysikerne mente at have om bombens brug. Hvilken degradering: fysikerne som havde færdedes blandt præsidenter, havde rådgivet dem om vigtigheden af dette kostbare projekt, havde følt at de havde menneskehedens skæbne i deres hænder, de var nu uinteressante. Varen var leveret. Tak, I kan godt gå hjem nu! Hvilket de "rigtige" fysikere gjorde, mange lidt slukørede og som det skulle vise sig med forsinkede anfald af en del skrupler. Enkelte blev i Los Alamos og sørgede for, at ny generationer af atomvåben blev konstruerede, også selvom politisk lobby-virksomhed af og til var nødvendig, for at magthaverne kunne indse fordelene af stadig flere atomvåben.

Jeg havde ikke "clearance" til alle laboratoriet bygninger, men var iøvrigt mest interesseret i at studere fysikernes levevis. Der blev dyrket megen selskabelighed i det isolerede samfund. Alle i Los Alamos kendte hinanden og var knyttet til våbenlaboratoriet eller dets servicefunktioner. Tonen blandt fysikerfamilierne var let, utvungen, af og til lidt overstadig. Der blev spist masser af lasagna og æggefrugter med kødboller (retter som har deres oprindelse i Italien men er blevet perfektionerede i Guds eget rige), men alvorlige emner blev sjældent berørt i konversationen. Den amerikanske livsstil blev fulgt uden svinkeærinder, fjersynet kørte altid i baggrunden, bilerne var kæmpestore og postkasserne vendte deres sprækker ud mod kørebanen.

To år senere besøgte jeg det sovjetiske sidestykke til Los Alamos: Dubna. Chaufføren der skulle hente mig i Moskva var letgenkendelig, idet han bar på Niels Bohr Institutets årlige medarbejderfoto og forsøgte at sammenholde den indrammede, piberygende person på billedets næstsidste række med de passagerer, som myldrede ud af flyet fra København.

Men Dubna havde en helt anden stemning end Los Alamos. Hakkeordenen blandt fysikerne var strengt hierarkisk, og læderpolstringen på dørene til topfolkenes kontorer var meget tyk. Til gengæld bød samtaler med de yngre fysikere på kvaliteter som jeg ikke fandt i Los Alamos. Det begyndte stiltødt med en middagsinvitation (muliggjort af de særlige indkøbsmuligheder, som atomcenteret besad). Krydret mad, der kun kunne skylles ned med vodka. Dengang fandtes sodavand ikke i Sovjetunionen, og vand blev ikke serveret ved festlige lejligheder! Efter nogle runder med stadig flere flasker (og for mit vedkommende stigende utilpashed), besluttede selskabet at gå en tur langs Volga-floden. Nu var formaliteterne overstået, og alle kunne tale frit. Jeg hørte om overgrebene på de etniske mindretal i Sovjetunionen, fik oversat de seneste digte som landets mange undergrundsdigtere spredte på maskinskrevne papirstumper, og først og fremmest hørte jeg om sovjetborgernes lidelser under verdenskrigen og at fred var det vigtigste af alt. Ikke politikernes retoriske tale om fred, men det enkelte menneskes dybtfølte ønske om at ingen nogensinde skal lide under ny krige. Sovjetstyret lavede fejl men blev ikke kritiseret mere end nødvendigt. Det var dog bedre end tilstandene førhen, og selvom de intellektuelle - intelligentsiaen - havde snævre rammer, så erkendte de at systemet var til glæde og fordel for det store flertal



af befolkningen.

Disse varme, menneskelige samtaler om alt fra politik, filosofi og kunst til menneskets skrøbelighed fortsatte de følgende aftener på spadsereturene langs floden (jeg havde da lært at sige nej tak til vodkaen), med skiftende udsnit af institutets fysikere. Mange forskellige klynger vandrede op og ned langs Volga, fik øje på bekendte og slog sig sammen eller delte sig med nye samtalepartnere. Hvor forskellig var stemningen ikke fra Los Alamos, og dog handlede det begge steder om samme slags atomforskning, og fremstillingen af samme slags bomber.

Mit tilhørsforhold til den højt estimerede gruppe af kerneforskere ved Niels Bohr Institutet var en adgangsbillet til et internationalt samfund af forskningsinstitutioner, såvel som til en række af kendte videnskabsfolk og Nobelpristagere, som jeg få år tidligere ville have forsvoret at jeg skulle blive i stand til at snakke indforstået med om fælles interesser.

Det hele begyndte med, at Aage Bohr under min studietid var kommet ind på mit kontor og havde bedt mig fortælle om mit specialearbejde. Han blev straks interesseret og tilbød at være min vejleder. Disse faglige samtaler skulle fortsætte en årrække, men samtidig begyndte Aage Bohr at tage vare på min karriere: da jeg skulle færdiggøre specialeafhandlingen, dumpede et stipendium ind af døren, uden at jeg havde søgt om det, og på sidste eksamensdag blev jeg ansat på det Nordiske Institut for Teoretisk Atomfysik (NORDITA). Før jeg beretter hvordan det gik til må jeg først fortælle om Torben Huus og nøglerne:

Alle specialestuderende fik udleveret en nøgle til institutet, og denne nøgle skulle naturligvis afleveres ved studiernes afslutning, før folk forsvandt ud i gymnasielærerjobs mv. Dette havde formentlig voldt problemer i fortiden, men i 1960erne kørte professor Huus en fast rutine: Han mødte konsekvent op på sidste eksamensdag og forlangte institutnøglen som betingelse for at meddele den stakkels student eksamensresultatet. Også da jeg forlod eksamenslokalet stod Torben Huus klar, men til de omkringstående medstuderendes overraskelse glemte han at bede om mine nøgler. De så spændte på ham, om han ville komme i tanke om forglemmelsen, og Huus på sin side trak tiden ud med nogle omstændige forbemærkninger til min karakter. Endelig sluttede han med at "NORDITA ser iøvrigt gerne, at du går over og underskriver ansættelseskontrakten med det samme".

På tilsvarende måde mærkede jeg Bohr's hånd bag indbydelser til kongres- og institutbesøg de følgende år. For mig var de internationale bekendtskaber og samarbejdsmuligheder en ny og rig verden, der åbnede alle muligheder for en god videnskabelig indsats. Mange venskaber blev knyttet til unge fysikere fra mange dele af verden, og jeg fornemmede historiens vingesus, når jeg kunne sidde og snakke ubesværet med de store forskere, hvis resultater jeg tidlige havde studeret i lærebøgerne.

Rejserne var store oplevelser, både fagligt og menneskeligt, og yderlige værdsat ved mødet med forskere, som af politiske grunde var afskåret fra således at opleve verden. Ved DDR's kerneforskningsinstitut i Rossendorf ved Dresden arbejdede en ung fysiker, hvis kone var det mest billedskønne jeg nogensinde har set, farverne i hendes hud var som Meissner porcelæn. Men han tænkte kun på at komme bort fra DDR, at opleve verden udenfor; han fandt ingen fornøjelse ved sit liv i Dresden, og nogle år efter gik ægteskabet da også i stykker. Stemningen i Rossendorf institutet var godtnok sløv, ikke mindst fordi systemet krævede at fysikerne begyndte at arbejde klokken 7 om morgenen, for at stilles lige med fabriksarbejderne. Ingen kan lave kreativ forskning på den tid af dagen, beklagede den unge fysiker sig, da vi passede Klaus Fuchs' søvngængeragtige skikkelse på vej til seminarrummet. Mange af de østtyske forskere så forresten skævt til den tidligere mesterspion. De billigede ikke hans hjælp til Sovjet med atombomben.



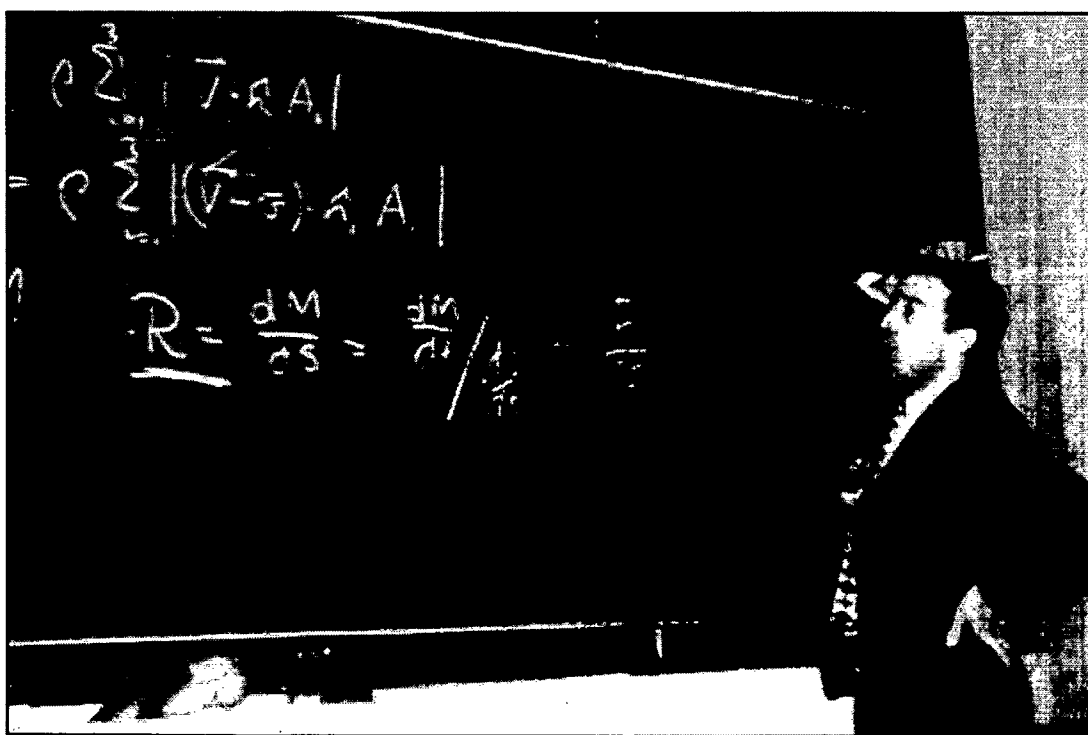
Figur 14.6. Victor Weisskopf, Aage Bohr og Hans Bethe, 1985 (foto Bent Sørensen)

Kernefysik var i 1960'erne stadig forskningens flagskib. Det handlede om at forstå kernernes struktur og de processer, hvori de indgik. Arbejdet var ikke længere knyttet til anvendelser, men ingen af os unge fysikere var upåvirket af fortiden. Vi slugte alle de beretninger om atombeprojektet, som efterhånden blev "deklassificeret", og rystedes over den holdning, som Manhattan-projektets militære leder, General Groves, lagde frem i sin bog *Now it can be told* (1962).

#### SARTRE, PARENTESEN OG OBSERVATORIET PÅ ØSTER VOLDGADE

Sartre dukker op senere. Parentesen stod for kulturen blandt Københavns

naturvidenskabelige studerende. Foreningens rigtige navn er forbogstaverne på samtlige naturvidenskabelige studier ved Københavns Universitet, omsluttet af en parentes. I daglig tale derfor blot kaldt "Parentesen". Parentesen stod for fester, studieture, og tværfaglige foredrag. En af dens mest livlige og inspirerende foredragsholdere var kernefysikeren Ben Mottelson (Figur 14.7), der i 1975 fik Nobelprisen sammen med Aage Bohr for arbejde med kollektive fænomener i atomkernerne - ideer som lå i naturlig forlængelse af Niels Bohr's dråbemodel for en atomkerne. Det er nok ikke helt forkert, at Ben Mottelson og Aage Bohr lige så meget fik Nobelprisen for det formidable arbejde, de havde gjort med at videreføre og udbygge Niels Bohr Institutet som internationalt samlingssted for fysikere uanset hårfarve eller politisk geografi. Her mødtes russere og amerikanere under den kolde krig, og kinesiske forskere ankom uden afbrud af den kulturrevolution, som på mange andre områder isolerede Kina fra den videnskabelige udvikling.



Figur 14.7. Ben Mottelson holder foredrag i Parentesen (ca. 1960; Parentesens arkiv).

Ben Mottelson kunne få ethvert kernefysisk problem til at lyde så spændende og presserende, at Niels Bohr Institutets forskere kastede sig over det. De mange udlændinge fra autoritære lande, hvor man var vant til at professoren valgte og fordelte de problemer, som de yngre forskere skulle beskæftige sig med, hang ved Ben Mottelsons mund for at udnytte hvert guldgrube. Ben Mottelson fulgte imidlertid også hver idé op, støttede dem der arbejdede på ideen undervejs, og gav dem fuld kredit for det hele, hvis der kom noget ud af arbejdet. Praktisk talt enhver kernefysisk publikation fra Niels Bohr Institutet i 1960'erne indeholder et par linjer med "tak til Ben Mottelson for gode/nyttige/afgørende diskussioner".

Det skyldes i høj grad Mottelson, at Niels Bohr Institutet stadig idag fortrinsvist er et kernefysik-institut. Sidst i 1960'erne og i begyndelsen af 1970'erne førtes på institutet en række brede diskussioner om de forskellige fysik-discipliners fremtid. Aage Bohr var varm på at gå over til arbejde med elementarpartikelfysik, og vi var en hel del yngre kernefysikere, som meget gerne ville have fulgt ham. Var det sket, er der næppe tvivl om, at Niels Bohr Institutet idag ville have haft en langt mere central international plads, og højst sandsynligt have været et af de absolut førende instituter i denne fysikkens front-disciplin. Mottelson's synspunkt var imidlertid, at det var kernefysik vi var gode til, og som alle vidste at vi var gode til, og at på dette felt var der også mange ny og spændende problemer, som det ville kræve en stor indsats at løse.



*Figur 14.8. Aage Bohr og hans første hustru Marietta i Parentesen  
(ca. 1960, fra Parentesens billedarkiv)*

Stod Parentesen for kulturen, så stod det lille observatorium på Øster Voldgade for os årgang-1960 studenter for en lige så vigtig del af tilværelsen, nemlig EDB-alderens opkomst. Her stod en af de første danskbyggede GIER-computere, med hele 128 kilobytes centralhukommelse og adgang til verdens dengang mest avancerede computersprog, ALGOL. Som hjælpelærer i astronomi fik jeg snart den aftale med observatoriets bestyrer, at om natten, når de faste medarbejdere ikke brugte computeren, så kunne jeg overtage den. Utallige nætter sad jeg her og forsøgte at få bæstet til at gøre som jeg ville. Problemet var som regel at optimere programmet, så

beregningerne kunne nå at blive færdige før morgenstunden, hvor jeg skulle aflevere maskinen igen. Programmer læstes ind fra hulstrimler, hvilket var kilometerlange papirstrimler der altid endte op i en sammenfiltret dyng på gulvet - ikke altid lige villig til at lade sig rulle op på spolen igen. Forresten har jeg idag en lommeregner til under 1000 kr. med ca. samme kapacitet som GIER (der dengang kostede omkring en halv million kroner). Det er gået stærkt på det felt!

En af fædrene til såvel GIER som ALGOL, Bjarner Svejgaard, var i 1961 min lærer i et fag som vistnok hed "numerisk analyse". Svejgaard var en lun person, som ville forberede os til at benytte og værdsætte GIER, når den snart efter kom. Det skete bl.a. ved at lade os invertere en 7 gange 7 matriks på tidens bordregner: det var monstrum'er på størrelse med en forvoksen skrivemaskine, som egentlig kun kunne lægge sammen og trække fra. Multiplikation skete ved gentagne additioner, som kunne "speedes op" med et håndsving på siden af maskinen. Jeg glemmer aldrig larmen af 15 sådanne maskiner. Vi var to ved hver maskine (for at afløse hinanden ved håndsvinget), og det tog tre timer af invertere matricen!

Senere fik Niels Bohr Institutet sin egen GIER, og jeg flyttede fra det Nordiske Institut til Niels Bohr Institutet (et par trin ned, hen ad to korridorer og fire etager op!).

Sidst i 1960'erne var jeg i Paris for at give nogle kernefysiske foredrag. Om aften havde jeg været i biografen og set en indisk film. Da jeg trådte ud af biografen på Rue de la Harpe, lød der pludselig høje råb, og en gruppe på omkring 30 mennesker kom løbende fra en sidegade. Nogle bar transparenter med billede af Mao, og i første række løb en ældre mand som lignede Sartre. Det var Jean-Paul Sartre! Studenteroprøret var begyndt og dermed en ny tid!

#### BLOMSTERBØRNENES PARADE

*If you are not part of the solution, then you are part of the problem.*  
(Eldridge Cleaver, 1968)

1968: Ungdomsoprøret spredte sig hastigt, fra Berkeley til Paris, Prag og København. En vekselvirkning over afstand: tanker og ideer som havde hobet sig op til bristepunktet over en årrække blev nu pludselig sluppet ud, opmuntret af meddelelsen om begivenhederne andre steder. Men hvert sted havde oprøret sine egne nuancer, bestemt af de tryk som det lokalt følte vigtigt at reagere imod: militære overgreb, racediskrimination, manglende demokrati og ligestilling på arbejdspladser, dårlige boligforhold, manglende medbestemmelse over universitetsstudiernes indhold, for blot at nævne nogle af periodens banner-overskrifter. Mange steder var oprøret i første fase alene et studenteroprør.

Niels Bohr Institutets bestyrer, Aage Bohr, havde længe formået et ønske om et mere direkte demokrati, og han havde på egen hånd gennemført en række af de nyordninger, som senere skulle blive nedfældet i universiteternes ny styrelseslov: Et institutråd var

blevet oprettet, hvor også repræsentanter for de yngste medarbejdere blev inviteret til at deltage, og mange blev spurgt til råds før hver vigtig beslutning. Imidlertid kunne faste regler i nogle tilfælde være et tveægget sværd, som følgende affære viser:

Institutet fik igennem 60ernes vækstautomatik-periode hvert år bevilget en eller to ny, videnskabelige stillinger, men de blev normalt ikke besat men holdt i beredskab "til den rigtige person viste sig". Lovende kandidater fik tilbudt et stipendium eller en anden løs stilling (typisk blev nogle få procent af en årgang anset for egnede til videregående forskning), og som regel kunne disse fornys for et år ad gangen, hvis indehaveren ønskede det. Håbet var at de, som ikke var egnede, selv ville indse det og søge andetsteds hen. Imidlertid var det både Niels Bohr's og senere Aage Bohr's stil at fortsætte med at give de løst ansatte endnu et års mulighed for at kvalificere sig. Disse "yngre" forskere håbede så på, at bestyreren en dag ville komme og tilbyde en af de (ophobede) faste stillinger. Der var eksempler på, at dette først var sket efter mange års forløb.

I 1967 var tre sådanne yngre fysikere gået op til Aage Bohr og havde sagt, at de nu havde forsket i 3 år, og at de gerne ville have klar besked på, om de ville få en fast stilling eller ej. Det var netop dette krav: universiteternes pligt til at give en fastansættelsesbedømmelse senest efter tre år, som i begyndelsen af 1970'erne blev lovfæstet. Bohr havde altid afskyet pres, og hans svar var nej - de tre fysikere måtte forlade institutet. For at demonstrere, at bedømmelsen kunne tage kort eller lang tid, ansatte Bohr kort tid efter demonstrativt dels en (ihærdig men ikke specielt forskningsegnet) fysiker som havde gået i midlertidige stillinger i over 12 år, og dels to unge fysikere (hvoriblandt undertegnede), som ikke engang havde tre års løs ansættelse bag sig.

Jeg følte mig lettere beklemmt ved ikke rigtig at have gjort mig klart, hvor jeg stod i denne sag, men fik ikke tid til at følge problemet op, da jeg umiddelbart efter rejste på et års planlagt gæsteforskerophold ved Lawrence Radiation Laboratory, University of California i Berkeley (og i hast fik orlov fra min ny, faste stilling). Lidet anede jeg, at Berkeley indenfor det år skulle blive centrum for et ungdomsoprør som jeg ville blive nødt til at tage stilling til, og som skulle være med til at forme mine tanker og mit arbejde en lang tid fremover.

Berkeley ligger sammen med Oakland og San Francisco i "The Bay Area", hvor to oprør i 1968 var i fuld gang: I Oakland sloges de Sorte Pantere med politiet. Panternes våben var fortrinsvist revolutionære fraser, men iblandet en vemodige smerte, som udsprang af negrenes undertrykkelse og dårlige kår i USA. Denne kraftfulde poesi blev fremført af Eldridge Cleaver (1968), og den rev med sig en bølge af mod og forhåbning i den sorte befolkning, ivrigt støttet af de hvide studenter ved universitetet i Berkeley. Californiens guvernør, der hed Ronald Reagan, svarede med tåregas og først politi, senere nationalgardister.

Det andet oprør var blomsterbørnenes i San Francisco's Height-Ashbury kvarter. De sagde fra overfor USA's krig i Vietnam og hele det strømlinede karriereræs med "den

amerikanske drøm" som gulerod. Metoden var at "droppe ud" fra uddannelsessystemet, ryge masser af græs og af og til noget stærkere, for derved at genopdage følelsernes styrke i selskab med ligesindede. Californiens klima gør det muligt at overleve året rundt i byernes parker, og den ny subkulturs pointe var, at fremskaffelsen af materielle fornødenheder ikke burde optage nogen stor del af menneskers tid. Samværet var det væsentlige, og der blev eksperimenteret med samlivsformer på kryds og tværs.



*Figur 14.9. 1968-hippie som 1987-kabelsporvognskonduktør i San Francisco  
(foto: Bent Sørensen)*

Det hele blev båret af en stemning af optimisme og medrivende glæde, og politiets tåregasbomber forblev "mindre irritationsmomenter" som ikke kunne overdøve musikken fra "Folkets Park" i Berkeley (et besat område som bystyret ønskede at omdanne til et parkeringshus).

Blomsterbørnene tabte og vandt. De tabte slaget om et nyt samfund med radikalt nye omgangsformer. Mange gik tilgrunde i stofmisbrug eller blev udstødt af det samfund som stadig har en god uddannelse og (i USA) en kristen arbejdsmoral som grundlæggende forudsætninger for social status. Enkelte af hippierne fungerer idag som turistattraktioner i San Francisco's kabelsporvogne (Figur 14.9).

Men blomsterbørnene vandt også, derigennem at mange af de værdier, som de opprioriterede, blev en del af den åndelige ballast, som som både unge og gamle idag bærer rundt på. Den flippede hippiekultur blev afsats for en seriøs interesse for

livskvaliteter, for det omgivende miljø og for de svage sider ved en ensidig teknologisk udvikling.

I Prag rullede kampvogne over ungdomsoprøret, i København fik socialvæsenet stillet gratis arbejdskraft til rådighed i Fristaden Christiania, studenterne fik studiernes indhold lavet lidt om (under alle omstændigheder nødvendiggjort af den bredere tilgang til universiteterne), og professorvældet faldt med den ny styrelseslov. Detaljer i sammenligning med strømningerne under overfladen, kvinders ny bevisthed om deres egen stilling i samfundet, og tvivlen overfor alle former for autoritet. Disse strømninger skulle også vise sig at få afgørende betydning for 1970ernes videnskabssyn.



## CHAPTER 15

---

### 70erne

---

#### ALT HÆNGER SAMMEN - ALLE HÆNGER SAMMEN

Den fundamentale erkendelse, som i løbet af 1970erne bundfældede sig i (stort set) os alle, er det udsagn at alt hænger sammen - at der ikke er noget som hedder "væk": det affald vi tror vi smider væk, dukker senere op igen, og eventuelt på ubelejlig tid og sted. Vi lærte, at det næsten aldrig er muligt at afgrænse et system, for derefter at se bort fra omgivelserne. Vi lærte at give botanikernes gamle ord "økologi" ny betydning som læren om sammenhængende systemer, indenfor hvilke der findes karakteristiske afhængighedsforhold. Vi lærte at begribe, at Jorden er endelig, og at menneskenes indgreb i naturens kredsløb ikke altid er ubetydelige nålestik.

Denne ny økologiske erkendelse havde lidt at gøre med den ligeledes ny rum-teknologi, som for første gang tillod mennesket udefra at betragte jordkloden og ved selvsyn fatte dens endelige størrelse. Den havde også noget at gøre med alarmerende meddelelser, f.eks. om at den DDT som mange år tidligere var brugt til at bekæmpe skadedyr i landbruget, nu begyndte at dukke op i brugsvandet, eller at de "forsvindende" koncentrationer af kviksølv, som visse industriers spildevand tilførte havet, gennem fiskenes fødekæder kunne opkoncentreres så voldsomt, at Stillehavets sværdfisk på toppen af fødekæden, nu havde for høje kviksølvkoncentrationer til at kødet kunne anvendes som menneskeføde. Verdenshavene var pludselig blevet "små", og der var sået tvivl om hvorvidt de i fremtiden vil kunne bruges som fødevarer-reserve for verdens voksende befolkning, eller om vi allerede for længe har brugt havene som losseplads. Læger advarede om at hen imod halvdelen af befolkningen snart ville lide af allergier, hvoraf mange skyldtes tilsætningsstoffer i mad eller stoffer som folk kom i kontakt med under udførelsen af deres erhverv.

Fremtiden vil højst sandsynligt betragte os som barbarer, fordi vi ødelagde naturens ufatteligt store rigdomme med vor dumpning af affald og gift-udledninger.

Brikkerne til den økologiske synsmåde var dukket op fra begyndelsen af 1960erne, men først med ungdomsoprørets rokken ved vore normer i al almindelighed blev miljø sagen til folkeeje. Den første markante brik havde været Rachel Carson's bog *Den tavse kilde* fra 1962. Dens modtagelse udviser alle de karaktertræk ved behandlingen af kritisk forskning, som vi skulle opleve igen og igen gennem 1970erne:

Rachel Carson havde som forsker flere gange hørt sine kolleger uformelt udtrykke bekymring om, hvorvidt de svært nedbrydelige pesticider, som landbruget anvendte, ikke engang ville dukke op igen. Carson gennemgik hvad der fandtes af videnskabeligt materiale om sagen, og da det viste sig utilstrækkeligt, opstillede hun en liste over

videre undersøgelser og beregninger, som skulle foretages for at afklare spørgsmålet. Istedet for at gå til myndighederne med sit materiale (som f.eks. Niels Bohr, der havde henvendt sig til regeringer og statsmænd med sine bekymringer over atomoprustningen), så skrev Rachel Carson en alment tilgængelig bog om problemet. Den var yderst velskreven og blev læst af mange.

Det er her at en ny tid titter frem. Erkendelsen af, at et samfund's magthavere og deres loyale embedsmænd ikke altid anser det i deres interesse at gå ind i spørgsmål rejst af uafhængige, kritiske forskere, uanset om befolkningens velfærd i sidste ende står på spil. For slet ikke at tale om kommercielle interessers syn på sådan kritik. I begyndelsen af 1970'erne sker der det, at mange samfund indser, at rene økonomiske synspunkter må suppleres med miljøovervejelser, og derfor oprettes i en række lande miljøministerier. Nu kæmper miljøministerierne for at skabe sig en platform for kontrol med miljøpåvirkningerne. Men de er klemte fra to sider: På den ene side forurenerne, som nødt vil betale hvad det koster at mindste miljøbelastningen, og på den anden side kritiske forskere og folkelige pressionsgrupper, som ikke mener at ministerierne gør nok for at nedsætte forureningen. Især beskylder de politikere og embedsmænd for at ignorere de mest langsigtede økologiske risici.

Der er således nu tre aktørgrupper på scenen:

- 1) De miljøbelastende entreprenører, som af konkurrencehensyn gerne vil slippe så billigt som muligt.
- 2) Uafhængige forskere og interessegrupper, hvis eneste magtmiddel er et folkeligt pres, f.eks. gennem medierne.
- 3) De officielt udpegede eksperter, hvis vurderinger er underlagt et politisk pres, og som derfor ser skævt til de uafhængige og derfor "ustyrliche" forskere og folkelige bevægelser (privat kan de "ansvarlige eksperter" naturligvis godt misunde kritikernes frihed og evt. glæde sig over deres "sætten skub i begivenhederne").

Rachel Carson blev af sine videnskabelige kolleger beskyldt for ikke at se tingene i rette perspektiv, at spille på følelser, at have "regnet galt", og at mangle den ansvarlighed i afvejningerne som de officielle eksperter har (Primack and von Hippel, 1974). Idag ved alle at Carson havde ret, og de persistente pesticider er i mange lande totalt forbudt. Men den samme kamp gentages på ny områder. Carson's fortjeneste er ikke mindst at have vist, at videnskabelige problemstillinger med dyb indflydelse på alle befolkningen kan formidles, så folk forstår tilstrækkeligt til at kunne udøve deres demokratiske rettigheder, når det gælder politiske beslutninger vedrørende problemet.

Ikke blot hænger de økologiske systemer sammen, det gør de delsamfund og enkeltationer, som befolker Jorden, også. Kommunikationen har udviklet sig, så hvad enten det gælder ungdomsoprør eller en miljøsag, så kan problemet ikke længere holdes indenfor lokalsamfund eller landegrænser. Men også årsagerne til problemerne bliver i stadig højere grad globale. Det skyldes bl.a., at teknologi og produktionsmetoder internationaliseres (altså er de samme overalt), men naturligvis også tilstedeværelsen af organisationer med "globalt sammenhold" og dermed mulighed for

global indgriben. I begyndelsen af 1970'erne fokuseredes i denne forbindelse på en række multinationale selskaber, og ikke mindst på de store olieselskaber ("de syv søstre").

Det var netop olieselskaberne som gav anledning til en af de mest markante begivenheder i 1970'erne, den såkaldte "oliekrise", som reelt bestod af to fordoblinger af olieprisen (en i 1973-74 og en i 1979), hvoraf især den første blev gennemført under trussel om forsyningsstandsning. Omend de mellemøstlige producentlande formelt gennemførte aktionerne (og kunne slippe fra det, fordi ingen af aftagerlandene havde investeret i forsynings sikkerhed), så kom initiativet fra de multinationale olieselskaber, der ønskede at udvide aktiviteten til at omfatte udnyttelsen af en række olieforekomster (indenfor USA, i Nordsøen) der ikke var rentable ved den op til 1973 gældende oliepris (Friberg *et al.*, 1974).

Helhedssynets indmarch i naturvidenskaberne blev begyndelsen til spændende nytænkning på en række områder. Men det også indledningen til en periode, hvor mere atomistiske videngrebsgrene blev ladt i stikken (f.eks. ingen tilgang fik af nye studenter) eller direkte foragtet. Problemet var i denne forbindelse først og fremmest, at det ikke er så nemt som nogle troede at afgrænse, hvilke grene af videnskaben der anvender helhedsbetragtninger, og hvilke der ikke gør det. Mange trak forbindelseslinjen fra atomvåben og anden dårlig teknologi til fysik. Men fysik er mange ting, og netop fysikken har en lang tradition for at angribe problemerne såvel udfra helheden som udfra bestanddelene. Det ældste eksempel er termodynamik (læren om store systemer karakteriseret ved størrelser som tryk og temperatur), som tilsyneladende modsætning til statistisk mekanik (der vil forstå store systemers opførsel udfra de enkelte molekylers hastigheder). Her gik det sådan, at det viste sig muligt at bevise termodynamikkens helhedssyn udfra mekanikken for bestanddelene, altså et flot eksempel på at man ligeså godt kan begynde i den ene som i den anden ende, men at forståelsen under alle omstændigheder bliver større, når begge synsvinkler beherskes. Der findes nyere eksempler, hvor en sammenhæng mellem mikro- og makro-teorierne ikke er fundet (endnu?), men de må vente til afsnittet om 1980'erne!

## ATOMKRAFT, ENERGI, MILJØ: SAMFUNDSRELEVANS

70'ernes ny, politiske organisationsform var græsrodsbevægelsen. I Danmark var denne form introduceret af miljøorganisationen NOAH og rødstrømpebevægelsen. Det grundlæggende er at organisationen ikke defineres ved medlemskab, men ved aktiv medvirken. De som møder op, tegner bevægelsen, ihvertfald i princippet. I praksis havde f.eks. NOAH med mellemrum landsmøder, hvor bevægelsens politik skulle vedtages af de fremmødte. Dette gav naturligvis arrangørerne - den hårde kerne - som havde lavet forarbejdet til dagsordenen, alle muligheder for at få sine synspunkter vedtaget.

Græsrodsbevægelsernes fremgangsmåde skulle få en kraftig indflydelse på, hvordan forskning blev drevet på de traditionelle forskningsinstitutioner. De konstante spørgsmål var "hvorfor er det foreslåede emne vigtigt", "hvad er samfundsrelevansen af dette" og "hvem gavner den løsning du peger på". Forskning begrundet alene i nysgerrighed blev nedvurderet. Idégrundlaget var meget lig den kinesiske kulturrevolution, hvilket i mine øjne betyder at der var tale om et naturligt oprør mod tingenes hidtidige tilstand, men ikke et holdbart grundlag i det lange sigt.

Danmark skulle imidlertid blive det land, som frembragte en ny generation af græsrodsbevægelser med et væsentligt mere nuanceret idégrundlag og derfor med langt større gennemslagskraft. Anledningen var dog langt fra noget fundamentalt samfundsproblem, men snarere et temmeligt specifikt eksempel på teknologi-vurdering, der alligevel skulle vise sig at kunne tjene som model for en lang række andre samfundsdebatter: atomkraften.

Organisationen til Oplysning om Atomkraften (OOA) blev til i studenterpræsten Jens Brøndum's havestue, hvor en lille gruppe studenter samledes i 1973. Jens Brøndum mente at det var godt for unge mennesker at engagere sig i en sag, og han var lige hjemvendt fra et besøg i USA, hvor han havde set de ny græsrodsbevægelser tage problemer om teknologivalg op i målrettede offentlighedskampagner.

Det konkrete emne var i og for sig underordnet, idet enhver oplysningskampagne om muligheden for at vælge mellem forskellige teknologiske løsninger til samme problem udgør en højnelse af bevidstheden hos en offentlighed, som var vant til at den politiske ledelse og dens interne eksperter foretog sådanne valg i stilhed og kun præsenterede den færdige løsning for vælgerne. Jens Brøndum foreslog sine unge venner to mulige emner, om hvilke en aktiv gruppe måtte kunne skabe bred folkelig debat: Misbrug af EDB-teknologi, eller problemer ved atomkraft.

Efter nogle møder og studium af det materiale som kunne fremskaffes om de to emnekredse, valgte gruppen atomkraften og trådte frem for offentligheden som OOA i begyndelsen af 1974. En kronik jeg havde skrevet i 1972 om Barsebäck værket uheldige placering alt for tæt på København (Sørensen, 1972) kan nok have påvirket valget. Mange år fremover skulle OOA og jeg køre en slags parløb om atomkraften og de alternative energiløsninger. OOA holdt sig politisk uafhængig og involverede borgere fra alle samfundslag i debatten - jeg holdt fast på forskerens totale uafhængighed, også af interessegrupper, men udvekslede gerne erfaringer og tekniske beregninger med OOA, og knyttede vedvarende venskaber med flere af bevægelsens initiativtagere.

OOA's ankermand i afdækningen af atomkraftens tekniske problemer, og i mange af de strategiske og beregningskrævende problemstillinger, der fulgte i kølvandet på kravet om afvikling af atomkraften, var og er Tarjei Haaland. Ved OOA's start geologi-studerende i København, men studiet blev lagt på hylden, efterhånden som arbejdet indenfor OOA blev mere og mere krævende. Tarjei Haaland har idag kvalifikationer, der er helt på højde med de bedste hos os med eksamenspapirer. Hvadenten det var

statistikker over atomkraftværkers driftsforhold, fejltræer for ulykkesforløb, eller prisrelationer for forskellige driftsforhold på kraftvarme-værker, så arbejdede Tarjei ihærdigt med problemet, indtil han havde forstået dets natur og skaffet sig den nødvendige tekniske detail-viden undervejs. Jeg husker intet tilfælde hvor Tarjei måtte give op. Når OOA brugte analyseresultaterne i debatten, så kunne han stå inde for hvert ord. Og hvis der var usikre skøn indblandet, så lagde OOA problemet frem, i modsætning til mange officielle rapporter, som åbenbart mente at angivelse af en usikkerhed på resultaterne ville forvirre lægfolket.

Det var netop et grundtræk ved OOA's måde at drive folkelig oplysning på: ingen problemstillinger er for indviklede til at kunne forklares tilstrækkeligt for alle der har interesse i at blive oplyst. Tilstrækkeligt til at fatte hvad sagen drejer sig om, og hvad valgmulighederne indebærer, og det er jo det det handler om.

For elværksfolk og reaktorteknikere kom denne folkelige indblanding helt uventet. De havde aldrig før haft behov for at skulle forklare eller forsvare deres resultater og beslutninger. Deres første reaktion var et venligt tilbud om at forklare nødvendigheden af atomkraft en gang til, men da det ikke syntes at fjerne bekymringerne hos OOA og den voksende gruppe borgere der sluttede op om atomkraftmodstanden, så udbrød snart panik.

Det er ganske interessant at se tilbage på nogle af de virkemidler, som blev bragt i anvendelse af atomkrafttilhængerne dengang. Vi fik at vide at vi ville blive "bombet tilbage til stenalderen" uden atomkraft, at der ikke kunne forekomme atomkraftuheld, hvor det radioaktive udslip ville gøre skade over 10 kilometer fra reaktoren, at tilslutningen af vindmøller til elnettet ville få lyset til at blinke hver gang vinden ændrede sig, osv (se Øllgård, 1980). Overfor disse følelsesladede udslip stod Tarjei Haaland's omhyggelige beregninger og OOA's mund-til-mund oplysningskampagne-teknik.

Jeg føler mig ret tryk ved at leve i et samfund hvor de mest saglige argumenter af og til vinder til slut, omend det i atomkrafttilfældet tog ganske lang tid. Årsagen hertil ligger vel i, at der var så meget vi alle skulle lære, før vi kunne afslutte debatten: om eksperters rolle i samfundsdebatter, om mere og mindre hensigtsmæssige diskussionsformer, og først og fremmest om omsætning af det fine ord "medbestemmelse" til praksis.

Videnskabsteoretisk set var en af de mest spændende biprodukter ved atomkraft-debatten den ekspertrolle-diskussion, hvis mest festlige indslag var Risø-forskeren Heinz Hansen's definition af sagkyndighed som værende et spørgsmål om hvor man var ansat, og ikke om ens viden (Hansen, 1975). Allerede Niels Bohr bemærkede (se Nielsen, 1963), at eksperten, specialisten, var et menneske som vidste en masse indenfor et snævert område, i modsætning til filosoffen, der ved en smule om mange ting. Derfor, forklarede Bohr, kan vi idealisere definitionen til at lyde:

- \* En ekspert ved alt om ingenting.
- \* En filosof ved ingenting om hvad som helst.

Herimellem står ifølge Bohr netop videnskabsmanden, som dog ved noget om noget! Jeg er glad for, at jeg i debatten med Heinz Hansen lå på linje med Bohr's definitioner, omend jeg på daværende tidspunkt ikke kendte ovenstående Bohr-citat (Sørensen, 1975). Atomkraftdebatten viste jo netop, at de uafhængige videnskabsfolk kunne bruges til noget i en situation, hvor de tekniske eksperter havde for mange personlige interesser i sagens udfald til at være troværdige vidner i beslutningsprocessen.

Da atomkraften omsider var blevet fjernet fra den danske energipolitik, blev det fejret med et sammenskudsgilde hos Tarjei's mor, kunstneren Nina Kai Nielsen, hvor "den videnskabelige støttekreds" omkring OOA så ofte havde været samlet til fest og debat. Denne gang var spørgsmålet, om OOA ikke kunne nedlægges, nu hvor målet var nået. Imidlertid var halvdelen af kritiken mod atomkraft jo, at der fandtes alternativer, som var miljømæssigt og samfundsmæssigt mere acceptable, og dem havde regeringen jo ikke besluttet at sætte istedet for a-kraften. Der er altså stadig arbejde for energiororganisationen OOA, omend de store protesttog til Christiansborg forlængst havde skiftet til nye emner.

Når OOA havde mere politisk gennemslagskraft end f.eks. NOAH, så skyldtes det dels den markerede uafhængighed af partipolitik, og dels en forbedret organisation. Den grundlæggende struktur var stadig græsrodsbevægelsens, med lokalgrupper og landsmøder. Men OOA havde et handlekraftigt landssekretariat, som på landsmøderne fik bemyndigelse til at udtale sig og handle i aktuelle sager, på det vedtagne grundlag. Derfor kunne OOA markere sig om dagsaktuelle emner, hvor NOAH først måtte indkalde møder for at opnå bemyndigelse. Og alle der arbejdede i OOA kunne skrive indlæg til dagspresse mv., blot de underskrev sig med navn og "aktiv i OOA" (mens landssekretariatet kunne udtale sig på OOA's vegne og så iøvrigt stille op til eventuel kritik på næste landsmøde). Denne smidige organisationsform, som er mulig når alle føler solidaritet med bevægelsens grundlæggende holdninger, er givetvis en væsentlig forklaring på succes'en - og det er da også træk af denne organisationsform, som i 1980'erne søges indført såvel i mange private virksomheder som indenfor en række ministerier og andre statslige foretagender.

## ATOMVÅBNENE IGEN!

Siden stoppet for atomvåbenforsøg i atmosfæren i 1963, havde forholdet mellem supermagterne USA og USSR været mere og mere afslappet, og det var de færreste almindelige mennesker, som dagligt skænkede atomkrigsfaren en tanke. Dette ændrede sig imidlertid sidst i 1970'erne, efter at vesttyskeren Helmut Schmidt i afskrækkelsesteoriens navn havde tryglet USA om at opstille ny, moderne mellemdistancevåben i Vesteuropa. USA lod sig overtale, ledet af den svage præsident Jimmy Carter, der altid havde de rigtige meninger, men hver gang lod sig overtale til

at gøre det forkerte. Med valget af Ronald Reagan som den næste præsident var det klart for de fleste tænksomme europæere, at det var på tide igen at grave den daglige angst for atomkrigen frem af mølposen.

Vi måtte igennem turen igen. Atommarken, søvnige politikere der ikke turde støde de militære alliancepartnere, kommunistforskrækkelsen sat overfor den enkle kendsgerning, at atomvåben ikke kan forsvare noget og ikke er anvendelige i krig. Det amerikanske militær benyttede Schmidts tåbelige henvendelse som påskud til at få ændret NATO's atomstrategi, så atomvåbnene nu skulle bruges og atomkrigen "vindes". Det saglige modargument er, at så længe Hitler-agtige regimer kan dukke op, så kan det være påkrævet at beholde et begrænset arsenal af strategiske atomvåben (omend dette også kan diskuteres), men ikke under nogen omstændigheder taktiske og mellemdistance atomvåben til brug på kamppladsen eller i "preventive angreb" (Sørensen, 1985). I 1980'erne kan vi efter en række sovjetiske initiativer se mellemdistancevåbnene indgå som brikker i forhandlings-spillet om nedrustning, og risikoen for at atomvåbnene skal blive brugt er igen på vej ud af vores bevidsthed - ihvertfald for en tid.

I 1973 var jeg optaget af Frankrig og Kina's fortsatte afprøvning af ny atomvåben gennem prøvesprængninger i atmosfæren. Især tordnede jeg mod Frankrig, som fandt foretaget for beskidt til at det kunne foregå i Frankrig, og i stedet lod forsøgene gå ud over et fjernt u-land (Sørensen, 1973). Denne kritik skulle senere blive fulgt op med stor dygtighed og styrke af Martine Petrod, som stiftede "Fonden til bekæmpelse af atomvåbenforsøg" ("*Copenhagen Foundation against Nuclear Tests*"). Martine var flygtet til Danmark fra Frankrig, hvor hendes forældre uden hendes samtykke havde underskrevet en uddannelseskontrakt med staten, ifølge hvilken hun efter endt læreruddannelse var forpligtet til ti års stavnsbundet undervisning i en af den franske stat udpeget skole. Da hendes far, som arbejdede med atomforsøgene i Mururoa, uventet døde af kræft, udbetalte hans arbejdsgivere et ikke nøjere begrundet erstatningsbeløb til moderen og til Martine. Martine kunne ikke lide lugten af disse penge og benyttede dem derfor til at oprette fonden, som i en årrække har ydet støtte til oplysningsarbejde i "Fransk Polynesien" og andre Stillehavslande. Forresten har jeg aldrig set så mange danske flag samlet på et sted som den dag, da Martine Petrod fejrede sin opnåelse af dansk statsborgerskab.

Jeg har tit spekuleret på, hvad der har formet min holdning til atomvåben og krig, og er temmelig sikker på, at svaret skal findes i de tidlige barndomsår, under tyskernes besættelse af Danmark. Angsten for krigen bliver reel selv for et 3-4 års barn, når truslen er tilstrækkelig synlig. Det var den i mit barndomshjem i Vanløse, fordi tyskerne havde besat et område for enden af vejen, som de anvendte til depot. Fra altanen i mine forældres lejlighed (hvor der blev lavet vafler over en primus, hver gang energiforsyningen svigtede) kunne jeg se de tyske vagter patruljere, og af og til hørtes skud derfra i sene nattetimer, når depotet forsøgtes saboteret.

Krigsangsten havde ikke taget form, men dukkede op ved særlige lejligheder, som

f.eks. under de feberture, der ledsagede de sædvanlige børnesygdomme. Det kunne være ubestemmelige mareridt, hvor jeg vågnede med sammensnøret strube, ude af stand til at tale, mens loft og vægge syntes at rykke nærmere indtil loftet trykkede direkte på mit bryst. Andre gange svævede jeg i luften og så husene under mig blive mindre og mindre, mens jeg uden at kunne forhindre det steg op mod nattehimlen. Under mig hørtes skud fra tyskernes depot, og jeg var bange for at skulle falde derned...

Ikke alle er bevåget med en sådan indbygget uvilje mod alt der har med krig at gøre. Under mine ophold ved universitetet i Berkeley mødte militæret ofte op for at tilbyde mine amerikanske fysikkolleger et job indenfor våbenkonstruktion. Som regel afslog de, men når de bagefter forklarede hvorfor, så var det som oftest noget med at selvom lønnen var god, så var de udfordringer for små og ukvalificerende. De så ned på militær forskning fordi den var mindre spændende end universitetsforskning, ikke fordi de iøvrigt havde noget imod at "hjælpe deres land".

Iøvrigt fulgte de amerikanske forskere simpelthen pengestrømmen: Mine fysikvenner fra 1968 tog hele turen fra kernefysik til rumfart til miljø og energi og derfra til Reagan's stjernekrigsprojekt.

En begivenhed midt i 1970erne gav et fingerpeg om Niels Bohr Institutets grænse for tolerance. Edward Teller besøgte København. Forskere af alle mulige politiske overbevisninger havde gennem årene besøgt institutet, og de havde i vid udstrækning været velkomne uanset hvilken institution de kom fra, og hvad de selv havde beskæftiget sig med. Men her var grænsen: Teller fik ikke lov at holde foredrag på Niels Bohr Institutet, men blev henvist til universitetets lokaler på H.C. Ørstedes Institutet. Teller, som tillægges den væsentlige "ære" for brintbomben, og som satte gang i den politiske hetz (McCartey processen) mod Robert Oppenheimer, netop fordi sidstnævnte mente at fissionsbomben kunne være nok. Teller's indsats i brintbombeprojektet skal være at have fundet på at udløse den igangsættende uranbombe i en passende afstand fra lithiumhydrid brændslet, så strålingsbølgen fra fissionsprocessen kan nå at tænde fusionsprocessen, før trykbølgen når frem og smadrer det hele (Morland, 1979). Niels Bohr mente dog ikke, at Teller's idé lå ud over, hvad en god fysikstudent ville have fundet på (se Nielsen, 1963).

I København var Teller's ærinde at foreslå en løsning på energikrisen. Bomber, naturligvis! Der fandtes mange dybtliggende skiferolieforekomster rundt om i verden, og ved at bore hul og sænke en brintbombe ned, så kunne man sprænge hele undergrunden i småstumper, alt imens varmeudviklingen ville presse olien op til overfladen, hvorfra den ville kunne tappes direkte på tankbiler. Nogle hippier havde protesteret mod ideen, sagde Teller og hævede stemmen: jeg håber at myndighederne vil placere dem på toppen af skiferområdet, så de ved selvsyn kan konstatere at atomsprængningen i undergrunden ikke forhindrer arbejdet med aftapninger ovenover! I et glimt fattede jeg fremkomsten af den bølge af menneskeforagt, som nazismen red på (uanset at Teller selvfølgelig var anti-nazist).



Men Teller var ikke længere de amerikanske regerings rådgiver, og stemningen var ikke til "fredelig udnyttelse af atombomber". Tidligere amerikanske forkæmpere for flere og flere atomvåben var pludselig blevet fortalere for fred og nedrustning. Det galdt ministre som Robert McNamara og generaler som Gene la Roche, sært nok netop efter at de var gået på pension og havde mistet enhver reel indflydelse. Kunne det tænkes at de var grebet af den samme slags samvittighedskvaler, som fik mange af Manhattan-projektets fysikere (herunder Niels Bohr) til efter krigen at tale varmt for nedrustning og "fredelig udnyttelse af atomenergi" (dvs. atomkraft)?

Jeg finder, at vi idag må se med skepsis på løsningsforslag, og herunder forslag til teknologivalg, som udspringer af sådanne samvittighedskvaler. Dels undertrykkes, som vi har set det i atomkrafttilfældet, ofte en dybtgående analyse af de negative konsekvenser af forslagene, og dels må sådanne forslag være suboptimale, fordi de er valgt i reaktion mod noget andet, som de begrebsmæssigt er bundet til, og derfor ikke repræsenterer de bedste løsninger blandt hele spektret af muligheder. Med andre ord støttede Bohr atomkraften (se Kampman, 1964), fordi den i hans øjne var den positive pendent til atombomben, og ikke fordi Bohr havde sat sig ind i alle de mange muligheder for alternativ energiplanlægning, som kan komme på tale. Vi var kommet meget langt med f.eks. vedvarende energikilder, hvis den pengemængde som gennem årene tilflød atomenergien var blevet sat ind på solceller, vindkraft og bioenergisystemer.

## U-LANDENES MARERIDT

Hvert besøg i et u-land har været en stærk oplevelse.

- En solnedgang over Rajasthanørkenen i det nordlige Indien, hvor ørkenen pludselig bliver levende af tusinde mennesker, som har sovet direkte på jorden og nu rejser sig i håb om denne dag at finde beskæftigelse og tjene nogle få Paise, måske ved at hjælpe med at skubbe en for tungt læsset kærre til byen.

- En butik med søm og øl og trækul et sted i Kenya, strategisk placeret få timers gang fra tre landsbyer. Drabelige historier udveksles mellem kunderne, mens butiksejeren synes travlt beskæftiget med at tælle dåser.

Gennem mit arbejde med decentrale energisystemer og energiplanlægning blev jeg sidst i 1970'erne indbudt til at deltage i en række møder og projekter i udviklingslande, fortrinsvist i FN regie. Netop gennem disse og de efterfølgende år skete der en kraftig ændring af vilkårene for de fattigste landes udviklingsbestræbelser, som kort sammenfattet indebar lavere eksportpriser og højere importpriser. Ikke mindst prisen på importeret energi var en væsentlig størrelse for en lang række u-lande, der ikke var selvforsynende.

I et land som Tanzania havde man klaret den første prisforhøjelse på olieprodukter i

1973/74 gennem besparelser og en mere effektiv udnyttelse (kun helt nødvendig transport ad landevejen, og alle køretøjer helt fyldt op). Men da prisen igen fordobledes i 1979, var der ikke mere, som kunne gøres for at påvirke forbruget, og resultatet blev en jævnlig lukning for import af energiprodukter, med de deraf følgende negative virkninger på en række energiafhængige aktiviteter. Der var simpelthen ingen penge at betale med (Danielsen and Sørensen, 1984).

U-lande er mange forskellige slags lande med forskellige problemer, forskellig udviklingsstrategi og store forskelle i det aktuelle udviklingsstadium, altså hvor vidt landet er kommet i retning af sine egne mål, hvis sådanne foreligger, og ellers i retning af eksisterende industrilandes niveau.

I årene efter 2. Verdenskrig frigjorde en lang række lande, især i Afrika, sig fra tidligere koloniherrredømme, hvorimod mange udviklingslande i Asien og Latinamerika havde været formelt selvstændige fra begyndelsen af århundredet eller endnu længere. Dette er en væsentlig del af forklaringen på en række forskelle i holdningen til udvikling. De ny afrikanske stater planlagde en hurtig industrialisering, udbyggelse af uddannelses- og sundhedsvæsen, osv., og de fik indenfor rammerne af sådanne planer støtte til en lang række projekter fra bl.a. de skandinaviske lande.

Hen imod slutningen af 1970'erne var det imidlertid ved at være klart for alle parter, at de storstilede planer på en række væsentlige punkter var mislykkedes. Bortset fra den hastigt voksende klasse af nyskabte bureaukrater, som selvstændigheden og udviklingsprojekterne havde skabt, så var befolkningens levevilkår ikke blevet mærkbart forbedret i forhold i udgangssituationen. Entusiasmen for det planlagte udviklingsspring var stor i starten, men er siden blevet afløst af almindelig skepsis. Idag viser studiet af stort set ethvert foreslået eller igangsat udviklingsprojekt, at der er "kulturelle barrierer" som forhindrer, at projektet kan gennemføres indenfor en overskuelig tidsramme, og at resultaterne af et gennemført projekt svarer til forventningerne (se f.eks. Nkonoki and Sørensen, 1984).

I de "gamle" udviklingslande er situationen noget anderledes. Såvel befolkningen som den politiske ledelse har i lande som Indien og Mexico vænnet sig til, at ændringer sker langsomt. Til gengæld har kulturelt betingede holdninger måske fået bedre tid til at tilpasse sig ny løsningsmodeller. I lande som Argentina og Brasilien har en veludviklet industrikultur gennem det meste af århundredet levet side om side med traditionelle subsistenskulturer. Derfor ligger det f.eks. i baghovedet på enhver fattig latinamerikaner, at uddannelse er nøglen til en bedre tilværelse. Det samme er ikke på samme måde en rygmarvsforfæmelse for flertallet af fattige afrikanere. Og overalt i de fattigste lande forhindrer sulten sine ofre i at tænke klart.

Det tager tid at ændre kulturelle mønstre og holdningsnormer. Forceres udviklingsprocessen, skabes menneskelige konflikter og ofte voldelig adfærd. Ikke desto mindre har udviklingen i befolkningstal og relationer til omverdenen i mange tilfælde nødvendiggjort, at faktiske ændringer må ske hurtigere, end det er muligt at

ændre holdninger. Resultatet er ofte mangelsituationer og konflikter af uløselig karakter.

En række mindre nationer i Sydøstasien har opnået en hastig industrialisering og medfølgende velstands-øgning, tilsyneladende uden at styre ind i kulturelle kriser af den nævnte art. I flere af disse lande (Singapore, Korea) stammer den overvejende del af befolkningen fra kulturer, hvor handel og entrenørvirksomhed traditionelt har nydt høj anseelse. Dette er formentlig den væsentligste årsag til den ret gnidningsfri udvikling, snarere end de temmelige hårdhændede styreformer, som nogle vil tillægge æren for den økonomiske opblomstring.

I Mellemamerika står en række små nationer på spring for at udvikle sig, kun forhindret af (halv- eller hel-militære) regimers understøttelse af forstenede feudalherskere, for hvem bevarelsen af det bestående synes vigtigere end økonomisk vinding ved indførelse af ny teknik og organisation.

I begyndelsen af 1970'erne troede vi at kende de rigtige løsninger. U-lands eksperter og frivillige rejste glade rundt og formidlede vore svar på udviklingsproblemerne. Senere kom tvivlen, og idag må "bistands-giverlandene" erkende, at ingen kender veje som med nogen grad af sikkerhed vil føre til anstændig udvikling med en løbende kulturel tilpasning til samfundsændringerne. De lande som har klaret sig bedst glimrer ikke ved at være store bistandsmodtagere. Snarere tværtimod. Alligevel kan vi idag ikke bare bakke ud og sige, at det nok er bedre at udviklingsprocessen sker ved interne midler og i det tempo, som de lokale rammer tillader. Vi har forlængst gjort problemet internationalt, og har skabt en verden med pulserende informationskanaler til og fra hver krog. Æsken er åbnet og indholdet lader dig ikke genne tilbage: alle må være med til at lede efter de løsninger som vi ikke idag kan få øje på.

- I San Salvador's lufthavn i El Salvador underholdes jeg nogle timer af en 14-årig dreng. Han kommer der hver dag for at snakke med udlændinge og forbedre sit engelske. Ind imellem studerer han en laset matematikbog. Måske vil det en dag lykkes ham at få et stipendium til en uddannelse. Han udspørger mig om det danske velfærdssamfund og fortæller, at den rigtige løsning for hans land hverken er de konservative eller socialisterne, men en slags socialdemokrati efter skandinavisk mønster. Han vil også gerne høre om vores seksualmoral. Jeg håber vi snart får det ligesådan, siger han drømmende og tænker nok ligeså meget på pigerne som på socialdemokratiet. Året efter var hans land kastet ud i en blodig borgerkrig, og alle højere uddannelsesinstitutioner blev lukket. Hans drøm må vente på sin opfyldelse, men sikkert er det, at drengen afspejler hele latinamerikas venten på, at militæret og de interesser det varetager skal forsvinde, så udviklingen kan begynde.

BEGYND FORFRA (IKKE GLADERE, MEN KLOGERE?)

*Dag for dag bliver livet trådt fladere, klogere bliver vi men ikke gladere*

(Jeppe Aakjær, citeret efter hukommelsen)

Ungdomsoprøret er slut. Stofferne bragte ikke frihed, og samfundet blev ikke ændret. Mens mennesket blev sat i centrum og det indre univers udforsket, så tromlede virkeligheden frem. Flere våben blev produceret end nogensinde før, og nogle af dem blev brugt. I de rige lande blev dagliglivet trivialiseret udefra, mens eliten havde blikket rettet indad. I de fattigste lande skred grundlaget for udvikling væk, de fine projektrapporter er forlængst brændt op under ueffektive kogeapparater, og fremtidsudsigterne er for dystre til at blive formuleret på tryk. Lidt håb kan måske hentes i Sydøstasien's elektronikghettoer, hvis velstandsproduktion må skabe fremtidige kulturelle oprør, eller i Kina's regelmæssige zig-zag kurs mellem den upersonlige satsen på menneskets fundamentale kulturværdier og den gammelkinesiske kræmmer-snedighed. Eldridge Cleaver er ved 1970ernes slutning reduceret til mannequin for lapset modetøj.

Og alligevel...

Vi er ikke de samme som før. Et eller andet er parkeret permanent i vores bagage. En ny bevidsthed, en mere nuanceret opfattelse af virkeligheden omkring os. Mindre idealiseret, uden rum for nemme løsninger, men dog med muligheder.

Vi tror ikke længere blindt på videnskaben og teknikken. Men vi har også lært ikke ubeset at kaste dem bort. Vi er ikke længere så sikre på, at medbestemmelse gennem uendelige debatter giver bedre beslutninger, men vi har lært, at uden de berørtes medleven går det slet ikke. Vi har lært at værdsætte de små enheders mulighed for at gøre noget andet end flertallet, men vi må ikke tabe overblikket.

På mange punkter er vi henvist til at begynde forfra. Måske bedre rustet når det gælder metoderne til at afsøge løsningsfeltet. Men vi har lært at ordentlige løsninger har åbne ender: Man kan ikke at lave en køreplan for det hele<sup>\*</sup> og så blot tro at det gælder om at følge bogen. Den bedste plan er den, som binder fremtiden minimalt<sup>†</sup>.

Videnskabssynet blev ændret gennem 1970'erne. Det begyndte med konstateringen af at videnskab ikke er objektiv. Forskere har holdninger og forventninger, og disse smitter af såvel på valg af forskningsemner og fremgangsmåde, som på fortolkningen af resultater. Forskningen var herefter en tid "out", ligesom de teknologiske frembringelser, der påstod at basere sig på forskning, og som havde vist sig af have kedelige virkninger (evt. bivirkninger) på miljø og samfund.

Efterhånden som vi fik bedre tid til at tænke videre, gik det op for flere, at der var en

---

<sup>\*</sup> I Danmark eksemplificeret ved Erik Ib Schmidt's "perspektivplaner" for dette og hint.

<sup>†</sup> Sammenlign f.eks. skiftende regerings energiplaner med den faktiske udvikling (eller med den alternative energiplan fremsat i Hvelplund *et al.*, 1983)

del nuancer som var gået tabt i den første, ophedede debat. Om teknologien dette, at vi også har brug for den, og at det gælder om at styre teknologien i den retning vi ønsker, snarere end at styre udenom den. Vi må erkende at indgreb mod naturen ikke er en bivirkning, men en nødvendighed for menneskelig tilværelse, forudsat at vi absolut vil definere og selv som værende udenfor naturen. Akcepterer vi at være en del af naturen, ja så gør vi jo i en vis forstand kun som hjorten, der ødelægger barken på et par træer når gevirene skal hentes ud af indpakningen. Problemet er selvfølgelig at mennesker kan gøre ganske alvorlige indgreb i det omgivende miljø. Deri ligger vores styrke og vores svaghed.

Al menneskelig aktivitet har krævet indgreb i omgivelserne: tænk på etablering af jordbrug og husdyrhold, boligbyggeri, vejanlæg og så videre. Idag er vi ovenikøbet blevet så dygtige, at vi et stykke hen ad vejen kan overskue følgerne af vores indgreb. Ved hjælp af teoretisk forskning og eksperimentel måleaktivitet (såvel på jorden som fra rummet), kan vi overvåge og forudberegne en del af de mulige ændringer, som miljøet (inkl. klima) vil undergå som følge af vore aktiviteter, og vi kan korrigere disse aktiviteter, så påvirkningerne bliver til gavn eller ihvertfald ikke til skade for os. Men kun til en vis grad, for vi er ikke dygtige nok, og jævnligt kommer der overraskelser, som vi ikke havde taget højde for. Derfor har den ene halvdel af os lært at fare frem med forsigtighed, og at undgå teknologier hvis konsekvenser vi ikke er sikre på at kunne overskue. Den anden halvdel er de, som er villige til at tage risikoen, og dermed er scenen sat for de samfundsdebatter, som vi forhåbentlig bliver ved med at unde os selv.

Hermed er det gået op for os, at forskningen er vigtig, uanset at den ikke er objektiv. Videnskabens mål er erkendelse, ikke objektivitet! Og selv om videnskaben aldrig kan hævde objektivitet, så er den på ingen måde det modsatte: subjektiv. Videnskabsfolk er karakteriseret ved, at de ikke er tilfredse med "følelsen af at forstå". De vil forstå! Ganske ofte har sammenhænge, som man følte man forstod, vist sig ikke at kunne holde ved en nærmere analyse. Forsøget på at være objektiv er stadig den bedste arbejdsmetode!

Det vigtigste kendetegn ved viden er at den er struktureret. En ugebladslæsende, TV-seende husmor (m/k) har givetvis mere *viden* end en universitetsprofessor, der bevidst søger ikke at lagre ustruktureret information i hjernen. Den strukturerede viden kan kombineres på kryds og tværs, så der dannes ny mønstre, altså så der kan drages slutninger med "nyhedsværdi", slutninger der overrasker også den som drager dem. Det er denne vekslen mellem intuitiv forståelse (krydskombinationen af tilsyneladende forskellige erkendelsesbrikker) og ræsonnerende analyse (konsistenschek) der skaber ny erkendelse.

Der er derfor en ægte Bohr'sk komplementaritet mellem ny erkendelse og ekspertviden (sidstnævnte defineret som en livslang ophobning af erfaringer indenfor et snævert felt). Derfor skal vi ikke som i 70ernes atomkraftdebat slå hinanden i hovedet med disse to størrelser: Det karakteristiske ved komplementære størrelser er at vi samtidig har brug for begge.

## CHAPTER 16

---

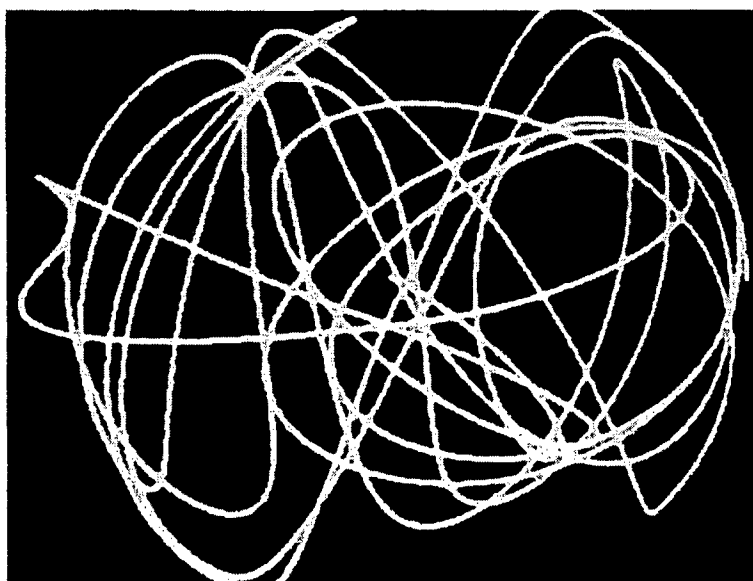
80erne

---

### KAOS I NATUREN

Ved et foredrag, som fandt sted 1984 i Niels Bohr Institutets auditorium A, havde foredragsholderen J. Ford fra Georgia Tech konstrueret et Storm P.'sk apparat. Det bestod af en overhead-projektor, et pendul og en filtpen, som var løst fastgjort til pendulet og slæbte hen over en transparent placeret over overhead-projektorens glasplade. Herved blev pendulets bevægelse aftegnet og banekurven derefter projiceret op på lærredet, så alle tilhørerne kunne se den. Pendulet var blot en tung kugle ophængt i en snor, hvis øverste endepunkt kunne bevæges frem og tilbage.

Nu sattes kuglen igang med et lille skub. Med fastholdt endepunkt kunne Ford få tegnet streger frem og tilbage, eller en ellipseformet bevægelse. Disse bevægelser er vi vant til at se penduler foretage. Men når Ford skubbede kraftigere til kuglen og derefter bevægede ophængningspunktet, så viste der sig på skærmen en højst uregelmæssig tegning med snørkler og vinkeldrejninger, og uden at man kunne spore nogen perodevis gentagelse af et bestemt mønster. Bevægelsen var blevet kaotisk.



*Figur 16.1. Vandret projektion af et penduls bevægelse. Pendulet startes i en vis vinkel (ud til højre) og en tangentiell hastighed (nedad), samtidig med at ophængningspunktet bevæges periodisk frem og tilbage i retningen højre-venstre.*

Et så enkelt system som en kugle i en snor kan altså opføre sig kaotisk. Det var en erkendelse, som for mange af tilhørerne trods (eller netop på grund af) deres

fysikuddannelse var ny. I lærebøgerne er den klassiske mekanik beskrevet ved Newton's ligninger (eller Lagrange's mere elegante version), som i princippet tillader én at regne systemets tilstand præcist ud til en hvilken som helst tid, når blot man kender sted og bevægelse til én given tid. Dette er den klassiske fysiks determinisme ("alt er forudbestemt").

Mange fysikere havde gjort sig klart, at komplicerede systemer ikke i praksis vil kunne forudberegnes, selvom determinismen gælder i princippet. For eksempel er vandet i et vandfald sammensat af mange enkelte molekyler, som støder mod underlaget eller hinanden og bevirker den heksekedel af sprudlende skum, som vi observerer for foden af vandfaldet, og iøvrigt kalder turbulens eller hvirveldannelse. Vi kan sige noget om, hvornår flodens "glatte" strømningsmønster, hvor vandmolekylerne bevæger sig parallelt, erstattes af turbulens, men vi kan normalt ikke beskrive hvirvlernes position og form nøjagtigt ud fra kendskab til flodens forløb før vandfaldet.

Turbulens er et eksempel på kaos. Samme fænomen mødes i luften, når varmen fra et solabsorberende underlag sætter luftmolekylerne i hvirvelbevægelse. Vi kender overgangen til kaos fra mange dagligdags oplevelser: når vi skruer op for vandhanen eller betragter kølvandsstriberne fra et skib, som ved en tilstrækkelig stor hastighed ændrer sig til et brusende kaotisk mønster. Eller fra luftstrømmen omkring en fly-vinge, som normalt ved sin glatte strømning løfter vingen opad og dermed bærer flyet. Er vingen ikke konstrueret til store hastigheder, optræder sommetider et fænomen som piloterne kalder "stall": vingen mister pludselig sin bæreevne, og så gælder det om hurtigt at komme ned i fart. Igen er årsagen, at der opstår kaotisk bevægelse i luftstrømmingen bag vingen. Vi har lært at udnytte fænomenet, f.eks. i de selvregulerende danske vindmøller, som efter en idé ingeniør Juul (1961) fra Sydsjællands Elektricitetsværk fik i 1950'erne har vinger udformet sådan, at stall-effekten forhindrer løbskkørsel. Vinden mister simpelthen sit tag i møllevingen, når stall-fænomenet sætter ind ved hastigheder over en vis grænse.

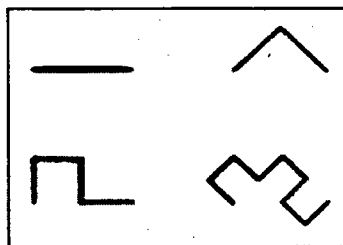
At kaos kan opstå var således anerkendt for store, komplekse systemer, og mekanismen er også kendt: Systemet kan have så mange frihedsgrader, at de forskellige bevægelsesmuligheder påvirker hinanden - kobler til hinanden - på så mange forskellige leder, at kun en statistisk beskrivelse er mulig. Det er i disse tilfælde ikke muligt at kende begyndelsesbetingelserne (hver vand- eller luftmolekyles bevægelsesretning og fart) tilstrækkelig godt til at kunne forudberegne detaljerne i den turbulente tilstand. Det ny som blev "genopdaget" i 1980'erne er, at også ganske simple systemer under visse omstændigheder udviser kaotisk opførsel (se f.eks. Feigenbaum, 1980). "Kaos" kan nu defineres på følgende måde:

Hvis små ændringer i begyndelsesbetingelserne kan føre til store ændringer i systemets senere tilstand, så siger vi at systemet er kaotisk.

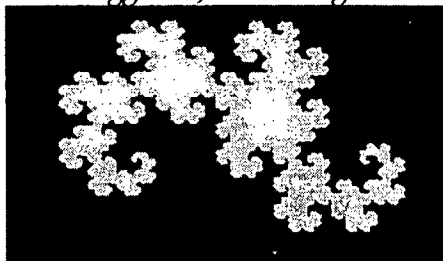
Mange systemer, som kan beskrives ved klassisk mekanik, udviser en brat overgang fra regelmæssig til kaotisk bevægelse, når parametre, som beskriver systemet, passerer

visse kritiske værdier. En "parameter" kan for eksempel være størrelsen af gnidningsmodstanden mellem pendulet og det medium (en luftart eller en væske) som pendulet bevæger sig igennem. Er gnidningskraften stor (pendul i olie), så er systemet ikke kaotisk: efter et par omgange med mindre og mindre udsving falder pendulet ind i en periodisk, rokkende bevægelse i takt med den påtvungne bevægelse af snorens ophængningspunkt. Men når gnidningskræfterne bliver tilstrækkeligt små (pendul i luft), så opstår det kaotiske bevægelsesmønster vist i figur 16.1.

En række af de matematiske forskrifter, som beskriver kaos, har tillige en anden egenskab, nemlig at være *fraktal*. En mængde af punkter kaldes fraktal, hvis punkterne udfylder et område af større dimension end den, som er givet gennem den matematiske forskrift. Det kan være punkter på en linje, der snor sig så snørklet ud og ind, at de dækker et helt areal (altså at der findes et to-dimensionalt areal, således at ethvert punkt indenfor dette areal på et eller andet tidspunkt dækkes af den én-dimensionale linje, når der tages hensyn til flere og flere detaljer i de ved den matematiske forskrift givne snørkler). Eller det kan være en flade, som krummer og folder sig på en så indviklet måde, at et helt tre-dimensionalt volumen udfyldes\*.



Figur 16.2. Fraktal struktur med to på hinanden vinkelrette linjestykker som grundelement. Ovenover ses de første stadier, mens linjestykkernes længde på figuren nedenfor (hvor linjerne er hvide på sort baggrund) har undergået ni halveringer.



Sagt i ord kan definitionen på fraktaler lyde indviklet, men ideen bliver klar, når man betragter et billede som figur 16.2. Den matematiske forskrift er at udskifte hver linje i figuren med to linjer, som danner en ret vinkel med hinanden:

- erstattes med  $\wedge$

eller i symbolsprog:

\* Størrelsen af den del af arealet eller volumenet, som dækkes, karakteriseres ved en "fraktal dimension", som altså ikke behøver at være et helt tal, men f.eks. kan have værdien 1.7 (heraf betegnelsen "fraktal").



De to ny linjestykker erstattes derefter igen med hver et par, og så videre. Efter hvert skridt er antallet af linjestykker fordoblet, og til sidst dækkes et helt fladeareal. Den resulterende figur afhænger af, til hvilken af de to mulige sider hvert nyt linjepar anbringes (ovenover eller nedenunder, hvis den oprindelige linje er vandret). I figur 16.2 er orienteringen af det første linjepar i hver generation (dvs. ved hver fordobling af antallet af linjer) valgt tilfældigt, mens hver af de følgende på skift er anbragt til den ene og til den anden side. Anbringes det første par i hver generation til en bestemt side, fås et helt regulært snefnug.

Eksemplet rummer to egenskaber som er typiske for mange (men ikke alle) fraktale mængder. For det første en ligedannethed mellem strukturen på lille og stor skala: Ses med lup på en del af mængden, så opdages stadige gentagelser af det mønster, som hele mængden danner. Sagt på en anden måde indeholder hver del tilstrækkelig information til at konstruere hele figuren. For det andet at mere "interessante" mønstre kan opnås ved at indføre et statistisk element i den matematiske forskrift (her altså i valget af, til hvilken side hver ny generation af gevækster skal udgå).

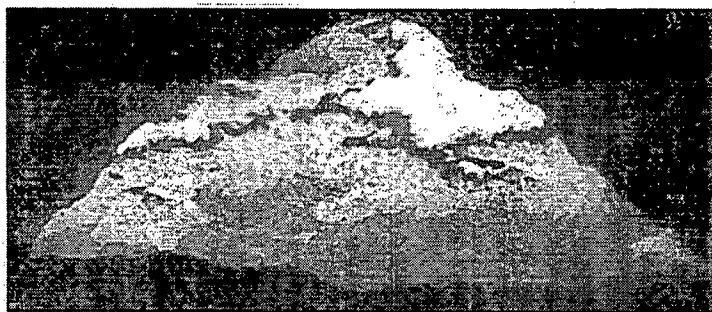
En række af de fysiske og biologiske systemer, som udviser kaos, har en fraktal struktur. Det gælder "støj" i elektriske systemer, hvirvler i turbulente væsker og luftarter, og muligvis også signaler mellem neuroner i menneskets hjerne. I modsætning til eksemplet i figur 5 er ligedannetheden mellem forskellige niveauer ofte ufuldstændig: Billedet på én skala minder om billedet på en anden skala, men er ikke identisk. At der findes en statistisk (modsat en eksakt) sammenhæng er ikke så mærkeligt, når systemet er kaotisk, uanset at det beskrives ved hjælp af deterministiske ligninger.

De egenskaber ved kaotiske og fraktale systemer, som her er omtalt, har fået mange til at se dem som modeller på de ting i vore omgivelser, som har et tilsvarende "u-deterministisk" udseende: bjergkæder, skyer, udviklingen af biologiske former. Allerede i 1972 talte matematikeren Renè Thom (1972) for, at kaotiske og fraktale begreber burde ingå i en generel "formlære", altså en lære om hvorfor ting har de former som vi observerer omkring os. Benoit Mandelbrot foreslog i 1982, at simple fraktale forskrifter rent faktisk kan beskrive en række fænomener i naturen, såsom bjergkæders og skyers form: "Naturen er fraktal". I figur 16.3 ses et eksempel på et fraktalt bjerglandskab (Deudney, 1986), mens figuren 16.4 viser udsnit af den fraktale mængde, som har fået Mandelbrot's navn. Den bygger på forskriften

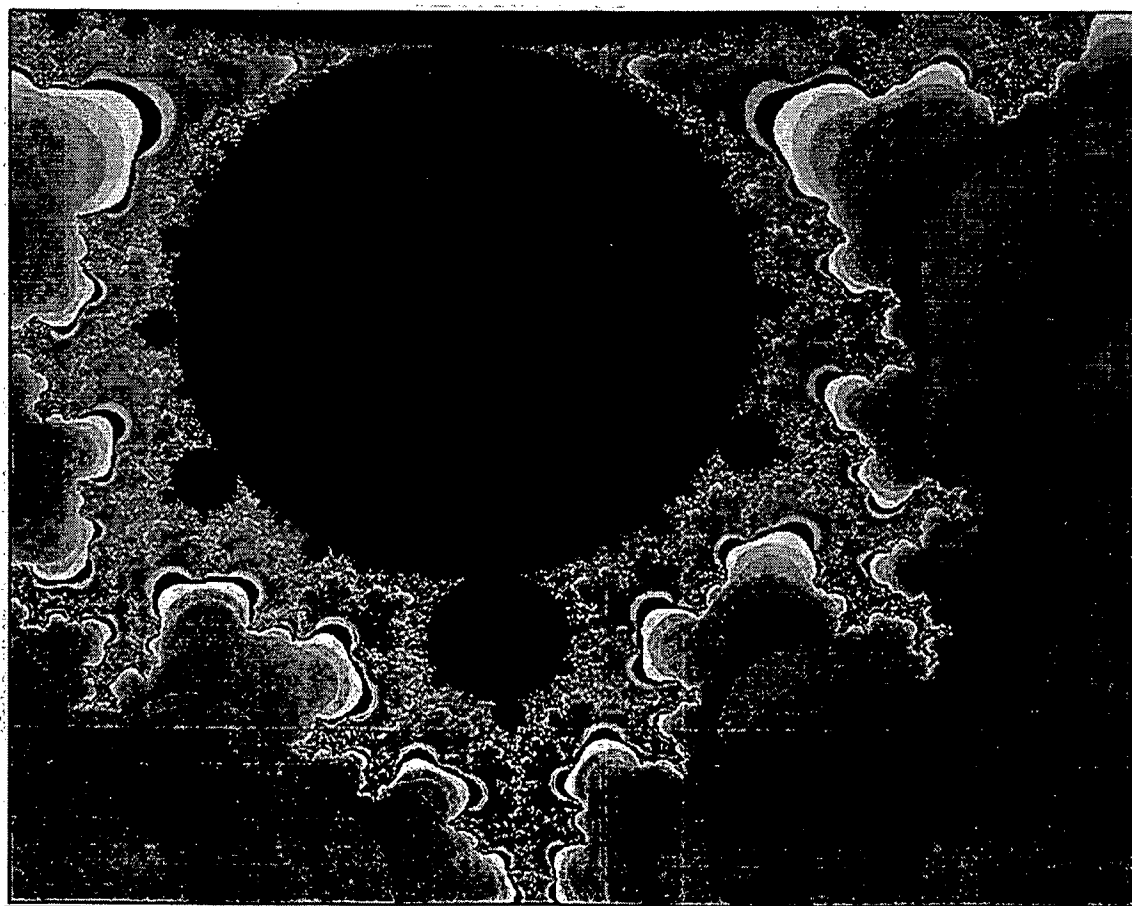
$$\begin{aligned}x &\leftarrow x + x - y + c \\ y &\leftarrow 2x - y + d\end{aligned}$$

hvor "<" betyder "erstattes med". Vi betragter en flade (en "plan"), hvor hvert punkt er givet ved  $c$  og  $d$ , idet der skal gås  $c$  skridt mod øst og derefter  $d$  skridt mod nord for at komme fra et fastlagt nulpunkt til det aktuelle punkt. Nu startes med  $x=0$  og  $y=0$ , og de to højresider i ligningerne regnes ud. Derved fås ny værdier for  $x$  og  $y$ . Med disse regnes højresiderne igen ud,  $x$  og  $y$  erstattes med de udregnede højresider, og så

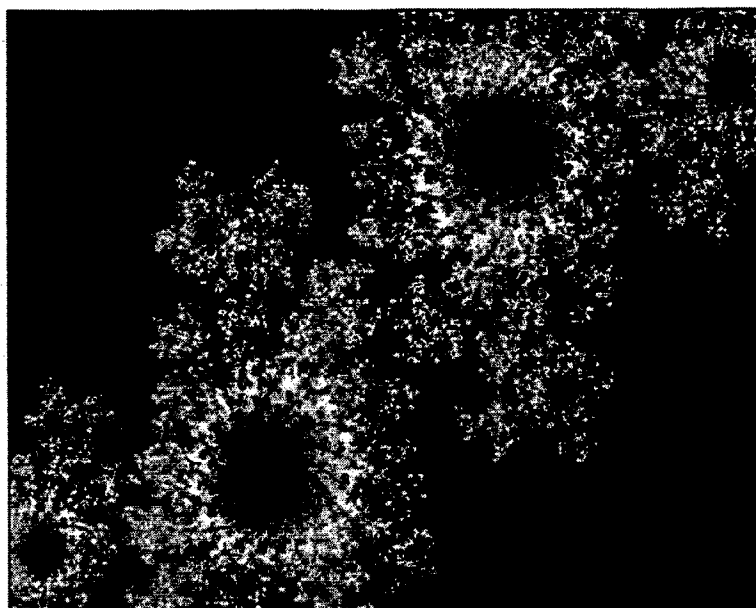
fremdeles. For hver udregning flytter det ved  $x$  og  $y$  givne punkt i planen sig et nyt sted hen, og bliver vi ved i det uendelige, kan der enten ske det at punktet kommer uendeligt langt væk fra nulpunktet, eller at det ikke gør. I sidste tilfælde hører det oprindelige punkt givet ved  $c$  og  $d$  med til Mandelbrot's mængde, og i første tilfælde kan vi markere hvor hurtigt det ved  $x$  og  $y$  givne punkt forsvinder fra nulpunktet ved (i det ved  $c$  og  $d$  givne punkt) at placere en forskellig farve, eller en tone, eller en højde op over fladen. Figurerne 16.4 benytter en farve (eller gråtone), mens figur 16.5 oversætter fraktalerne til musikalske noder (lyd-frekvenser) (Peitgen and Richter, 1986).



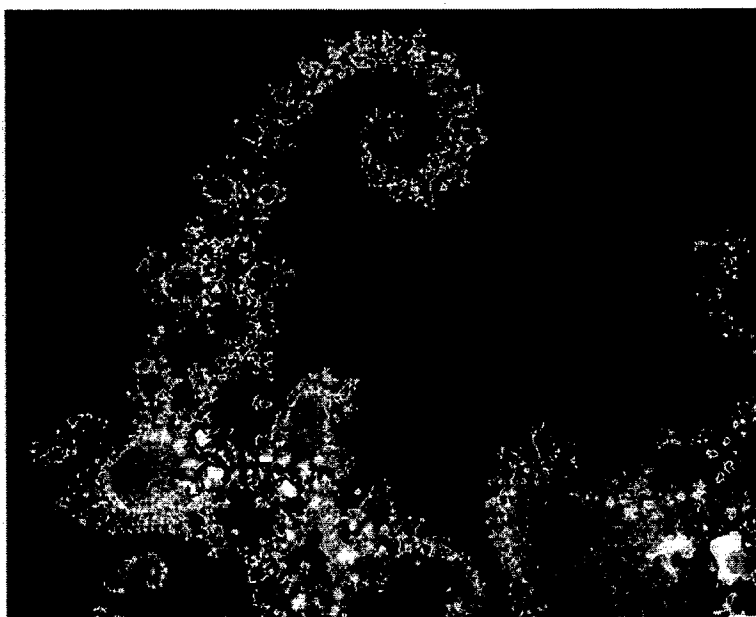
Figur 16.3. Fraktalt bjerglandskab med tilfældig højdevalg for hver ny underopdeling af trekantmønstrer.



Figur 16.4a. Udsnit af Mandelbrotmængdens rand, repræsenteret ved farve/gråtone skala.



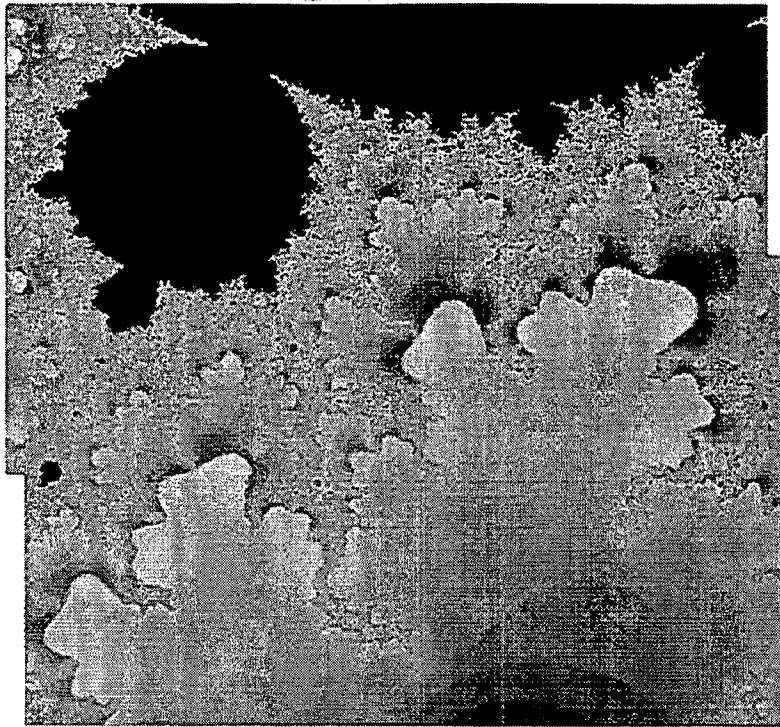
Figur 16.4b. Udsnit af Mandelbrotmængdens rand, repræsenteret ved farve/gråtone skala.



Figur 16.4c. Udsnit af Mandelbrotmængdens rand, repræsenteret ved farve/gråtone skala.



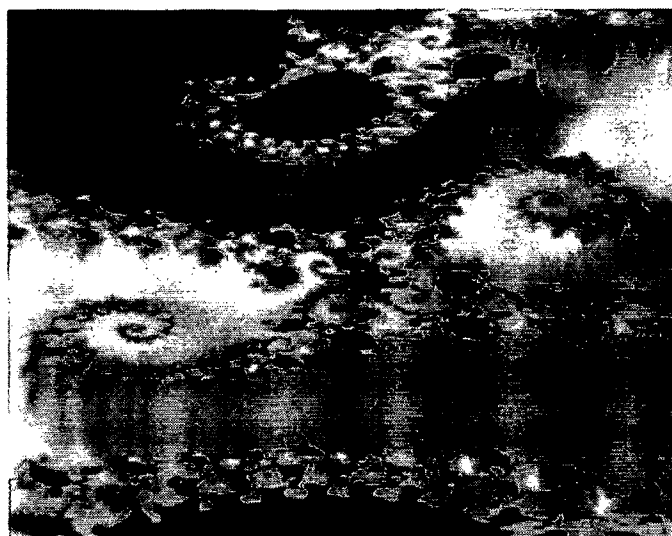
Figur 16.4d. Udsnit af Juliamængden, der er komplementær til Mandelbrotmængden.



Figur 16.4e: Udsnit af Mandelbrotmængdens rand, repræsenteret ved farve/gråtone skala.



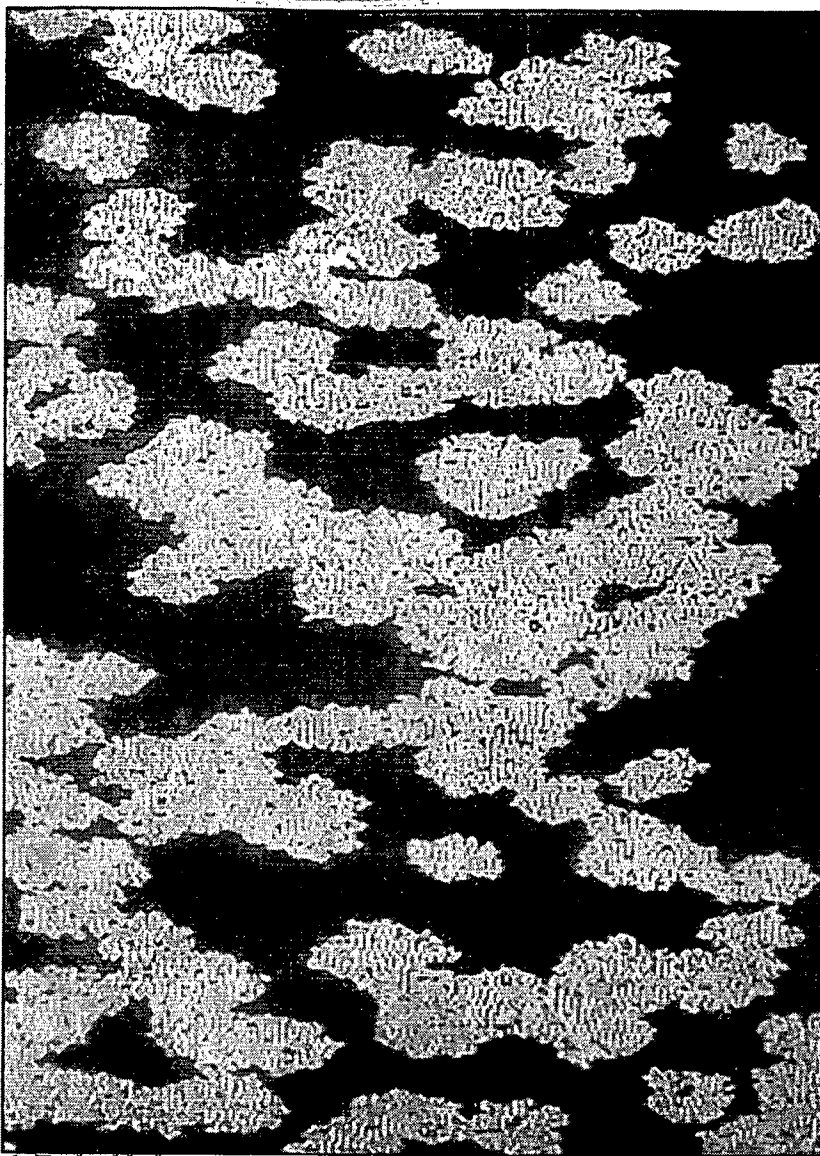
Figur 16.4f: Udsnit af Mandelbrotmængdens rand, repræsenteret ved farve/gråtone skala.



Figur 16.4g. 3-dimensionelt udsnit af Mandelbrotmængdens rand.



Figur 16.5. Udsnit af Mandelbrotmængden, repræsenteret ved noder (tolvtone-skala).



*Figur 16.6. Fraktal bakteriekultur, som fra en udgangssituation med tilfældig udsprede enkeltbakterier har udviklet sig til et system af bakteriekolonier med to forskellige typer af organisation (lodrette eller vandrette kæder).*

Fraktale forskrifter kan også have ligheder med udviklingen af biologiske systemer, som f.eks. bakteriekulturers vækst. Figur 10 viser en fraktal "bakteriekultur", som den ser ud nogen tid efter at være startet med tilfældigt placerede enkeltbakterier. Forskriften er ganske simpel: Vækst sker tilfældige steder i kulturen, men der "fødes" kun en ny bakterie hvis den er omgivet af to eller tre gamle. En bakterie der omgives af færre end to andre, eller flere end tre, dør snart (i sidste tilfælde kan vi sige "fordi der ikke er føde til så mange på ét sted" (Gardner, 1970).

Fraktale billeder er ofte smukke, og det er rigtigt, at de kan *ligne* bjergkæder, skyer og lignende. Det er dog kun i specielle tilfælde, at naturen virkelig *er* fraktal, altså at den

fraktale model kan stå for en nærmere afprøvelse. Disse tilfælde ligger ikke særlig nær hverdagen, og i de tilfælde, som er nævnt ovenfor, er den fraktale model forkert: Bjergkæder er ikke fraktale, simpelthen fordi de mekanismer som bestemmer bjergkædernes form (f.eks. foldning kombineret med erosion bevirket af floder og vand-ansamlinger i sprækker) er forskellige fra de simple matematiske forskrifter, der beskriver de fraktale mønstre (som Mandelbrot's ovenfor). En nøjere granskning af "fraktale bjerge" (eksempelvis figur 16.3) afslører da også træk som ikke findes i rigtige bjerge, og omvendt. I tilfældet med bakteriekulturen er hverken formeringsprincippet eller dødsriteriet tæt på at repræsentere den viden vi har om rigtige bakteriekulturer.

Med andre ord: Naturen er ikke fraktal, omend den i mange tilfælde er kaotisk!

Alligevel har de fraktale eksempler vist os noget om de mekanismer, som gør at deterministiske systemer kan føre til komplekse former, som vi ser dem i landskaber eller voksende bakteriekolonier.

Der er en dybere grund til, at naturen ikke er fraktal: kvantefænomenerne. Når vi betragter systemer, for hvilke kvanteeffekter bliver vigtige (enten fordi systemerne er små, som f.eks. atomer, eller fordi stoffet befinder sig i særlige tilstande, f.eks. som superledende materiale), så synliggøres kvantemekanikkens usikkerhedsrelationer: vi kan ikke samtidig kende et systems bevægelse og sted, hvilket normalt betyder at såvel hastighed som sted er "udtværet", altså nok ligger indenfor et vist område, men ikke kan bestemmes nærmere. Vi kan kun angive sandsynligheder for, at systemet befinder sig på et givet sted til en given tid. Dette giver determinisme-princippet den ny drejning (se Sørensen, 1987), som indebærer at det aldrig er muligt præcist at forudberegne et kvantesystems fremtidige tilstand.

Spørgsmålet rejser sig nu, om kvantesystemer ligesom de klassiske kan være kaotiske og fraktale. Undersøgelser af kvanteteoriens matematiske udtryk har ikke i noget tilfælde afsløret kaotisk opførsel, og det antages derfor, at kvantesystemer ikke kan opføre sig kaotisk. Hvad det fraktale angår, så ville f.eks. den for mange fraktale systemer karakteristiske ligedannethed blive udvisket, når vi kommer ned på så lille en skala, at kvante-ubestemtheden sætter ind. De fraktale mønstre kan ikke eksistere på kvanteniveauet, fordi de beskriver en regelmæssighed og forudsigelighed, som er i fundamental modstrid med kvanteteoriens ubestemthedsrelationer.

På det seneste har de fraktale billeders lighed med virkeligheden fået en konkret anvendelse til digital lagring af billeder. Tænk på et fotografi af et landskab, som f.eks. har en opløsning på 2000 punkter på tværs og 2000 på langs, og med 1000 skelnelige farvenuancer. Til at lagre dette billede elektronisk kræves altså  $2000 \times 2000 \times 1000$  bits (lager-enheder som kan sættes til "0" eller "1"), hvis det gøres lige ud ad landevejen. Det

---

\* Et eksempel på "rigtige" fraktaler i naturen er visse grænseområder mellem magnetiserede og ikke-magnetiserede områder i faste stoffer. Disse er beskrevet i afsnit 9 og 10 i Peitgen og Richter's bog (1986).

er mange, og det tager lang tid at manipulere et sådant billede på en computer. Problemstillingen har ikke mindst militærets interesse, i forbindelse med bombefly og missilers genkendelse af det "mål", som man ønsker at ramme. En række teknikker kan komprimere billedet. Hvis f.eks. en række punkter i billedet er ens, så er det kun nødvendigt at gemme informationen én gang, foruden at gemme et tal som angiver, hvor mange ens punkter der er. På denne måde opnås typisk 5-20 gange komprimering, afhængig af billedets indhold. Det amerikanske forsvar har nu udviklet en fraktal billedlagrings-teknik, hvor billedet opdeles i områder, der tilnærmes med standard fraktale billeder hentet fra et bibliotek med nogle tusinde sådanne reference-fraktaler. Disse behøver ikke at gemmes som billeder, men i langt kortere form som matematiske forskrifter. Billedet og dets farver gemmes nu som en række fraktale koder, sammen med specifikation af, hvor delene skal placeres, og hvordan de eventuelt skal drejes, spejles og formindskes eller forstørres. Alt i alt er det på denne måde muligt at komprimere den information, som skal lagres for at kunne behandle og genskabe et billede, over 10000 gange (Barnsley and Sloan, 1988).

Kvantemekanikken har sin måde at gøre determinismen praktisk uanvendelig på, og den klassiske fysik viser sig at kunne opnå det samme på en helt anden måde. For klassiske systemer kan vi begrunde den kaotiske opførsel ved at sige, at praktiske størrelser, som altid er middelværdier over (små eller større) tidsrum eller afstande, ikke nødvendigvis følger de simple love, som gælder før vi indfører middelværdierne. I begge tilfælde er humlen altså, at vi aldrig kan måle tider og steder med 100% nøjagtighed, men mens dette i den klassiske fysik er et praktisk problem, så er det i kvanteteorien fundamentalt umuligt, som følge af komplementaritetens naturlov.

## KAOS I DET STRØMLINEDE SAMFUND

Skiftende socialdemokratiske og konservative regeringer har hele tiden ladet sig lede af de råd som de får af "økonomiske vismænd". Når det alligevel går ned ad bakke med nationens økonomi, så begrundes det med at regeringen ikke opfyldte alle vismændenes krav, eller at befolkningen i sin dumhed handlede urationelt. Det gælder ikke blot i Danmark. Overalt i verden lader politikerne sig styre af økonomiske vismænd, hvis råd ikke er så forskellige endda, trods tilhørsforhold til forskellige økonomiske skoler.

Forslag til alternative måder at ordne et samfunds økonomi på bliver normalt betegnet utopier, og det eneste reelle alternativ synes at være at "melde sig ud af samfundet", som hippierne og en række Christiania-agtige grupper gjorde det i 1970'erne. Det vil sige at prøve selv at leve efter alternative normer, men samtidig at miste indflydelse på den retning, som det store samfund udvikler sig i.

Ideale forhold for utopister findes i nybyggerlande som Australien, hvor enhver kan flytte "ud på landet" og forsøge at skabe sig en tilværelse med egne hænders arbejdskraft, og uden indblanding eller hjælp fra myndighederne. I 1982 besøgte jeg



nogle venner i Australien, som netop havde meldt sig ud af samfundet på denne måde: Med kapital i ryggen fra nogle års lukrativt arbejde i et regeringskontor havde de påbegyndt bygningen af et stort hus midt ude i bushens barske tørhed. En vindmølle blev opsat på en bakketop. Vand blev pumpet op og en endeløs kamp for at omdanne ørkenen til agerland begyndt.

Vi sad og snakkede økonomisk teori i storstuen, mens en let brise af rødt støv fejede ind fra den beskadigede endevæg. En wombat havde efterladt et meterstort hul i væggen: Dette stærke, men ikke særlig kløgtige pungdyr havde besluttet sig til at gå i en bestemt retning, og så var væggen pludselig i vejen, men den havde fortsat ufortøvent og var gået lige igennem den traditionelle australske træ- og gipsvæg. Samtalen tog udgangspunkt i en artikel af John Blatt, en australsk fysiker (kendt for en lærebog i matematisk fysik som bruges over hele verden), som havde skiftet forskningsområde til økonomi og skrevet et flot bidrag til en bog der udkom året efter med den provokerende titel "Hvorfor økonomi endnu ikke er en videnskab" (Eichner, 1983).

Et argument er, at de i dagens teorier grundlæggende økonomiske begreber ikke kan måles, og at det ikke er muligt i aktuelle samfund at undersøge gyldigheden af de fremsatte økonomiske teorier. Kort fortalt er stor set alle økonomiske teorier lineære, hvilket betyder at de ikke har kaotiske løsninger. Dette turde gøre dem uanvendelige i en virkelighed, hvor samfundsøkonomierne gang på gang udviser kaotisk opførsel (tænk for eksempel på det lille flertal i Den øverste Sovjet, som bragte Gorbachev til magten og herved på en række punkter ændrede udviklingen overalt i verden de følgende år, eller tænk på hvordan et sammentræf af rygtedannelser på New York's børs har ført til panik med verdensomspændende økonomiske følger).

Nogle økonomer vil hævde, at der ikke er noget i vejen for at indføre ikke-lineære sammenhænge i de gængse teorier, men dette er bedrag, fordi formen af sådanne sammenhænge er ukendt. I standard teorierne bestemmes modellens ukendte størrelser (parametre) udfra tidligere observationer, hvorefter modellen med fastholdte parametre antages at kunne beskrive fremtiden. Det Blatt og andre kritikere siger er, at de indgående parametres tidsudvikling er det centrale, og beskrivelsen af denne kræver en ny, underliggende økonomisk teori, som idag ikke er kendt. Med andre ord har vi endnu ikke nogen sammenhængende økonomisk grundteori: Økonomiens stade er som fysikkens før Newton!

Denne situation, at der findes en række "skoler" med hver deres teorier, som imidlertid alle har grundlæggende mangler, er økonomien ikke ene om. Den findes i mange forskningsgrene (f.eks. psykologi), og er i mine øjne ikke nogen grund til at frakende disse områder status som "forskning". Tværtimod er det spændende områder, hvor der endnu er mulighed for forskningsmæssige gennembrud i stil med Newton's bidrag til fysikken - den første i forhold til virkeligheden holdbare teoridannelse (holdbar inden for et velafgrænset gyldighedsområde, som ikke Newton, men Einstein og Bohr var de første til at beskrive).

Problemet opstår, når repræsentanter for videnskabsgrene, som endnu savner en fundamental teoretisk afklaring, begynder at rådgive politikere og akcepteres som "vismænd". Det videnskabelige grundlag er på linje med oraklet fra Delfi's eller Jehovas Vidner's, og så længe størstedelen af verdensøkonomien styres efter retningslinjer af denne type, så er der ikke meget håb for det samfund, som ønsker at sætte sig nogle konkrete mål og derefter styre mod dem.

Heldigvis er der jo andre forhold, som er med til at bestemme et samfunds udvikling, end den økonomiske politik. Menneskers måde at håndtere deres job på, såvel som deres medmenneskelige aktiviteter udenfor jobbet, er vigtige for hvordan det opleves at tilhøre et givet samfund. Den gensidige forståelse, der ligger bag et samfunds reaktion i givne forhold, bygger på fælles normer og graden af tolerance. Er det ikke sådanne ingredienser, som mangler i økonomisk teori? Den amerikanske forsker Richard Estes sluttede i 1984 på basis af en sådan bredere vifte af sociale indikatorer, at Danmark (på dette tidspunkt) var det bedste land i verden at leve i (Estes, 1984). At lande med overskud på betalingsbalancen stadig synes at det er en god investering at sætte deres overskud i det forgældede Danmarks velfærd, er kun rart.

Når økonomer og andre samfundsforskere angribes for at mangle brugbare teorier, så fremføres det ofte, at fordi samfund består af mennesker, som kan vælge og vælge om, så duer det ikke at bruge deterministiske teorier, og man kan højst håbe på at opnå en statistisk beskrivelse udtrykt ved sandsynligheden for forskellige fremtidige situationer.

Det er en dårlig undskyldning, for som vi har set i det foregående kapitel, så gælder det jo også både den klassiske fysik og kvantefysikken, at vi må tale om virkeligheden ved hjælp af sandsynligheder og begreber som kaos. Og alligevel er der her en overbevisende deterministisk teori under disse fænomener, en teori som vi har afdækket væsentlige sider af gennem et par hundrede års videnskabeligt arbejde. Der er en tendens til, at samfundsforskere griber den (under forudsætninger som klart kan specificeres) rigtige påstand at "alt er relativt", og derefter bruger den til at påstå, at så kan en hvilkensomhelst mening være "lige god", og at videnskab som sådan derfor aldrig kan være objektiv. I fysikken er det lykkedes at karakterisere grænserne for objektivitet, og at formulere de spilleregler, som gælder for relativiteten. Derfor er der en helt klar forskel på de videnskabsgrene, som endnu ikke har fundet nogen konsistent teori, og dem som har.

Måske ligger svaret lige om hjørnet, hvad angår økonomisk teori. Hvis samfund holdes sammen af fælles normer, fælles visioner, på trods af medlemmernes forskellige motiver til konkret handlen i enkelttilfælde, så er det vel disse begreber, som skal indgå i teoridannelsen. Det må også gøres krystalklart, hvad formålet med økonomisk teori skal og kan være: Er det at forudsige den mest sandsynlige udvikling, eller er det at

---

\* A. Eichner benytter i Nature artiklen citeret ovenfor ordet "creationists" og finder det forargeligt, at der uddeles Nobelpriser i økonomi.

besvare en række "hvis-så" spørgsmål: hvis vi gør sådan, hvordan går det så...

Det første forslag, at der skulle findes en teori for den mest sandsynlige udvikling, er udelukket så snart vi erkender at samfundet kan opføre sig kaotisk, i den veldefinerede betydning, at små skub til betingelserne på et vist tidspunkt kan føre til store forskelle til senere tider. Exit 70'ernes ministerielle fremskrivninger og sædvanlig økonomisk vismandssnak, hvor det blot gælder om at fastlægge "vækstprocenten".

Derimod kan der stadig fremsættes hvis-så udsagn af typen, at hvis såvel ydre omstændigheder som befolkningens handlingsmønster fortsætter uændret, så vil betalingsbalanceunderskuddet til næste år blive så og så stort. Der kan dog ikke planlægges efter sådanne udsagn, fordi det på længere sigt hverken er sandsynligt eller ønskeligt, at parametrene ikke ændres. Men vi kan opstille modeller til afprøvning af forskellige politiske handlingsmønstre, hvor vi forsøger at tage hensyn til usikkerheden hvad angår såvel ydre som indre forholds udvikling indenfor planlægningsperioden. Herved kan nogle handlingsmønstre fremstå som *fleksible*, altså at det ønskede resultat kan opnås næsten uanset hvordan de ustyrlige forhold udvikler sig, mens andre politiske valg vil fremstå som *sårbare* overfor ændringer i de indgående antagelser.

Økonomisk planlægning bliver herved *normativ*, i og med at det vælges at studere de fremtidsvisioner, som samfundets medlemmer selv ønsker at undersøge nærmere. Visionerne konkretiseres til *scenarier* for interessante fremtidssamfund (dvs. mere udpenslede billeder af den fremtidige situation), og disse scenarier undersøges for konsistens (om tingene hænger sammen), og for om der findes troværdige veje, som fører fra den nuværende situation til scenarie-fremtiden (med specifikation af nødvendige beslutninger undervejs). I mange tilfælde vil den videnskabelige metode være at gå baglæns fra scenarie-situationen mod den nuværende. Endelig kan forskellige scenarier så sammenlignes ud fra kriterier som fleksibilitet eller sårbarhed. Der er ingen påstand om at der blandt de foreslåede scenarier findes nogen "bedste af alle fremtider": Der er uendelig mange fremtids-scenarier, som ikke er blevet konkretiseret og undersøgt, og netop derfor er planlægningsprocessen en løbende aktivitet. Det er ikke muligt at finde "den rigtige fremtid" eller "den rigtige politik" og så blot styre mod målet. Hele tiden må ny visioner formuleres i ny scenarier som forekommer tillokkende nok til at fortjene en nærmere undersøgelse, og muligheden for, at der herved fremkommer bedre løsninger end de hidtil betragtede, må indgå i fleksibilitetsvurderingen.

Det her skitserede forsøg på at formulere en alternativ økonomisk teori, hvor alle samfundsforhold inddrages på lige fod uden nødvendigvis at skulle omsættes til penge, er udsprunget af forsøgene på at opstille en alternativ energiplanlægning (Erikson, 1984). Håndteringen af de mange hensyn, som 70'ernes energidebat havde afsløret nødvendigheden af at tage, førte til en række famlende forsøg på at formulere ny teoretiske begreber, som kunne anvendes redskaber i planlægningen (Sørensen, 2000), og gennem 80'erne er det forsøgt at samle disse tilløb til en egentlig alternativ økonomisk teori (Burns, 1985).

Flere af de alternative samfund og teoretiske utopier (Meyer *et al.*, 1978), som blev "afprøvet" i 70'erne, havde nogle af de ny økonomiske begreber indbygget, men i andre henseender var de ligeså firkantet baseret på den filosofi, at der var ét ideelt mål-samfund, som det blot galdt om at realisere, som det gamle samfund de gjorde oprør imod. I 80'erne synes de teoretiske redskaber til håndtering af samfundsplanlægningen omsider at være på trapperne, men istedet for at bruge dem, er der en udbredt politisk stemning i retning af at "vi har ikke længere råd til at eksperimentere med samfundet". Hvilket i praksis betyder, at den politiske handling stadig sker på grundlag af økonomisk "visdom" hentet udaf uvidenskabelig økonomisk orakleri.

## PARADIGMER TIL HUSBEHOV

"Paradigme" er blevet et modeord. I Danmark er der kommet et tidsskrift kaldt "Paradigma", hvor man bl.a. kan læse om simplificeringsparadigmet, kompleksitetsparadigmet, forståelsesparadigmet og synlighedsparadigmet (Paradigma, 1987). Påstanden er, løst sagt, at vi idag er vidner til et idémæssigt holdningsskift, væk fra den "fysikkens arbejds-metode", hvor det gælder om at se bort fra forvirrende enkeltheder med henblik på at finde simple, generelle lovmæssigheder, og over i en akcept af, at naturen er kompleks og uforståelig, netop sådan som humanister efter sigende altid har opfattet den.

De for et par kapitler siden nævnte eksempler på fysiske systemer, der opfører sig kaotisk, udlægges sammen med kvantemekanikkens sandsynlighedsfortolkning som beviser for, at determinismen ikke længere gælder i fysikken. Herved bliver der plads til at det psykiske og/eller det religiøse igen kan spille en afgørende rolle, og ovenikøbet med udvalgte fysikeres velsignelse.

Nuvel, lad mig om et øjeblik se nærmere på nogle af de fremførte eksempler på paradigmeskift, men først lige minde om videnskabsteoretikeren Thomas Kuhn's oprindelige definition af paradigme (Kuhn, 1973): Et paradigme er det fælles idégrundlag, som indenfor en bestemt videnskabsgren definerer hvad det er fagligt acceptabelt at beskæftige sig med. Paradigmebegrebet er altså sociologisk defineret, og det forklarer ifølge Kuhn forskernes arbejdsmetode i "normalperioder", inklusiv de ifølge tidligere videnskabsteorier uforklarlige valg mellem, hvorvidt eksperimentelle forsøg, som synes at stride mod teorien, bør føre til modifikation af teorien, eller føre til en afvisning af forsøgene som utroværdige. Kuhn karakteriserer videnskabsgrene som fysikken ved lange normalperioder, afløst af korte overgangsperioder, hvor uoverensstemmelser (f.eks. mellem teori og eksperimenter) bliver så voldsomme, at det bliver sociologisk acceptabelt at opstille alternative paradigmer, som så kan sam-eksistere, indtil et af dem vinder overhånd og en ny normalperiode begynder.

Et sådant paradigmeskift skete i fysikken med kvanteteoriens gennembrud, og et nyt synes ved at ske i disse år, omend på et helt andet område end det, Paradigma-folkene

har i tankerne. Det drejer sig om superstrengteorien for stoffets opbygning, en teori der antager at alt stof er opbygget af små, vibrerende strenge (Sørensen, 1987). Teorien, der forener kvantemekanik med relativitetsteori og forklarer alle kendte kræfter i naturen, repræsenterer et paradigmeskift fordi den forlanger, at rummet har flere end de tre dimensioner, vi er vant til at opfatte. En sådan påstand forekom for få år siden de fleste fysikere absurd, men idag akcepteres den som en reel mulighed, der ovenikøbet peger i retning af en rent geometrisk naturbeskrivelse, altså en beskrivelse, hvor begreber som "stoffets egenskaber" og "kræfter mellem stofdele" erstattes af begreber som "krumning af tid og rum i mange dimensioner", således at naturbeskrivelsen bliver et spørgsmål om at følge dynamikken - variationerne - i disse krumninger.

I Kuhn'sk forstand er det mere tvivlsomt, om kaos-fænomenerne berettiger til betegnelsen paradigmeskift, og direkte forkert er det, at fysikkens holdning til determinisme skulle være ændret. Vi har jo netop set, at de kaotiske fænomener beskrives af deterministiske ligninger, ligesom kvantefænomenerne gør det. At kvanteteorien alligevel ikke tillader en præcis forudsigelse af fremtiden, har været klart siden sidst i 1920'erne, og at kaotiske fænomener såsom turbulens i praksis kunne gøre den klassiske fysiks determinisme uanvendelig, har været klart i over hundrede år. Det ny er, at fysikerne idag, bl.a. ved hjælp af computere, bedre er i stand til at studere de kaotiske fænomeners fremkomst og egenskaber, men det fortjener næppe at blive betegnet som et nyt paradigme - uanset at det givetvis vil forskyde vægten i arbejdsopgaver fremover, i retning af flere studier af ikke-lineære systemer.

Blandt de kandidater til paradigmeskift i fysikken, som især ikke-fysikere beskæftiger sig med, fremhæves særdeles ofte to forslag til ny idémæssige standpunkter, som er beskrevet i en række bøger af henholdsvis kemikeren Ilya Prigogine og fysikeren David Bohm.

Prigogine's udgangspunkt er hans mangeårige forsøg på at opstille en termodynamik for systemer, der er langt fra ligevægt. Den sædvanlige termodynamik beskæftiger sig kun med systemer i eller nær ligevægt. Termodynamikken beskriver den type systemer, der kan karakteriseres ved egenskaber som temperatur og tryk (f.eks. luftarter under visse omstændigheder), ved love der ikke refererer til systemets detaljerede opbygning udfra enkelte molekyler. Tryk og temperatur kan defineres udfra passende middelværdier af molekylernes hastigheder og kvadratet på disse hastigheder. De enkelte molekyler følger Newton's love, og man kan derfor ikke umiddelbart gå ud fra, at der findes simple regler for, hvordan middelværdierne opfører sig, fordi forholdene på stor skala indvirker på forholdene på molekyle-niveau og omvendt. Det gør der faktisk heller ikke, som f.eks. studiet at atmosfærens tidsudvikling (vejrforudsigelser) viser (Wiin Nielsen, 1987).

Sådanne systemer opfører sig ofte kaotisk. Men, under ganske særlige omstændigheder, nemlig når systemet er i ligevægt, så forsvinder alle de led i de Newtonske ligninger, som sammenkobler bevægelsen på lille og stor skala, og i dette specialtilfælde gælder simple love for middelværdierne, nemlig termodynamikkens. Skal termodynamikken

anvendes f.eks. på et dampkraftværk, så må vi antage, at dampen på sin vandring rundt i systemet tager sig god nok tid til at komme i ligevægt med såvel varmekilden (kedlen) som kølevandet. Kun da gælder termodynamikkens lov om, hvor stor en udnyttelsesgrad man maksimalt kan opnå. I praksis bevæger dampen sig for hurtigt til at dette opnås, og der er derfor behov for en udvidet termodynamik, for systemer som ikke er i ligevægt.

Prigogine har forsøgt at beskrive ikke-ligevægtssystemers mest sandsynlige vej mod ligevægt, altså "udviklingens retning", men hidtil uden held. Nær ligevægt kan det lade sig gøre ved at opdele processen i en række små skridt mellem ligevægtstilstande, og på denne måde eksempelvis at forklare dampkraftværkets virkelige opførsel (Andresen, 1982). Men når det gælder systemer langt fra ligevægt, så ved vi (fra kaoskapitlet), at der i mange tilfælde kun skal minimale skub til at føre systemet et helt andet sted hen, og det må derfor være håbløst at søge efter en formalisme, som generelt beskriver *den faktiske vej* et sådant system følger. Det var det Prigogine forsøgte (og fik Nobelprisen for at have forsøgt), altså at ville opstille deterministiske love for store, sammensatte systemers opførsel, på linje med dem vi kender for elementære systemer ("partikler") (Prigogine, 1978).

Prigogines ny idé er, at kaos er det normale, og at det derfor gælder om at vise, at orden kan opstå udaf kaos. Det mener Prigogine kun kan lade sig gøre ved at opgive den simpelthed og pænhed, som ifølge fysikkens hidtidige love gælder på det mikroskopiske niveau - f.eks. er beskrivelsen af de simple processer, hvor en elementarpartikel deler sig eller to smelter sammen, ifølge de gængse kvanteteorier uafhængig af, om tiden går den ene eller den anden vej: hvis en vis proces er mulig, så er den omvendte det også. Prigogine postulerer nu en irreversibilitet (altså at man ikke bare kan vende processen om) helt nede på de enkelte partiklers niveau, i modstrid med kvanteteorien (såvel som med den klassiske mekanik) (Prigogine, 1980). Bortset fra at Prigogine's antagelse strider mod eksperimenter, som dagligt udføres i højenergilaboratorier (bl.a. det fælleseuropæiske center CERN i Geneve), så er antagelsen om fundamental irreversibilitet helt unødvendig, fordi vi allerede har en indgående forståelse af, hvordan reversibilitet på det mikroskopiske niveau kan føre til irreversibilitet på det makroskopiske niveau: Smider vi tante Agathe's vase på gulvet, så millioner af stumper flyver om ørene på os, så er hver vekselvirkning mellem vasens atomare bestanddele reversibel, men fordi der indgår millioner sådanne processer i vasens knusen, så er sandsynligheden for den modsatte proces (at stumperne hopper op og lige netop støder ind i hinanden så de gendanner vasen) givet ved produktet af millioner af faktorer  $1/2$  (idet vi antager lige stor sandsynlighed for hver enkelt proces' retning, så er sandsynligheden for, at alle de små tids-retnings pile peger samme vej, lig med produktet af delsandsynlighederne).

Prigogine's angreb på "simpelhedsparadigmet" er altså både forkert og unødvendigt, al den stund at den store (makroskopiske) verdens kompleksitet udmærket kan forstås uden at ændre ved eller tilføje noget til de idag kendte fysiklove.

Bohm's problem var oprindeligt, at han ikke kunne forlige sig med kvantemekanikkens sandsynlighedsfortolkning, og ville opfinde en underliggende teori, som strengt deterministisk kunne bestemme værdien af de sæt af størrelser, som ifølge kvanteteorien er komplementære og principielt ikke kan fastlægges samtidigt (f.eks. sted og bevægelse). Som omtalt i kapitlet om EPR og Aspect er det muligt eksperimentelt at skelne mellem teorier af Bohm's type og kvantemekanikken, og ifølge Aspects forsøg er Bohm's teori altså forkert. Det har dog ikke holdt Bohm tilbage fra at videreudbygge sin teori til et "nyt paradigme" (Bohm, 1980): Hver del af universet tænkes nu at indeholde information om det hele, om fortid såvel som fremtid, på samme måde som en lille del af et hologram indeholder tilstrækkelig information til at kunne genskabe hele billedet, eller ligesom den genetiske kode indeholder information nok til at kunne genskabe en levende organisme.

Bohm tvivler ikke om kvantemekanikkens gyldighed, men ønsker at ændre fortolkningen af den. Her tager han udgangspunkt i kvanteteoriens vacuum, altså den laveste energitilstand for et givet system. Denne energi er ikke nul, for det ville betyde, at der ingen bevægelse er i systemet og dermed ifølge Heisenberg's usikkerhedsrelationer, at systemets position er fuldstændig ubestemt, hvilket igen ville åbne mulighed for at systemet kunne vinde energi ved hensigtsmæssig lokalisering. Ifølge kvantemekanikken har systemet en bestemt tilstand med lavest mulig energi, og denne er ikke nul men svarer til, at der foregår "et eller andet" i systemet. For et partikelsystem er dette "et eller andet", at der jævnlige skabes og destrueres par af partikler og anti-partikler. Bohm ser nu en partikels bevægelse som en kæde af begivenheder, hvor den destrueres på ét sted for straks efter at blive genskabt i et nabopunkt. Sådan har man lov at fortolke kvantemekanikken, men den næste fortolkning, at der herved skulle være "indfoldet" et billede af helheden i hvert lille område af rummet, må stå for Bohm's egen regning. Kvanteteorien beskriver kun "hele" systemer, og er netop indrettet sådan, at man ikke kan udlede helhedens opførsel udfra studium af et begrænset område. Dette ville indebære eksistensen af nogle "skjulte variable", altså størrelser der ville give et større kendskab til systemet end de i kvanteteorien indgående variable. Det ser altså ud, som om Bohm stadig bygger på præcis de forestillinger om skjulte variable, som Aspect forsøget har vist er forkerte.

Bohm's projekt er at skabe et videnskabeligt begrebs-apparat, som indfanger det af østlige mystikere inspirerede begreb "holisme" (Voetman Christiansen, 1987). I praksis er Bohm's teori, udover tilsyneladende at være forkert, mindre holistisk end kvantemekanikken uden skjulte variable. Netop den gængse kvanteteori og dens fortolkning tvinger os til at betragte hele systemer, inklusiv de ydre forhold som kan have indvirken på systemet (måleapparatur med videre). Det er min opfattelse, at det meget prisværdige ønske om at bygge bro mellem humanisme og naturvidenskab ville være bedre tjent med, at man tager fysikken som den er på nuværende stadi, snarere end at kræve den eksisterende naturvidenskab (og i særdeleshed fysikken) omstyrtet som en forudsætning for brobyggeriet.

## FYSIKERE SOM TV-UNDERHOLDNING

I 1980'erne optrådte en af Danmarks interessanteste fysikere gentagne gange på fjernsynet i underholdningsprogrammer, nemlig Holger Bech Nielsen fra Niels Bohr Institutet. Hans bevægelsesmønster og stemmeintonation opfattes som morsomme, talens indhold som uforståelig, og alligevel får Bech Nielsens tydelige engagement overført det budskab, at her er en person som holder af sit job, hvor verdensfjert det end kan forekomme.

Om fysikken formidler Bech Nielsens TV-optræden den opfattelse, at fysik er et spændende fag, men ikke noget som lægfolk kan kapere. Det er i denne sammenhæng, at fysikerens optræden som TV-underholdning med på-plads-sættende undertoner bliver problematisk. Fysikkens naturforståelse er vigtig såvel for diskussionen af forskellige livssyn, som for mange af dagens debatter om ny teknologi, og det er min overbevisning, at den fysikviden, som skal til for at hver borger kan tage stilling til de teknologipolitiske problemstillinger, *kan* formidles så enhver der er interesseret kan være med. Det kræver imidlertid en pædagogisk indsats at koge et problem ned til en form, hvor principper og følgevirkninger træder klart frem i vrmlen af tekniske detaljer. Lykkes dette ikke, står befolkningen tilbage med det indtryk, at man skal være ekspert for at kunne tale med om sagen.

Fremvisningen af Holger Bech Nielsen på skærmen virker som et - formentlig utilsigtet - argument for at almindelige godtfolk skal holde sig fra indblanding i fortolkning og brug af nutidig fysik. Her forekommer det mig at fysikeren selv har et ansvar for, hvordan han bliver brugt. Bl.a. i spørgsmålet om at være forberedt, så seerne/tilhørerne får noget ud af hans optræden. Formidling er en vanskelig sag, som kræver både omtanke og et grundigt forarbejde, hvis afsenderens tanker og opfattelser skal nå modtagerne i spiselig form.

Jeg husker specielt en TV-underholdningsudsendelse (Sonny og Sufflé, 1987), hvor Bech Nielsen ville forklare tvillingeparadokset i relativitetsteorien. Det begyndte overordentlig morsomt med en omstændelig definition på tvillinger (hvor prisværdigt er det ikke at få demonstreret vigtigheden af, at alle er vidende om og enige i betydningen af de indgående begreber). Nuvel, så blev den ene tvilling puttet ind i et rumskib og sendt på rundtur i universet, mens den anden blev hjemme ved kødgryderne. Og et øjeblik efter var den hjemvendte rum-tvillings mindre ældning udråbt til at udgøre tvillingeparadokset, hvilket er noget grueligt sludder. Et opslag i en fysikbog før TV-udsendelsen kunne have fortalt Bech Nielsen, at tvillingeparadokset består i, at situationen ikke kan vendes om: Hvis alt er relativt i relativitetsteorien, hvorfor kan tvillingen i rumskibet så ikke opfatte det, som om søsteren på jorden akcelererer bort fra ham for senere at vende tilbage, *ynge* end rum-tvillingen!

Dette er det virkelige paradoks, som tvinger os til at gå videre end den specielle relativitetsteori's udsagn om, at tiden ikke måles ens hos de to tvillinger. Tvillingernes roller kan ikke byttes om, fordi den ene udsættes for accelerationer (når rumskibet



drejer eller vender), som den anden ikke er udsat for. Det kræver anvendelse af den generelle relativitetsteori at gennemregne tidens krumning under disse accelerationer, og sammen med antagelsen om at de biologiske processer forløber i takt med egentiden (tiden målt med et ur der følger det biologiske system), fås herved den rigtige biologiske alder for hver af de to tvillinger efter hjemkomsten. Historien er god til at illustrere relativitetsteoriens begrebsverden, men det forudsætter at den fortælles rigtigt!

Generelt er problemet, at noget af den brede interesse for fysik, som TV-værterne spiller på, kun bunder i ønsket om at bruge fysikken som legitimation for nogle holdningsmæssige positioner, f.eks. af mystisk eller religiøs art. Til at afstive disse holdninger er en uforståelig men ivrig og karismatisk fysikekspert naturligvis mere velegnet end en god fysikformidler. Sidstnævnte ville formentlig kunne demonstrere, at fysikken ikke kan tages til indtægt for bestemte trosretninger, men derimod er en vigtig ingrediens i skabelsen af den virkelighedsopfattelse, som ligger i bunden af enhver livsholdning.

## WINDING UP: PHYSICS AND REALITY

---

### AFRUNDING

---

Vel er vi på sporet af virkeligheden. Det vil sige at vi har begrundede ideer om, hvordan vi skal se på virkeligheden, beskrive den, tale om den og udnytte vor forståelse til egen fordel. Men vores forståelse af virkeligheden består stadig af fragmenter - stumper som til sammen danner konturerne af et billede, men som ofte indbyrdes er uforenelige og i Bohr'sk forstand komplementære. De to grundlæggende begrebsrammer, som idag gennem et komplementært sammenspil udgør vores virkelighedsbillede, er *atomisme* og *holisme*.

Atomismen er forståelse af virkelighedens sammensatte natur ud fra studiet af de fundamentale byggeklodser og reglerne for deres opførsel. Her er det elementarpartiklernes fysik og i særdeleshed superstrengteorien, som har givet os et indblik i stoffets opbygning og vekselvirkning. Vi fatter for første gang systematikken i de mange såkaldte "elementarpartikler", som de eksperimentelle laboratorier har vist os eksistensen af: de er forskellige kvantetilstande (svingningstilstande) af den samme grundsubstans, nemlig små, ringformede objekter som vi kalder *strenger*. Vi forstår for første gang grundlaget for fænomenet "kræfter", som vi længe har brugt til at beskrive stoffets vekselvirkninger (tyngdekræfter, elektromagnetiske kræfter, kernekræfter): en streng kan dele sig i to, og to strenger kan smelte sammen til én - disse processer er det fælles grundlag for alle kræfter (tænk på en 8-tals formet mellemtilstand, efter at strengen har snøret sig sammen på midten og lige før den deler sig).

Holismen er forståelse af komplicerede (og f.eks., men ikke nødvendigvis, store) systemers opførsel ud fra begreber som karakteriserer hele systemet; altså uden at ville eller kunne dele systemet op i enkle bestanddele. Her er vi gennem kaos-teorierne lige begyndt at fatte, at der trods den tilsyneladende vilkårlighed i komplekst sammensatte systemers opførsel er en række systematiske træk, som kan beskrives, katalogiseres, og i visse tilfælde endog forudberegnes. Et eksempel er atmosfærens fysik, hvor vores forståelse har taget nogle kovendinger gennem de sidste tre årtier:

I 1960'erne blev det for første gang muligt at foretage computerberegninger af atmosfærens udvikling, og det blev vist (Lorenz, 1967), at udviklingen nogle gange var kaotisk, andre gange ikke. Modelstudier over atmosfærens langtidsopførsel sandsynliggjorde, at atmosfæren trods ændringer i jordens banebevægelse og i indholdet af ilt og kultveilte var stabil - altså ikke kaotisk. Gennem 1970'erne forfinedes disse beregninger til mere detaljerede undersøgelser af de ændringer i den (stadigvæk) stabile tilstand, som menneskeskabte påvirkninger kunne bevirke (f.eks. støvforurening fra industri, opvarmning fra spildvarmeudslip, og udslip af kultveilte fra afbrænding af fossile brændsler).

Samtidig begyndte meteorologerne imidlertid at benytte tilsvarende modeller til vejrforudsigelser. Selvom man kun sigtede på nogle dages forudsigelser, viste det sig at pålideligheden af forudsigelserne var beskeden, og modellerne blev udvidet til at tage hensyn til en række af de forhold, som man havde set bort fra i første omgang. Man troede, at med lidt større arbejde og lidt mere computerkraft, så ville det snart lykkes at lave stort set korrekte vejrforudsigelser. Undervejs var systemets kaotiske struktur blevet glemt. Netop fordi atmosfærens opførsel et givet sted på kortere sigt er kaotisk, så er det *principielt umuligt* at lave korrekte vejrforudsigelser. Det er altså ikke et spørgsmål om at forbedre modellerne, men et fundamentalt træk ved de deterministiske ligninger, som beskriver systemet, at umådelige små skub til systemet til en given tid kan føre til vidt forskellige tilstande på en bestemt lokalitet fem dage senere.

Ingen beregning kan tage udgangspunkt i hver luftmolekyles tilstand til en given tid - der må nødvendigvis arbejdes med middelværdier over en vis rumlig og tidslig udstrækning. Og fordi systemet er kaotisk, så findes der ingen simpel teori for middelværdiernes opførsel. Den store overraskelse er på denne baggrund, at systemet set over lange tidsrum alligevel opfører sig pænt, altså ikke kaotisk. Det skyldes at molekylerne godtnok lokalt kan opføre sig kaotisk, men fordi hele atmosfæren er et sammenhængende system, så virker naboområderne tilbage på netop en sådan måde, at helheden set over længere tidsrum igen bliver forudsigelig. At det går sådan, snarere end at hele luftlaget en dag fordamper væk fra jorden, skyldes et sammenspil mellem solindstrålingens regelmæssige variation og jordklodens historisk bestemte sammensætning (solens andre planeter har som bekendt helt andre atmosfæreforhold).

Atmosfæren er altså et gennemtygget eksempel på et system, som godtnok under visse omstændigheder opfører sig kaotisk, men hvor det alligevel er muligt at forstå systemet og forudsige dets opførsel på en række vigtige punkter. Det gælder blot om at formulere de "rigtige" spørgsmål. Dette er netop det almene træk ved kaotiske systemer, som vi er igang med at fatte: Vi *kan* lære en hel del om systemerne, og målet må være af afdække, hvilke sider af systemet det er muligt at stille spørgsmål om, og hvilke sider det ikke er fornuftigt at spørge til. Kaos-fænomenerne indvarsler altså ikke den svar-orienterede fysiks endeligt, men udgør tværtimod et nyt eksempel på det frugtbare i den angrebsvinkel, som sigter på at afdække arten af de spørgsmål, som det har mening at søge svar på. Præcis ligesom kvanteteorien fastslår det ufrugtbare i samtidigt at ville kende en elektrons sted og bevægelse, men samtidig identificerer en lang række andre spørgsmål, som *kan* besvares og svarene handles efter, så er målet med at opstille teorier for kaotisk opførsel at sortere de spørgsmål, som kan besvares, fra dem som ikke kan. Langtidsklimamodellerne er et eksempel på, at der faktisk findes spørgsmål, som vi kan få svar på. På mange andre områder er terrænet endnu ikke kortlagt, og udfordringen derfor at foretage en tilsvarende sortering i frugtbare og ufrugtbare forespørgsler.

Atomisme og holisme er kun delvist komplementære begreber, idet de i nogle situationer godt kan sameksistere (eksempelvis kinetisk molekylteori og

termodynamik, som omtalt i afsnittet "Alt hænger sammen ..."). Går vi et skridt dybere ned i den erkendelsesteoretiske diskussion om virkelighedens beskaffenhed, møder vi Einstein's og Bohr's diskussioner om hvad "realisme" er for noget. Med udgangspunkt i et holistisk livssyn ville Einstein (og senere Bohm, Bell og Aspect) have, at en realistisk naturbeskrivelse skulle være både atomistisk og fuldstændig (altså at man ikke indenfor rammerne af naturbeskrivelsen kan stille spørgsmål, der ikke kan besvares). Bohr's naturbeskrivelse var på sin side holistisk, og han havde ikke kvaler ved at kalde kvanteteoriens naturbeskrivelse realistisk, selvom der var spørgsmål som principielt ikke kunne besvares. Der er jo i kvantemekanikken netop faste rammer for, hvilke spørgsmål det har mening at stille, og hvilke det ikke er realistisk at ville have svar på. Sådan er virkeligheden, ville Bohr sige, og vi må akceptere den som den er, i stedet for at ville tillæmpe den til vore egne, forudfattede meninger.

I sidste ende handlede diskussionen mellem Bohr og Einstein selvfølgelig om, at Einstein troede på Gud og Bohr ikke gjorde. Men vel at mærke troede Einstein på en almægtig Gud, som var skabt i menneskets billede og som havde check på hver en detalje, der kan udtrykkes i menneskesprog. Bohr's holdning var derimod åbenhed - at vi da ikke på forhånd kunne vide om vores sprog og tænkemåde var egnet til at stille spørgsmål om virkeligheden, og at det snarere måtte gælde om at lære af virkeligheden, hvordan vi bedst kan tale om den. Det sjove er, at ikke alene har Bohr's indfaldsvinkel vist sig videnskabelig set mest udbytterig, men ved nærmere eftertanke er det jo også den, som giver størst spillerum for åndelige overbygninger på vores virkelighedsopfattelse - Einstein's indgang til det åndelige er ret beset dogmatisk!

Jeg kan ikke mobilisere nogen forargelse overfor den nutidige interesse for fysik, som udspringer af mystiske, religiøse eller holistiske holdninger. Det kan være en ligeså god bevæggrund for at beskæftige sig med videnskabelige betragtninger over virkelighedens natur som de rent faglige. Men i den videre tumlen med problemstillingerne er det væsentligt at bruge en rimeligt videnskabelig metode, og derfor har jeg brugt en del ord på at diskutere objektivitet og relativitet - med det formål at vise, at relativiteten er relativ: der findes faktisk standpunkter som er i bedre overensstemmelse med virkeligheden end andre! Det var trods alt også Einstein's overbevisning, for godtnok tog han udgangspunkt i en religiøst inspireret "fornemmelse", men derefter gav han sig i kast med en detaljeret analyse af problemstillingen, som for relativitetsteoriens vedkommende førte til en på *fysiske argumenter* baseret teoribygning, mens den hvad angår forsøget på at erstatte kvanteteorien med noget bedre ikke førte til noget resultat. Sådan er det bare - nogle af vore normative udgangspunkter viser sig frugtbare, andre viser sig at være uholdbare, og så er det op til os selv at udvise den fornødne styrke til at droppe dem og søge nye veje.

Den videnskabelige metode, forsøget på at underbygge sine inspirerede gæt (på fagsprog benævnt "hunches", "gut feelings") med argumenter, går tydeligvis også gennem Bohm og Bell's anstrengelser gennem årene, men det gælder ikke alle disciplener. Når det inspirerede gæt viser sig at være forkert, så siger den videnskabeligt

anlagte person "det var bare ærgerligt", mens den mystiske fanatiker opretholder sin tro *trods* argumenterne mod den. Her er naturligvis tale om nuancer, al den stund at det et stykke hen ad vejen er fornuftigt at holde fast ved sine fornemmelser. De fleste "modbeviser" indeholder aspekter af usikkerhed og kan senere blive omstødt. Men i længden bliver vedholdenheden fanatisk og uproduktiv, set i et personlighedsudviklingsperspektiv (denne bogs længste ord!).

Hvad angår forholdet mellem naturvidenskab og humanisme håber jeg at have påvirket min læser i retning af det synspunkt, at der er rigelig plads til humanistiske betragtninger og begrebsdannelse *indenfor* fysikkens verdensbillede - og slet ingen grund til på forhånd at ville forkaste fysikkens erkendelsesmæssige landvindinger. Fysikkens arbejdsmetode, som i mange henseender er sund og efterabelsesværdig, går i korthed ud på at acceptere en hvilken som helst spekulation ved frokostbordet, men derefter at lade det komme an på en nøjere prøvelse, før lærebøgerne skrives om. Lad mig derfor afrunde denne bog med en venlig tanke til de fornøjelige frokoster på Blegdamsvej 17, men uden at glemme eftermiddagens tvivl, aftenens kritiske efterprøvning og nætternes tilsyneladende afklaring, som ihvertfald holdt til næste dags frokost.

## Litteratur og noter

- Andresen, B. (1982). Gamma nr. 51, pp. 21-32 (Niels Bohr Institutet); F. Curson og B. Ahlborn, American Journal of Physics, vol. 43, p. 22, 1975.
- Aspect, A. *et al.*, (1982). Physical Review Letters, vol. 49, p. 91 og p. 1804
- Barnsley, M. and Sloan, A. (1988). *A better Way to compress Images*, BYTE, Januar, pp. 215-223.
- Bohm, D. (1951). *Quantum Theory*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, pp. 614-619; J. Bell, Physics, vol. 1, p. 195, 1965, se også B. d'Espagnat, Scientific American vol. 241, May 1979, p. 158.
- Bohm, D. (1952). Physical Review vol. 85, pp. 166 og 180
- Bohm, D. (1980). *Wholeness and the Implicate Order*. På dansk: *Helhed og den indfoldede orden*, Ask, Århus, 1986
- Bohr, A. (1964). *Krigens år og atomvåbnenes perspektiver*, pp. 184-206 i "Niels Bohr" (redaktør S. Rozental), Schultz, København
- Bohr, N. (1935). *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, Physical Review, vol 48, pp. 696-702, Bohr's svar på Einstein's artikel (oversat til dansk i Bohr, 1957).
- Bohr, N. (1957). *Diskussion med Einstein om erkendelsesteoretiske Problemer i Atomfysikken*, findes i samlingen "Atomfysik og Menneskelig Erkendelse", Schultz, København 1957. Se endvidere kapitel 8 i Tor Nørretranders, *Det udelte*, Gyldendal, København 1985, og P. Robertson, *The Early Years*, Akademisk Forlag, København 1979
- Bohr, N. (1958). *Atomic physics and human knowledge* Wiley, New York; contains essays from the years 1932-1958, on philosophical questions among other things. Further essays from 1958-1962 published 1963 under the title *Essays*, by Wiley
- Burns, T., Baumgartner, T. and Deville, T. (1985). *Man, Decisions, Society, and The Shaping of Socio-Economic Systems*, 1986, Gordon and Breach, New York
- Carson, R. (1962). *Silent Spring*, Fawcett Crest, New York
- Chalmers, A. (1978). *What is this Thing called Science?*, Open University Press, Milton Keynes
- Christmas-Møller, W. (1985). *Niels Bohr og atomvåbnet*, Vindrose
- Cleaver, E. (1968). *Soul on Ice*, Rampart Books, McGraw-Hill, New York. Bogen er for størstedelens vedkommende skrevet i statsfængslet i Folsom
- Danielsen, O. and Sørensen, B. (1983). *Energikriser og Udviklingsperspektiver*, FN-Forbundet, København
- Dewdney, A. (1986). *Computer Recreations*, Scientific American, December, pp. 14-18: Den oprindelige trekant deles ved hjælp af linjer mellem sidernes midtpunkter, men ved hvers successiv underdeling hæves eller sænkes midtpunktet med en tilfældigt valgt størrelse.
- Draminsky, P. (1964). *Revision af relativitetsteorien*, Schultz Forlag, København (udgivet med støtte fra Statens Teknisk-Videnskabelige Fond)
- Dyson, F. (1979). *Disturbing the Universe* Harper Colophon Books, New York
- Eichner, A. (editor), (1983). *Why Economics is not yet a Science*, Sharpe, New York, Et sammendrag af bogen findes i det engelske tidsskrift Nature, vol. 313, pp. 427-428, 1985. John Blatt's egen bog hedder *Dynamic Economic Systems, a Post-Keynesian*

- Approach*, Sharpe, New York, 1983.
- Einstein, A. (1916). *Über die spezielle und die allgemeine Relativitätstheorie* Vieweg & Sohn, Braunschweig; English translation: *Relativity: the special and the general theory*. Wing Books, New York, 1961
- Einstein, A. (1922). *The meaning of relativity*. MJF Books, New York (5. Ed., 1954)
- Einstein, A. (undated). *The world as I see it*. Wisdom Library, New York (a collection of papers and letters on philosophy of science, on war and other issues)
- Einstein, A., Podolsky, B. og Rosen, N. (1935). *Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete?*, Physical Review vol. 47, pp. 777-780
- Eriksson, B. (1974). *Konsekvenser av några olika energianvändningsnivåer i samhället*, pp. 116-122 i "Energi - inte endsat en fråga om teknik", Centrum för Tvärvetenskap, Göteborg, 1974; B. Sørensen, *Energy and Resources*, Science, vol. 189, pp. 255-260, 1975; A. Lovins, *Soft Energy Paths*, Penguin, 1977. Dansk udgave: *Bløde energigveje*, Informations Forlag, København, 1978
- Estes, R. (1984). *The social progress of Nations*, Praeger, New York
- Feigenbaum, M. (1980). *Universal behavior in Nonlinear Systems*, Los Alamos Science, pp. 4-27; other examples in P. Cvitanovic (editor), *Universality in Chaos*, Adam Hilger, Bristol 1984; G. Casati, J. Ford, F. Vivaldi og W. Visscher, Physical Review Letter, vol. 52, pp. 1861-64, 1984; J. Eckerman og D. Ruelle, *Ergodic Theory of chaos and strange attractors*, Reviews of Modern Physics, vol. 57, pp. 617-656, 1985; J. Crutchfield m.fl., *Chaos*, Scientific American, December 1986, pp. 38-49.
- Feld, B. (1981). Bulletin of the Atomic Scientists, March, p. 48. Hvis det ikke havde været for militærets manglende forståelse for fysikernes måde at arbejde på, hævder Bernard Feld, så ville bomben være blevet færdig til at have kunnet bruges i Europa
- French, A. and Kennedy, P. (Eds.) (1985). *Niels Bohr - a centenary volume*. Harward University Press, Boston
- Friberg, M., Hettne, B., Leksell, I. and Tompuri, G. (1974). *Utvikling, makt och energi i ett internationellt konfliktperspektiv*, pp. 51-69 i "Energi - inte endast en fråga om teknik" (B. Jungen, redaktør), Centrum för Tvärvetenskap, Göteborgs Universitet
- Gaarder, J. (1991). *Sofies verden*, H. Aschehoug & Co., Oslo
- Gardner, M. (1970). Scientific American, oktober, pp. 120-123 (opfølgning Februar 1987, pp. 8-13). Bakteriemodellen anvendt her bygger videre på den idé fremsat af matematikeren John Conway som Gardner refererer. I Conway's model fødes og dør bakterier overalt i kulturen på bestemte klokkeslet, mens betingelserne for fødsel og død i min model hele tiden afprøves tilfældigt valgte steder i kolonien. Flere modeller af Conway's type er beskrevet af S. Wolfram i "Computer software in science and mathematics", Scientific American, September 1984, pp. 140-151.
- Grass, G. (1999). *Mein Jahrhundert*, Steidl Verlag, Göttingen
- Groves, L. (1962). *Now it can be told, the Story of the Manhattan Project*, New York
- Hansen, H. (1975). *Til forsvar for den akademiske tradition*, Ingeniørens Ugeblad, 2. maj. Indlægget blev 16. januar 1976 uddybet i dagbladet Information, hvor det medførte et af de største antal mod-indlæg, som nogensinde er set.
- Heisenberg, W. (1960). *Fysik og Filosofi*, Thanning og Appel, København 1960, p. 113; Heisenberg mente helt op til 1960, at det aldrig ville blive muligt eksperimentelt at anfægte Bohm's teori med de skjulte variable

- Heisenberg, W. (1969). *Der Teil und das Ganze*, Piper. München; på dansk *Del og Helhed*, Thanning og Appel, København, 1971
- Hvelplund, F., Illum, K., Jensen, J., Meyer, N., Nørgård, J. and Sørensen, B. (1983). *Energi for fremtiden*, Borgens Forlag, København
- Jungk, R. (1956). *Heller als tausend Sonnen*, Scherz, Bern og Stuttgart
- Juul, J. (1961). *Design of wind power plants in Denmark*, pp. 229-239 and *Economy and operation of wind power plants*, pp. 399-408 i "U. N. Conference on New Sources of Energy", vol. 7, Rome
- Kampmann, V. (1964). *Niels Bohr og Risø*, pp. 272-280 i "Niels Bohr" (redaktør S. Rozental), Schultz, København. Niels Bohrs fremførte sin tro på atomkraften i artiklen *Energy from the atom*, London Times, 11. August 1945
- Kuhn, T. (1970). *The structure of scientific revolutions*, Chicago. *Videnskabens revolutioner*, Fremad, København, 1973
- Lorenz, E- (1967). *The nature and Theory of the general circulation of the atmosphere*, World Meteorological Organisation Publ. no. 218P115
- Mandelbrot, B. (1982). *The Fractal Geometry of Nature*, Freeman, San Francisco
- McCormach, R. (1982). *Night Thoughts of a Classical Physicist*. Avon Books, New York
- Mermin, N. (1985). *Is the moon there when nobody looks? Reality and the quantum theory*, Physics Today, April, pp. 38-47. Blandt andre beretninger om Aspect's forsøg kan fremhæves: F. Rohrlich, *Facing Quantum Mechanical Reality*, Science, vol. 221, pp. 1251-4, 1983; H. Thodberg, *Albert og den gode smag*, Gamma nr. 51, pp. 33-53, Niels Bohr Institutet, 1982
- Meyer, N., Petersen, K. and Sørensen, V. (1978). *Oprør fra midten*, Gyldendal, København, denne danske beskrivelse af borgerslønsbegrebet som blev solgt i over 100000 eksemplarer.
- Moore, R. (1966). *Niels Bohr, a biography*. A. Knopf, New York, på dansk *Niels Bohr, en biografi*, Gyldendal, København 1968
- Morland, H. (1979). The Progressive, November
- Møller, C. (1972). Politiken's kronik 18. November
- Nielsen, J. (1963). *Memories of Niels Bohr*, Physics Today, vol. 16, p. 28. Om Teller's øvrige indsats i fysikken (nogle kernefysiske relationer der går under navnet Gamow-Teller reglerne), har den tidligere kemiprofessor i Berkeley, Otto Redlich, i en personlig samtale (i 1968) fortalt mig, at Teller stjal denne idé fra en østrigsk kollega, da han flyttede til USA, og at han i hast offentliggjorde resultaterne som sine egne. Redlich havde haft sin gang på det institut i Østrig, hvor historien foregik, indtil han selv flygtede til USA.
- Nkonoki, S. and Sørensen, B. (1984). *A rural Energy Study in Tanzania: The Case of Bundilya Village*, Natural Resources Forum, vol. 8, pp. 51-62, United Nations, New York. Et eksempel på landdistrikternes energiproblem og vanskeligheden ved at vedligeholde træ-resourcer
- Pagels, H. (1985). *Perfect Symmetry*. Bantam Books, Toronto
- Pais, A. (1982). *Subtle is the Lord, the science and life of Albert Einstein*. Oxford University Press
- Paradigma, (1987) (juni, p.1); (december, p.11); marts 1988 (p.1)
- Peitgen, H-O. and Richter, P. (1986), *The Beauty of Fractals*, Springer Verlag, Berlin, viser



- fraktale billeder. mens fraktal musik kan lyttes til på Bent Sørensens hjemmesider:  
<http://home9.inet.tele.dk/novator/Bent/music.htm>
- Prigogine, I. (1978). *Time, Structure, and Fluctuations*, Science, vol. 201, pp. 777-785; I. Prigogine, G. Nicolis og A. Babloyantz, *Thermodynamics of evolution*, Physics Today, november (pp. 23-28) og december (pp. 38-44), 1972; P. Glansdorff og I. Prigogine, *Thermodynamics of Structure, Stability and Fluctuations*, Wiley, New York, 1971
- Prigogine, I. (1980). *From being to becoming - Time and Complexity in the Physical Sciences*, Freeman, San Francisco, 1980; I. Prigogine og I. Stengers, *Den ny pagt mellem mennesket og universet*, Ask, Århus, 1985 (fransk udgave 1984).
- Primack, J. and von Hippel, F. (1974). *Advice and Dissent*, Basic Books, New York
- Rosenfeld, L. (1963). *Niels Bohr's contribution to epistemology*, Physics Today, vol. 16, pp. 47-54
- Rozental, S. (1985). *NB, erindringer om Niels Bohr*, Gyldendal, København
- Sonny og Sufflé (1987). Program sendt i DR's TV i juledagene
- Sørensen, B. (1972). *Danmark tvunget ind i risikoen ved atomkraft*, Politiken's kronik, 3. september
- Sørensen, B. (1973). *Den franske bombetrussel*, Politikens kronik, 1. juni
- Sørensen, B. (1975). *Ekspert, videnskabsmænd og andre sæde væsener*, Information, 9. juni
- Sørensen, B. (1985). *Fred og Frihed, en alternativ forsvarsplan for Danmark og Vesteuropa*, Borgen, København 1985; *Redefining Defense*, Bulletin of the Atomic Scientists, vol. 37, p. 1, 1981.
- Sørensen, B. (1987). *Superstrengte - en teori om alt og intet*, Munksgaards Forlag, København
- Sørensen, B. (2000). *Renewable Energy*, 2nd Ed., Academic Press, London (1st Ed: 1979);, Chapter 7; B. Sørensen, *Comparative risk assessment of total energy systems*, pp. 455-471 in "Health impacts of different sources of energy", International Atomic Energy Agency, Wien, 1982; B. Sørensen, *How do societies change*, Philosophy and Social Action, vol. 12, pp. 5-10, 1986; T. Baumgartner og A. Midttun, *The Politics of Energy Forecasting*, Handelshøjskolen, Oslo, 1986.
- Thom, R. (1975). *Structural Stability and Morphogenesis*, W. A. Benjamin, Reading (fransk førsteudgave: 1972)
- Voetmann Christiansen, P. (1987). *Bohm set fra København*, Paradigma, juni, pp. 56-60.
- von Weizsäcker, C. (1988). *Bewusstseinswandel*, Carl Hanser Verlag
- Wiin Nielsen, A. (1987). *Forudsigelighed, om grænserne for videnskab*, Munksgård, København
- Ølgaard, P. (1980). *Politik og kernekraft*, Berlingske Leksikon Bibliotek; "Placeringsmuligheder for atomkraftværker vest for Storebælt", Miljøministeriet, 1974; A. Mackintosh, "Risø og energidebatten", Politiken 1.1.1974; Bekymringen for vindmøllers indvirken på el-kvaliteten blev ofte fremført af elværksfolk på energimøder midt i 1970'erne, men stilnede af efterhånden som det faktiske antal vindmøller i drift steg.

- 389/00 University mathematics based on problemoriented student projects: 25 years of experience with the Roskilde model  
By: Mogens Niss  
Do not ask what mathematics can do for modelling. Ask what modelling can do for mathematics!  
Vejleder: Johnny Ottesen
- 
- 390/01 Endnu ikke udkommet
- 391/01 Matematisk modelleringskompetence – et undervisningsforløb i gymnasiet  
3. semesters Nat.Bas. projekt af: Jess Tolstrup Boye, Morten Bjørn-Mortensen, Sofie Inari Castella, Jan Lauridsen, Maria Göttsche, Ditte Mandøe Andreassen  
Vejleder: Johnny Ottesen

- 379/00 EULERS DIFFERENTIALREGNING  
Eulers indførelse af differentialregningen stillet over for den moderne  
En tredjeseesters projekttrapport på den naturvidenskabelige basisuddannelse  
Af: Uffe Thomas Volmer Jankvist, Ric Rose Møller Pedersen, Maja Bagge Pedersen  
Vejleder: Jørgen Larsen
- 380/00 MATEMATISK MODELLERING AF HJERTEFUNKTIONEN  
Isovolumentrisk ventrikulær kontraktion og udpumpning til det cardiovascular system  
Af: Gitte Andersen (3. moduls-rapport), Jakob Hilmer og Stine Weisbjerg (speciale)  
Vejleder: Johnny Ottesen
- 381/00 Matematikviden og teknologiske kompetencer hos kortuddannede voksne  
- Rekognosceringer og konstruktioner i grænselandet mellem matematikkens didaktik og forskning i voksenuddannelse  
Ph. d.-afhandling af Tine Wedege
- 382/00 Den selvundvigende vandring  
Et matematisk professionsprojekt  
Af: Martin Niss, Arnold Skimminge  
Vejledere: Viggo Andreassen, John Villumsen
- 383/00 Beviser i matematik  
Af: Anne K.S. Jensen, Gitte M. Jensen, Jesper Thrane, Karen L.A.W. Wille, Peter Wulff  
Vejleder: Mogens Niss
- 384/00 Hopping in Disordered Media: A Model Glass Former and A Hopping Model  
Ph.D. thesis by: Thomas B. Schrøder  
Supervisor: Jeppe C. Dyre
- 385/00 The Geometry of Cauchy Data Spaces  
This report is dedicated to the memory of Jean Leray (1906-1998)  
By: B. Booss-Bavnbek, K. Furutani, K. P. Wojciechowski
- 386/00 Neutrale mandatfordelingsmetoder – en illusion?  
Af: Hans Henrik Brok-Kristensen, Knud Dyrberg, Tove Oxager, Jens Sveistrup  
Vejleder: Bernhard Booss-Bavnbek
- 387/00 A History of the Minimax Theorem: von Neumann's Conception of the Minimax Theorem -- a Journey Through Different Mathematical Contexts  
By: Tinne Hoff Kjeldsen
- 388/00 Behandling af impuls ved kilder og drøn i C. S. Peskins 2D-hjertemodel  
et 2. moduls matematik modelprojekt  
Af: Bo Jakobsen, Kristine Niss  
Vejleder: Jesper Larsen

- 356/98 Terrænmodellering  
Analyse af en matematisk model til konstruktion af digitale terrænmodeller  
Modelprojekt af: Thomas Frommelt, Hans Ravnkjær Larsen og Arnold Skimminge  
Vejleder: Johnny Ottesen
- 357/98 Cayleys Problem  
En historisk analyse af arbejdet med Cayleys problem fra 1870 til 1918  
Et matematisk videnskabsfagsprojekt af: Rikke Degn, Bo Jakobsen, Bjarke K. W.  
Hansen, Jesper S. Hansen, Jesper Udesen, Peter C. Wulff  
Vejleder: Jesper Larsen
- 358/98 Modeling of Feedback Mechanisms which Control the Heart Function in a View to an  
Implementation in Cardiovascular Models  
Ph.D. Thesis by: Michael Danielsen
- 
- 359/99 Long-Term Scenarios for Global Energy Demand and Supply  
Four Global Greenhouse Mitigation Scenarios  
by: Bent Sørensen (with contribution from Bernd Kuemmel and Peter Meibom)
- 360/99 SYMMETRI I FYSIK  
En Meta-projektrapport af: Martin Niss, Bo Jakobsen & Tine Bjarke Bonnén  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 361/99 Symplectic Functional Analysis and Spectral Invariants  
by: Bernhard Booss-Bavnbek, Kenro Furutani
- 362/99 Er matematik en naturvidenskab? - en udspænding af diskussionen  
En videnskabsfagsprojekt-rapport af: Martin Niss  
Vejleder: Mogens Nørgaard Olesen
- 363/99 EMERGENCE AND DOWNWARD CAUSATION  
by: Donald T. Campbell, Mark H. Bickhard, and Peder V. Christiansen
- 364/99 Illustrationens kraft - Visuel formidling af fysik  
Integreret speciale i fysik og kommunikation  
af Sebastian Horst  
Vejledere: Karin Beyer, Søren Kjølrup
- 365/99 To know - or not to know - mathematics, that is a question of context  
by: Tine Wedege
- 366/99 LATEX FOR FORFATTERE - En introduktion til LATEX  
og IMFUFA-LATEX  
af: Jørgen Larsen

- 367/99 Boundary Reduction of Spectral Invariants and Unique Continuation Property  
by: Bernhard Booss-Bavnbek
- 368/99 Kvarterrapport for projektet SCENARIER FOR SAMLET UDNYTTTELSE AF  
BRINT SOM ENERGIBÆRER I DANMARKS FREMTIDIGE ENERGISYSTEM  
Projektleder: Bent Sørensen
- 369/99 Dynamics of Complex Quadratic Correspondences  
by: Jacob S. Jørgensen  
Supervisor: Carsten Lunde Petersen
- 370/99 OPGAVESAMLING - Bredde-Kursus i Fysik 1976 - 1999  
Eksamensopgaver fra perioden 1976 - 1999, Denne tekst erstatter  
tekst nr. 350/98
- 371/99 Bevisets stilling - beviser og bevisførelse i en gymnasial matematik  
undervisning  
Et matematikspeciale af: Maria Hermannsson  
Vejleder: Mogens Niss
- 372/99 En kontekstualiseret matematikhistorisk analyse af ikke-lineær programmering:  
Udviklingshistorie og multipel opdagelse  
Ph.d.-afhandling af Tine Hoff Kjeldsen
- 373/99 Criss-Cross Reduction of the Maslov Index and a Proof of the Yoshida-Nicolaescu  
Theorem  
by: Bernhard Booss-Bavnbek, Kenro Furutani and Nobukazu Otsuki
- 374/99 Det hydrauliske spring - Et eksperimentelt studie af polygoner og hastighedsprofiler  
Specialafhandling af: Anders Marcussen  
Vejledere: Tomas Bohr, Clive Ellegaard, Bent C. Jørgensen
- 375/99 Begrundelser for Matematikundervisningen i den lærde skole hhv. gymnasiet 1884-  
1914  
Historiespeciale af Henrik Andreassen, cand.mag. i Historie og Matematik
- 376/99 Universality of AC conduction in disordered solids  
by: Jeppe C. Dyre, Thomas B. Schrøder
- 377/99 The Kuhn-Tucker Theorem in Nonlinear Programming: A Multiple Discovery?  
by: Tine Hoff Kjeldsen
- 
- 378/00 Solar energy preprints:  
1. Renewable energy sources and thermal energy storage  
2. Integration of photovoltaic cells into the global energy system  
By: Bent Sørensen

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

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

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