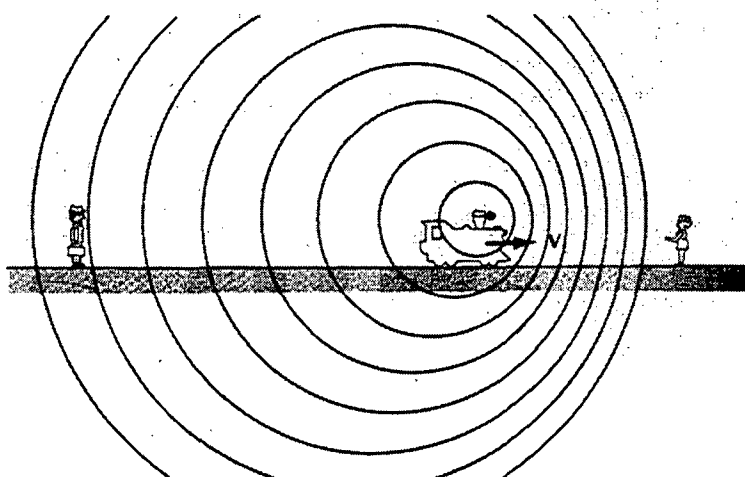


TEKST NR 364

1999

Illustrationens kraft

Visuel formidling af fysik



Sebastian Horst

TEKSTER fra

IMFUFA

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

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postboks 260, 4000 Roskilde, Danmark

Illustrationens kraft - visuel formidling af fysik

Af: Sebastian Horst

Vejledere: Karin Beyer og Søren Kjærup

IMFUFA-tekst nr. 364/99

116 sider

ISSN 0106-6242

Abstract

Denne rapport er resultatet af et integreret speciale for fagene fysik og kommunikation på Roskilde Universitetscenter. Projektet handler om hvordan fysikfaglig viden formidles med illustrationer, og hvilken forståelse af fysik disse fører til. Udgangspunktet er at det visuelle – både i form af billeder og mentale forestillinger – har betydning for hvordan man forstår fysik. Undersøgelserne beskæftiger sig primært med illustrationer fra fysikbøger på grundlæggende universitetsniveau, og i de teoretiske overvejelser bruges litteratur og resultater fra studier af perception, billedanalyse og illustrationers betydning i læringssituationer.

Efter overvejelser om funktion og formål med at illustrere set i forhold til eksisterende viden inden for kognitionspsykologien og fagpædagogikken argumenteres der for en pragmatisk inddeling af fysikillustrationer i tre typer: Fotografi, figur og diagram. Denne inddeling strukturerer undersøgelsen af formidlingen gennem illustrationer i konkrete illustrationer i tre selvstændige kapitler hvor der vises at illustrationer er et mangfoldigt formidlingsredskab, som dog har visse retningslinjer der må overholdes. Desuden diskuteres forholdet mellem formler og illustrationer, og der argumenteres for at man bør se disse to som komplementerende størrelser der på hver sin måde bidrager til forståelse af fysik: Formler og matematik i form af kvantitative og anvendelige forudsigelser, og illustrationer i form af grundlaget for den konceptuelle forståelse af fysiske fænomener.

En bedre brug af illustrationer i fysikken er ingen patentløsning på formidlingsproblemer eller den faldende interesse hos studerende som faget oplever i disse år. Men illustrationer er en fantastisk mulighed for at omsætte fysikkens grundlæggende principper til situationer hvor man kan sætte sin dagligdagsopfattelse i spil. Det kræver dog at det visuelle tages mere seriøst i undervisning og formidling af fysik.

Illustrationens kraft

– Visuel formidling af fysik

Sebastian Horst

**Integreret speciale i
fysik og kommunikation**

Vejledere:

Karin Beyer, fysik

Søren Kjørup, kommunikation

Roskilde Universitetscenter, januar 1999

Forord

Dette er en rapport i en meget sjælden genre: Et integreret speciale for kandidatfagene fysik og kommunikation på RUC. To fag der normalt opfattes som fjerne fra hinanden, men som efter forfatterens mening på flere områder kan drage nytte af hinanden.

Når jeg fortæller at jeg læser fysik og kommunikation på universitetet, har den typiske reaktion været et overrasket "NÅ!!!" efterfulgt af spørgsmål om hvordan pokker det kan lade sig gøre. Det har nu heller ikke hele tiden været nemt at kombinere de to fagligheder i praksis, bl.a. på grund af de meget forskellige krav der stilles undervejs og uddannelsernes forskellige opbygning.

Men i specialet, som jeg har gennemført fra februar 1998 til januar 1999, har jeg længe villet tage udgangspunkt i begge fagligheder, og det er derfor naturligt kommet til at handle om formidling af fysik. Her kan jeg nemlig anvende kommunikationsfaget som det teoretiske udgangspunkt for en behandling af formidlingsmæssige problemstillinger i undervisningsfaget fysik. Når de som undrer sig over min fagkombination, hører om dette emne, finder de sjældent fagkombinationen mærkelig længere. Ofte har jeg oven i købet mødt en stor interesse fra mennesker der overhovedet ikke beskæftiger sig med fysik, men som "egentlig synes det er spændende – det var bare så svært at forstå i skolen."

Det er især her de to fag kan bidrage til hinanden. Fysik har i kommunikation et fag der kan give ny inspiration til undervisningen og bidrage til en teoretisk behandling af den faglige formidling. Kommunikation har til gengæld i fysikken et fag med en for samfundet afgørende videnskabelig viden, men som der ikke desto mindre ligger en stor udfordring i at formidle. Jeg håber at begge fag vil se dette speciale som et forsøg på tværvidenskab og gå til det med den indstilling at fagene har noget at tilbyde hinanden.

Jeg vil gerne takke de fysikere på IMFUFA på RUC der indlod sig på at blive interviewet, og alle dem som har vist interesse for projektet. Især tak til mine vejledere, Karin Beyer og Søren Kjærup, der gjorde at jeg aldrig blev i tvivl om det interessante i mit arbejde. Til sidst en stor tak til min kæreste, Birte Dalsgård Sørensen, uden hvem dette projekt slet ikke ville have været så spændende at gennemføre.

Indhold

FORORD	2
INDHOLD	3
PROLOG	5
KAPITEL 1 INDLEDNING	7
En heuristisk metode	8
Integrerede målgrupper	10
KAPITEL 2 ILLUSTRATIONENS FUNKTION	13
Perception og hukommelse	15
Effekter på læring	20
En pragmatisk taksonomi	23
KAPITEL 3 DET FYSISKE FOTOGRAFI	27
Ved tavlen	27
Eksperimenter og historie	30
Som at være der selv	33
Den teoretiske forbindelse	34
KAPITEL 4 DEN TRANSCENDENTE FIGUR	37
Lag på lag	39
De mindste dele	42
Fysisk ikonografi	46
Uomgængelige analogier	51
Visuelle principper	56
Koncentration og transcendens	62
KAPITEL 5 DET FOKUSERENDE DIAGRAM	66
Organisering af data	68
Fra data til fænomen	70
Sekvens og mønster	73
Visuelle beviser	76
Diagrammet som sprog	78

KAPITEL 6 FORMLER, TEKST OG KONTEKST	82
Disciplinens rolle	83
Samspil mellem tekst og illustration	88
Formlers og illustrationers roller i fysiklæring	90
Den visuelle tanke	94
KAPITEL 7 MOD EN BEDRE BRUG AF ILLUSTRATIONER	98
Vejen frem	99
Det visuelle i fysikundervisning	100
LITTERATURFORTEGNELSE	102
ILLUSTRATIONSFORTEGNELSE	106
SUMMARY	109
BILAG A: DEFINITIONER AF BEGREBER	111
BILAG B: ANBEFALINGER TIL AFSENDERE AF FYSIKILLUSTRATIONER	113
BILAG C: FARVEILLUSTRATIONER	115

Prolog

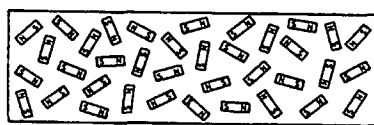
(Baseret på en autentisk samtale mellem en undrende kommunikationsstuderende og en efterhånden lige så undrende fysikstuderende.)

–Hør, du er jo næsten fysiker – du må da kunne forklare mig det!

–Øhh, hvad?

–Ja, altså jeg har det her problem: Jeg kan ikke forstå hvad magnetisme er – hvordan kan man fx lave en magnet ud af en jernstang bare ved at holde en anden magnet hen til den?

–Nå, nu skal du høre. Hvis du nu har det her stykke jern, ikke, så kan vi forestille os at det består af en masse bitte små magneter – jeg tegner det lige her på tavlen, så er det lettere at



Umagnetiseret jern

overskue – og de peger alle sammen i forskellig retning, ikke? De ligger hulter til bulter, det er på en måde deres naturlige måde at ordne sig på.

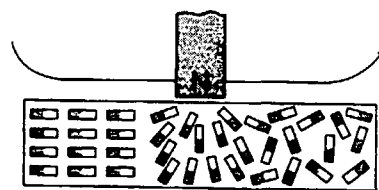
–Okay, det er ligesom når man hælder en pakke søm ud på bordet.

–Ja, det kan du sådan set godt sige, for dér peger sømmene jo også i hver sin retning. Men fordi småmagneternes – eller skal vi sige sømmenes – sydpoler og nordpoler ligger så rodet, så ophæver deres virkning hinanden. Er du med?

–Ja, ja, der er jo heller ikke meget orden i en pakke søm der er hældt ud på bordet...

–Nej, det er jo rigtigt nok. Nå, men hvis du så tager en magnets nordpol og stryger den hen over jernstangen – ja, så vil småmagne-

terne ensrettes. Hvis vi fx stryger fra venstre mod højre – jeg tegner lige – så vil magneten tiltrække småmagneternes sydpoler og frastøde nordpolerne. Ved



Jern, som er ved at blive magnetiseret

strygningen vil småmagnetterne derfor drejes, så flere og flere af dem vender sydpolen mod højre. Slutresultatet bliver derfor, at jernstangen får nordpol til venstre og sydpol til højre.

–Ahh, nu forstår jeg det!

–Jah...det gør du måske nok...menøhm, nu bliver jeg i tvivl om jeg overhovedet selv forstår det...

–Hva'???

–Ja, vi tror vi har forstået det, men i virkeligheden er det slet ikke rigtigt! Det er bare en model der fortæller noget der passer med hvad der sker. Du har faktisk slet ikke fået svar på dit spørgsmål om hvad magnetisme er, for hvad er småmagnetterne måske lavet af?

–Øhh...endnu mindre småmagneter?

–...som så igen består af endnu mindre småmagneter? Nej, du kan vel godt se at den forklaring ikke er god nok.

–Jamen, man må da vide hvad de dér småmagneter er for nogle, har man ikke undersøgt det?

–Jo, jo, det har man da i hvert fald. Og man har fundet ud af at magnetismen i jern skyldes elektronerne. De er jo elektrisk ladede partikler, og når elektriske ladninger bevæges, dannes der et magnetfelt.

–Jamen, kan du så ikke bare tegne de dér elektroner der bevæger sig rundt om atomkernen?

–Nej, for så enkelt er det ikke. For det første bevæger de sig slet ikke rundt om atomkernen ligesom Jorden bevæger sig rundt om Solen – de har på en eller anden måde mulighed for at være over det hele på en gang...

–Det tror jeg altså ikke rigtigt jeg forstår.

–...Jamen, det behøver du heller ikke, for det er slet ikke dét der skaber magnetismen – det er noget der hedder spin, eller mere korrekt: hvilken vej elektronens spin peger. Når mange elektroner i jernstangen har et spin der peger i samme retning, er jernstangen magnetisk.

–Nåh, spin – er det ligesom en snurretop der drejer højre om, kan siges at pege nedad i modsætning til én der drejer venstre om?

–Njaaj, sådan kan du ikke forestille dig det. Med spin mener jeg ikke det samme som det en snurretop gør, for som jeg lige sagde, er elektronen jo ikke bare en kugle der drejer rundt om sig selv, den er på en måde udsmykket over det hele.

–Nå.

–Ja, altså spin, det er bare sådan en egenskab som elektroner og andre elementarpartikler har, og som du simpelthen ikke finder andre steder end hos elementarpartiklerne. Det er bare noget du må acceptere.

–Hmm, det kan jeg altså ikke rigtig forestille

mig. Jeg kunne bedre lide den første forklaring.

–Det kan jeg godt forstå. Det er også derfor jeg vil skrive speciale om det.

–Om hvad?

–Jo, den første forklaring følte du med det samme du kunne forstå, mens du ikke synes du kunne forstå den anden. Jeg tror det har noget at gøre med om det er muligt at danne sig et billede af hvad der foregår. Altså om man kan se fænomenet og hvad der sker, for sit indre blik. Derfor vil jeg undersøge hvilken betydning billeder og visuelle forestillinger har for forståelse af fysik.

–Jamen, er det ikke bare fordi jeg ikke har læst fysik at jeg ikke kan forstå det?

–Nej, det tror jeg ikke. For jeg har det faktisk på samme måde. Det forekommer mig at jeg også kun forstår det når jeg på en eller anden måde alligevel danner mig et billede af hvad der sker. Jeg kan selvfølgelig godt lære at bruge teorierne og regne en hel masse uden sådan et billede. Men jeg synes ikke jeg kan forstå det uden.

–Nej, det er måske rigtigt, men er det ikke ligegyldigt for fysikken hvordan man nu lige forstår det?

–Det mener jeg ikke, for hvis fysikforståelse generelt bygger på evnen til at forestille sig fysiske fænomener billedligt, så har det store konsekvenser for formidling og undervisning i fysik.

–Ja, måske. Men når du nu er i gang – kunne du så ikke også lige finde på en god forklaring på magnetisme?

–Joh, det ville selvfølgelig ikke være dårligt...

Kapitel 1

Indledning

I prologen til denne rapport prøver en fysikstuderende at forklare hvordan en jernstang kan magnetiseres. Ved hjælp af en visuel model, som i niveau faktisk hører hjemme i folkeskolepensum, illustreres magnetiseringen, og tilhøreren føler klart at nu forstår hun det – det giver hun i hvert fald udtryk for. Problemet opstår da den fysikstuderende selv bliver i tvivl og siger at dette billede af situationen slet ikke er tilstrækkeligt, men at der heller ikke rigtigt er noget andet billede at sætte i stedet.

Den fysikstuderende er forfatteren til denne specialerapport. Oplevelsen var med til at føre mig på sporet af problemstillingen for specialet. Jeg undrede mig simpelthen over hvad billeder betyder for formidling og forståelse af fysik. For der er jo ingen tvivl om at visuelle kommunikationsformer er meget anvendt som formidlings- og forklaringsværktøj inden for fysikken – både i en undervisningssituation og mellem forskere til at formidle idéer og teorier. Man kan næsten ikke bede en fysiker om en forklaring uden at vedkommende straks begynder at skitsere og illustrere på forhåndenværende materiale (servietter er fx både på IMFUFA, RUC og på Niels Bohr Institutet hyppigt anvendt til dette formål i frokoststuen!). Samtidig kender de fleste der på det ene eller andet niveau har beskæftiget sig med fysik, eksempler på både gode figurer som hjælper til at forstå et fysisk fænomen, og dårlige figurer som man overhovedet ikke kan få noget fornuftigt ud af! Men hvad er det der gør en figur god? Og hvad betyder god? Hvad kan man egentlig bruge visuelle virkemidler til i fysikken – både i undervisning og i forskning – og hvilke fremstillingsformer egner sig bedst til hvad? Hvad er det ved virkeligheden som en illustration repræsenterer, og hvordan fremstilles det grafisk? Hvordan kommer fysikkens indre logik til udtryk i billederne? Det er nogle af de grundlæggende spørgsmål der kan stilles til brugen af billeder i fysik, og som har dannet udgangspunkt for mit arbejde.

I efteråret 1998 bemærkede en psykolog i starten af sin forelæsning om naturfilosofi på Niels Bohr Institutet, at én af de største forskelle mellem humaniora og naturvidenskab er at tavlerne på naturvidenskab er meget større end dem på humaniora (hvis der da overhovedet er nogen!). Det gælder måske især på faget fysik hvor det ikke er unormalt at 2 ud af 4 vægge i et undervisningslokale er fyldt med tavler. Gennem min uddannelse har jeg oplevet hvor tit disse tavler er blevet fyldt med kridt, og det er bestemt ikke altid kun formler og tal, selvom de selvfølgelig også fylder en del. Det at skitsere og tegne en fysisk situation er ofte udgangspunkt for både gennemgangen af teori og konkrete eksempler. Og selv i de situationer hvor der ikke tegnes, er beskrivelsen som regel billedlig således at det blot er inde i vores hoved at vi kan skabe en mental forestilling. På sin vis virker det som om billeder er afgørende for forståelsen af fysik hvilket illustreres af en universitetslærer i følgende udtalelse som fremkom under et interview hvor vi talte om en figur der forestillede de magnetiske feltlinjer omkring en stangmagnet:

"Den dér figur har man jo set jeg ved ikke hvor mange gange, så på et eller andet tidspunkt, så tænker man jo slet ikke over det, så er det bare synonymt med ens forståelse af feltbegrebet."

Men er det en korrekt fremstilling af billeders status i fysikundervisningen? Mine egne erfaringer med fysikundervisning svarer nogenlunde til følgende opfattelse som fremkom under et interview med en anden universitetslærer om netop brugen af illustrationer i undervisning:

"Det er tit at man falder over sådan et billede, og tænker at det er i og for sig lidt misvisende. Jeg tror at man som lærer tit er tilbøjelig til ikke at kigge så meget på figuren, men læse teksten og se om forklaringerne er gode... Og når nogen så spørger om figuren, så siger man, nå-ja, det er nok heller ikke så god en figur... Man tager ikke figurene som en væsentlig del af indlæringsmidlerne. Man fæster sig mere ved teksten. Men det er muligvis ikke nogen god idé fordi figurene appellerer jo til folks forståelse på en meget mindre kontrolleret måde... i forhold til hvilke associationer der kan overføres. Og det kan man bruge på to måder: Figurene skal man ikke tage så tungt for det er ikke godt at vide hvad folk får ud af figurene. Eller også kan man sige at det er meget vigtigt at studere figurene nøje fordi de sætter debatten i gang."

Jeg tilslutter mig absolut den sidste måde at bruge billeder i fysikken. Jeg er overbevist om at billeder er et enestående redskab til at samtale om en fysisk forståelse af den verden vi lever i. Men til trods for billeders store omfang – ikke mindst i lærebøger – har jeg ikke kunnet finde mange eksisterende arbejder der decideret undersøger hvordan billeder i fysik er konstrueret, og hvordan de kan formidle fysikfaglig viden. Jeg har derfor ment at det var nødvendigt at lade min problemstilling have en meget grundlæggende karakter, og det har ført til følgende problemformulering:

*Hvordan formidles fysikfaglig viden med illustrationer,
og hvilken forståelse af fysik fører de til?*

Jeg ønsker ikke med dette projekt at påvise at billeder er *afgørende* for forståelse af fysik. Jeg tager i stedet det udgangspunkt at billeder har betydning for vores forståelse, og at det derfor er interessant at se hvad fysikken egentlig gør med billeder. Hvis man hårdnakket mener at billeder ikke har betydning for fysikforståelse, og at man først forstår når man kun har den rene, formelle fysik lysende klart i hovedet, skal man ikke forvente en lang forsvarstale for brugen af billeder.

Jeg har nedtonet undersøgelser af billeders effekt på læring til fordel for at undersøge hvilke billeder vi møder i fysikundervisning på universitetet, og hvordan de fungerer. Det gør jeg fordi det må være en forudsætning for en undersøgelse af læringseffekter at man kan analysere billeder på en måde så selve fysikformidlingen træder klart frem – og en sådan analysemodel har hidtil manglet. Med en dikotomi der hyppigt anvendes til at kategorisere forskning, forsøger jeg at udføre grundforskning – ikke anvendt forskning.

En heuristisk metode

Projektet går altså ud på at blive klogere på den måde vi møder billeder i fysikken. Jeg har valgt at gå ud fra illustrationer i fysikbøger på grundlæggende universitetsniveau af to grunde. For det første er det på dette niveau at fysikken for alvor skal læres på en måde så den både er i overensstemmelse med teorier på højeste niveau og samtidig giver den studerende mulighed for at danne sig overblik over fysikkens videnskabelige metode(r). For

det andet har jeg her adgang til en stor mængde illustrationer frembragt af forskellige forfattere. Det har siden vist sig at der mellem selv meget forskellige lærebøger er stor overensstemmelse mellem måden at illustrere på. Dette mener jeg yderligere støtter opfattelsen af at billeder i fysikken på ingen måde er tilfældige, men har bestemte funktioner som det er værd at undersøge.

Undersøgelserne af fysikillustrationer bygger hovedsageligt på 23 lærebøger eller lærebogssystemer (se litteraturlisten) som dækker det faglige stof der typisk gennemgås de første år af en fysikuddannelse. Nogle bøger anvendes også i gymnasiet, og nogle anvendes primært på overbygningen. En del anvendes på grunduddannelsen på Københavns Universitet eller på Roskilde Universitetscenter, og resten har jeg fundet frem gennem Roskilde Universitetsbibliotek. På grund af bøgernes forskellighed hvad angår opbygning, tekst, anvendelse af matematik og udgivelsesår mener jeg at have opnået en rimelig grad af repræsentativitet, selvom man med rette kan hævde at amerikanske lærebøger er i overvægt – en tendens der dog på den anden side også findes flere steder i fysikuddannelsen, og som derfor ikke er tilfældig.

Min teoretiske metode må nok nærmest betegnes som eklektisk: Jeg har ikke fundet bestemte teoribygninger som kunne anvendes som en større ramme for arbejdet, og jeg bruger derfor teoretiske begreber og definitioner fra flere forskellige discipliner og forskningsområder ud fra et kriterium om anvendelighed i forhold til min problemstilling. Den litteratur og forskning jeg har brugt i mit teoretiske arbejde kan inddeles i tre grupper:

- Litteratur om perception, hukommelse og kognition af billeder.
- Litteratur om illustrationers betydning for børn og unge.
- Litteratur om billedkunst og analyse af denne.

Hvad angår det første punkt har jeg her haft glæde af grundlæggende undersøgelser af betingelserne for perception, som fx studier af øjenbevægelser, mønstergenkendelse, mentale forestillinger, hukommelse for bogstaver og symboler og lignende. Denne forskning er typisk lavet på et så generelt niveau at den kan bruges inden for alle former for visuel kommunikation. Men det betyder samtidig at den ikke er tilstrækkelig i forsøget på at udtale sig præcist om illustrationers betydning og funktion.

Her har jeg til gengæld kunnet bruge forskningen om illustrationers betydning for børn og unge. Den har som regel haft et pædagogisk eller tværkulturelt udgangspunkt hvor illustrationer ses som et medium for formidling af et bestemt budskab. Tværkulturelle studier har fx undersøgt hvordan man kan undervise tredje verdenslande i hygiejne ved hjælp af billeder, fordi man har måttet tage udgangspunkt i analfabetisme hos målgruppen. Det viser sig også her at kolossalt meget af vores billedforståelse er kulturelt bestemt hvilket kan give anledning til nogle kraftige misforståelser når man vil formidle på tværs af kulturer.

De pædagogiske undersøgelser har typisk drejet sig om børns forståelse ved hjælp af billeder og især om mulighederne for at bruge illustrationer i forbindelse med at lære at læse og at huske teksternes indhold. Vores almindelige billedforståelse bygger naturligvis meget på den erfaring vi har med billeder allerede fra barndommen af, og sådanne undersø-

gelses kan derfor fortælle os noget om billeders evne til at formidle budskaber og deres samspil med tekst. Men illustrationerne i disse undersøgelser er som regel noget mere simple i deres budskab og opbygning end de fagillustrationer der optræder i fysikken.

Analyse af komplicerede visuelle udtryk kan man til gengæld finde i kunsthistorien og i studier af billeder i reklamer og massemedier. Men fagillustrationer adskiller sig fra disse ved ikke at have intenderede *overførte* betydninger: Fagillustrationer forsøger som regel at anskueliggøre en faglig viden så direkte, konkret og ærligt som muligt, og vi må også gå ud fra at det er som bidrag til den korrekte forståelse af denne viden at vi skal se illustrationernes formål – selvom dette formål måske ikke altid er åbenlyst. I modsætning hertil står både billedkunst og billedreklamer, hvor førstnævnte ofte netop får sin kunstneriske værdi ved ikke at "sige tingene ligeud", mens sidstnævnte hyppigt sigter direkte på at sløre det primære budskab ("køb denne vare") for ikke at blive afvist.

Dette sammensurium af teoretiske begreber har medført en mængde betegnelser som normalt ikke bruges i sammenhæng, eller som i daglig tale har en noget vag definition. For at lette læseren og for at understrege at jeg har forsøgt at opbygge en konsistent terminologi til analyse af fysikillustrationer, findes i Bilag A en liste over definitioner på de begreber der har central betydning for projektet.

Integrerede målgrupper

Projektet er lavet som et såkaldt integreret speciale for fagene fysik og kommunikation. Det giver automatisk en målgruppe bestående af mennesker med noget forskellige forudsætninger. Samtidig kan man når man beskæftiger sig med faglig formidling, altid vælge at fokusere på afsenderen af materialet eller på modtageren. Dette giver flere mulige målgrupper for et projekt som dette.

1. Den fysikstuderende som dagligt skal forholde sig til illustrationer og få det bedst mulige ud af dem.
2. Fysiklæreren der som underviser anvender illustrationer og lærebøger med illustrationer.
3. Kommunikationsforskeren med særlig interesse for billeder.
4. Forfatteren der arbejder med produktion af fysikfaglig – eller anden naturvidenskabelig – tekst.
5. Videnskabsteoretikeren der interesserer sig for sociologiske og epistemologiske problemstillinger i videnskab og formidlingen af den.

Jeg mener at have noget at tilbyde alle fem grupper. Den fysikstuderende vil kunne finde en terminologi og tilgang til illustrationer der kan hjælpe til at sætte billederne i tale og derved undgå misforståelser. Fysiklæreren vil kunne finde flere bud på hvorfor nogle illustrationer er gode og andre er dårlige, og hvilken funktion illustrationer kan have i fysikundervisning. Kommunikationsforskeren kan få indsigt i hvordan et specifikt fagområde anvender et bestemt medie i forbindelse med faglig formidling, mens fagbogsforfatteren præsenteres for et begrebsapparat der forhåbentlig kan gøre fysikillustrationer mere konsistente og åbenlyse i deres formidling. Og da formidling af fysik på universitetsniveau på

mange måder afspejler faget som et forskningsfag – det hedder jo forskningsbaseret undervisning – mener jeg også rapporten kan være interessant for videnskabsteorien. Det sidste ikke mindst fordi videnskabssociologi har min egen interesse, og jeg har uden tvivl lært en del om fysikken som fag og erkendelsesform gennem dette projekt. I forhold til de øvrige fire målgrupper er jeg med afslutningen af dette speciale måske det tætteste man kan komme på en hybrid mellem dem. Som kommende kandidat afslutter jeg min karriere som fysikstuderende og starter en ny som underviser. Det teoretiske arbejde i specialet hører først og fremmest under faget kommunikation, og endelig har jeg gennem det sidste års tid arbejdet som forfatter på en cd-rom-produktion til fysikundervisningen i folkeskolen – et arbejde der gentagne gange har understreget illustrationernes rolle i forhold til forståelse og måske især misforståelse af fysik.

Jeg henviser i rapporten flere steder til hvordan en fysiker ville mene og reagere, og det er derfor relevant at spørge hvad jeg forstår ved en fysiker. Selvom der er forskel på uddannelser i tid og sted, er fysik alligevel så traditionsbunden et fag at alle der i Danmark – eller måske i hele verden – har gennemgået en fysikuddannelse må siges at have en hel del fælles bagage. Jeg betragter mig selv som en (næsten-)fysiker, og når jeg siden hen skriver "vi", taler jeg som regel om fysikere. Vi kender til mange af de samme eksempler, de samme metoder og har mange fælles opfattelser af fagets opbygning og historie. Selvom der er forskelle, må der være flest ligheder.

Den teoretiske fysik der indgår i rapportteksten er med vilje på et niveau der ikke overstiger hvad der er normalt på grundlæggende universitetsniveau. Det skyldes to ting. For det første ville det være forkert at kritisere illustrationer for at de ikke er i overensstemmelse med en teori som ligger på et langt mere specialiseret niveau end det teksten befinder sig på – det er de færreste der er det! Illustrationerne skal selvfølgelig diskuteres i forhold til den fysik de formidler. For det andet er det min opfattelse at et projekt under *F-toningen*¹, som er den projektbinding dette speciale hører under på fysik, ikke skal bruges til at bevise at den studerende besidder tilstrækkelige fysikfaglige kvalifikationer til et kandidatniveau – det har jeg gjort i andre sammenhænge. Samtidig mener jeg at længere formalistiske udredninger af de omhandlede fysiske situationer ville komme i konflikt med projektets intentioner, bl.a. ved at besværliggøre læsningen af rapporten unødigt for de læsere der ikke har en uddannelse i fysik bag sig.

Projektet er i faget kommunikation lavet i *Modul 2 – analysemodulet*, og det er en vigtig grund til at jeg ikke primært har forsøgt at nå frem til opskrifter der kan hjælpe ved produktion af fysikfaglige illustrationer. Projektet er en *analyse* af eksisterende faglig formidling – og det ikke bare set i forhold til pædagogiske og undervisningsmæssige sammenhænge, men på en måde så den muligvis også er relevant i forhold til anden formidling af forskning og videnskab. Mange af mine diskussioner kunne givetvis også føres

¹ I studieordningen for fysik står følgende om denne projektbinding: "F-toningsprojekter skal eksemplarisk behandle en problemstilling inden for fysikkens didaktik eller en tilsvarende problemstilling vedrørende fysikformidling uden for uddannelsessystemet."

i andre fag end i fysik, men det er nu engang fysikken jeg føler mig kvalificeret til at udtale mig om, og naturligvis fokuserer på fordi det er et fysikspeciale.

Rapportens mange illustrationer stammer hovedsageligt fra de 23 undersøgte lærebøger. Layoutet af originalerne er meget forskelligt, lige fra den simpleste monokrome stregtegnning med tændstiksmænd over den detaljerede, fuldfarvede, skyggebelagte tegning til det perfekt gengivede farvefotografi. Jeg har valgt at gengive alle illustrationer i sort/hvid-udgaver af to grunde. For det første er det en afgørende fordel i produktionen af rapporten, og for det andet er farver kun sjældent afgørende for forståelsen af illustrationerne. De steder hvor farver virkelig har betydning, har jeg beskrevet farverne i teksten, og disse illustrationer findes desuden gengivet i farver i Bilag C.

Visse illustrationer er gengivet med deres oprindelig billedtekst, mens den er udeladt i andre. Som det vil fremgå af rapporten tillægger jeg billedteksten stor betydning i forbindelse med at forstå illustrationen, og jeg har derfor medtaget den oprindelige billedtekst for at vise samspillet mellem den og illustrationen. I de tilfælde hvor den oprindelige billedtekst ikke er gengivet, er det fordi den enten ikke indeholder information af betydning, eller fordi denne information er indeholdt i den nuværende billedtekst.

Projektet har som sagt ikke haft som formål at nå frem til en vejledning i produktion af illustrationer, men har uvægerligt ført til flere konklusioner der har en direkte indflydelse på hvordan tilrettelæggelsen af fysikillustrationer bør ske. Samtidig er jeg gennem mit arbejde naturligt nok stødt på en stor mængde praktiske råd til den der vil lave illustrationer. Sammenlagt giver det en viden som formentlig vil kunne fungere som et godt udgangspunkt for fremtidigt arbejde med produktion af fysikillustrationer, og som det ville være ærgerligt ikke at videregive. Jeg har derfor samlet de gode råd til afsendere og producenter af fysikillustrationer i Bilag B.

Selvom ambitionen fra starten var at skrive alt hvad der nu måtte være interessant om illustrationer i fysikken, må jeg indse at jeg kun nåede et lille stykke af vejen. Alene at skaffe sig et overblik over illustrationerne og deres ligheder og forskelligheder har taget lang tid. Mit bidrag skal nok ses som en organisering af emnet og kun en begyndende analyse af de pædagogiske, kognitive og epistemologiske problemstillinger. Jeg håber at andre kan og vil fortsætte arbejdet med et forskningsfelt som jeg er overbevist om – på trods af den hidtidige ringe opmærksomhed – kan bidrage med både fysikfaglige, didaktiske og kommunikationsteoretiske indsigter.

Kapitel 2

Illustrationens funktion

Mange lærebøger i fysik indeholder en illustration i stil med den i Ill. 1. Tegningen ledsages som regel af en billedtekst med en ordlyd i stil med: "The possible Bohr orbits of an electron in the hydrogen atom."²

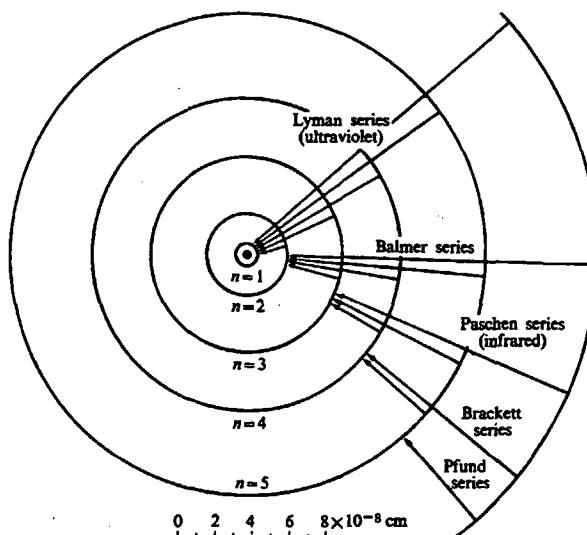
Ill. 1. Bohr-modellen af et hydrogenatom som den ser ud i mange universitetslærebøger. Fra Sears mfl., 1976, s. 762.

Som teksten fortæller stammer denne visualisering af atomet fra Niels Bohr der i 1913 fremlagde en teori for hydrogenatomet som kunne forklare både dets stabilitet og frekvenserne af spektrallinjerner. Modellen er standardmateriale i enhver lærebog i grundlæggende universitetsfysik hvor den tillægges stor betydning som følgende tekst belyser:

"Bohr applied the then-new quantum ideas to atomic structure to come up with a model that, even though later replaced by a more complex picture of greater accuracy and usefulness, is still the mental image many scientists have of the atom."³

Hvordan kan det nu være? Når nu vi som fysikere véd at billedet af atomet som en kerne med elektroner uden om i bestemte baner ikke rigtig passer, hvorfor fremstiller vi det så stadig som i Ill. 1? Hvad er det vi gerne vil fortælle med en sådan visuel fremstilling? Og hvilken funktion kan sådanne illustrationer i fysikken have? Det er nogle af de spørgsmål jeg i dette kapitel skal forsøge om end ikke at svare på, så i hvert fald at diskutere i forhold til illustrationer i fysikken.

Faget fysik har et meget stort element af visuel kommunikation, men for at finde et solidt udgangspunkt for en *analyse* af illustrationers betydning og funktion, er det fornuftigt at gå til andre fagområder der mere indgående har beskæftiget sig med billeder og hvad vi skal vide for at forstå dem. For hvis man ikke har en vis forhåndsviden, kan det føre til misforståelser om billedets indhold og hensigt. I en traditionel billedanalyse kan vi inddеле denne viden i 5 nedenstående områder,⁴ som også kan bruges til at vise hvad vi må beskæftige os med for at blive klogere på illustrationerne i fysikken:



² Ohanian, 1989, s. 1059.

³ Krauskopf & Beiser, 1997, s. 257.

⁴ Kjærup, 1995, s. 19.

- 1) **Billedteknikker** handler om de tekniske muligheder for mangfoldiggørelse og afbildning. Den viden er meget vigtig for at forstå den kunsthistoriske udvikling hvor man fx må have kendskab til hvornår perspektivteknikken og oliemalingen blev opfundet. For hvis maleren ikke har haft kendskab til perspektivteknik, har han jo heller ikke muligheden for at vælge at bruge den eller lade være. Den teknik der anvendes, har altså betydning for hvordan billedet skal forstås. I forhold til fysik skal vi især overveje betydningen af at mange fysikbøger både førhen og i dag trykkes i et forholdsvis lille oplag. Dette sætter grænser for brugen af illustrationer og illustrationsteknikker, pga. disses forholdsvis store økonomiske udgifter. Hvis en bog derfor kun anvender sort/hvide stregtegninger, har det således betydning for hvad man rent faktisk kan lave af illustrationer, og hvordan de ser ud.
- 2) **Billedtraditioner** drejer sig om hvordan man plejer at afbilde ting. I fysikken er der en mængde uskrevne regler for hvordan bestemte situationer visualiseres, hvilket man nemt kan overbevise sig om ved at sammenligne forskellige lærebøger: Mange illustrationer adskiller sig kun ubetydeligt, og mange kan føres langt tilbage i historien. Nogle gange helt tilbage til ophavsmanden til den teori de illustrerer, som fx brugen i relativitetsteori af et tog i bevægelse – en fremstilling som oprindeligt kommer fra Einstein.⁵ Andre mere almindelige konventioner i fysikillustrationer er fx brugen af bestemte synsvinkler hvor vi som regel ser en situation fra siden eller fra oven. Men det kan også være traditionen med at vise portrætter af "de store videnskabsmænd", eksemplariske forsøgsopstillinger eller klassiske/historiske eksempler på fysiske fænomener. Jeg har gennem hele mit arbejde forsøgt at tage disse traditioner så alvorligt som muligt og generelt udvalgt illustrationer der netop karakteriserer det traditionelle fremfor det utraditionelle. Kun når jeg mener at vi kan lære af en anderledes fremstillingsmåde, vil jeg diskutere særegne illustrationer.
- 3) **Billedsymbolikker** går på hvordan vi bruger ting som henter betydning andre steder fra. Eftersom fysik er et socialt fag der udspiller sig mellem mennesker, er det ikke mærkeligt at fysikken trækker på fremstillingsformer der oprindeligt kommer fra andre områder. Men samtidig bruger fysikken symboler som fx vektorer, felter og bølger på en måde der ikke genfindes andre steder, og desuden har mange fysiske genstande, fx lodder og trisser, en bestemt måde at blive gengivet og brugt på. Kendskabet til sådanne symbolikker og deres korrekte brug er afgørende når man skal konstruere eller aflæse illustrationer i fysikken, og jeg vil bruge det i en diskussion af konkrete illustrationers hensigtsmæssighed i forhold til at formidle et bestemt fagligt indhold.
- 4) **Den virkelige verden.** Dette område handler om direkte erfaringer med naturen og teknologi, dvs. uundgåelige følger ved at være et seende menneske i vores verden. Man kan diskutere hvilke erfaringer der i visse emneområder af fysikken er mest virkelige eller grundlæggende. I fx atomfysik er den erkendelse man opnår gennem undervisning, altoverskyggende fordi vores direkte erfaringer på dette område er

⁵ Topper, 1996, s. 216f.

forholdsvis begrænsede. Man kunne derfor mene at billeder og forestillinger inden for et sådant område netop er med til at konstituere hvordan vi opfatter den virkelige verden. Men lad os foreløbigt nøjes med at sige at direkte erfaringer med verden også er uundværlige for fysikken, og så vende tilbage til disse overvejelser siden hen.

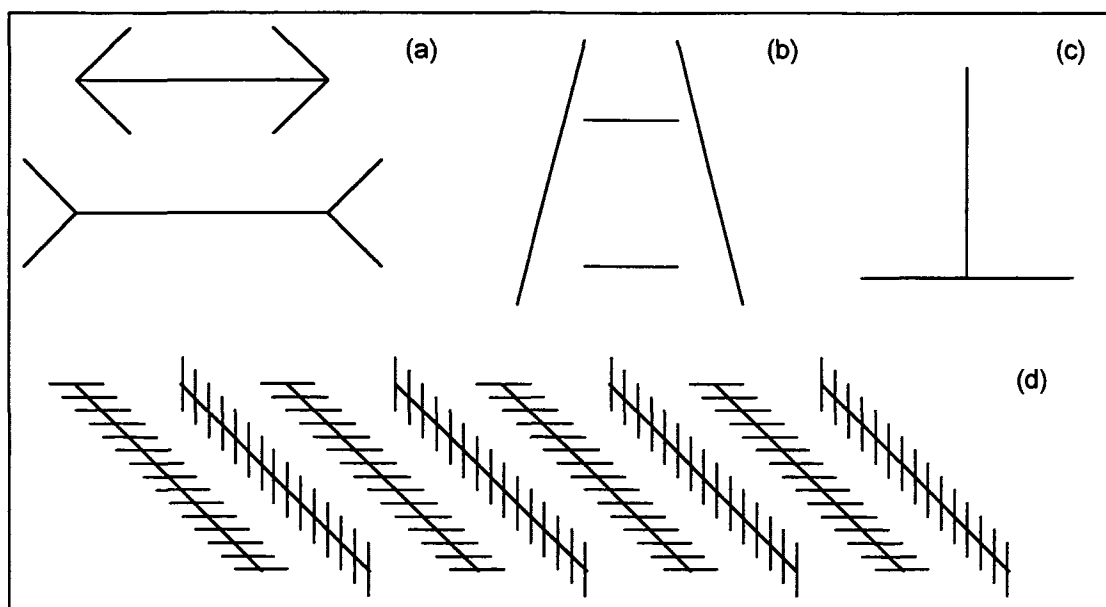
- 5) **Perceptionspsykologi** drejer sig om hvordan vi grundlæggende opfatter visuelle signaler. I forhold til fysik kan det fx være relevant hvordan 3 dimensioner opfattes på en flade, eller fundamentale opfattelser af fx op og ned, fremad og tilbage, stor og lille eller figur og baggrund. Dette område er måske mere interessant for afsenderen af billeder end for modtageren, for hvis der vitterlig skulle eksistere generelle regler for hvordan vi opfatter visuelle signaler (fx en regel for altid at bedømme lige store figurer til at ligge i samme plan), så kan vi som billedlæsere jo være ligeglade med disse regler – det er jo nu engang bare den måde vi ser på, og det kan ikke bruges til at fortælle os ret meget om billedets betydning. Afsenderen af billedet derimod må selvfølgelig være klar over eksistensen af sådanne billedlæsningsregler og tage højde for dem i konstruktionen af et billede. Der er udført meget forskning inden for perception af visuelle fremstillinger, og på mange områder kan vi da også blive klogere på hvordan vi overhovedet kan se billeder, og hvad det er vi ser.⁶ En redegørelse for alle disse resultater ville være meget omfattende, og jeg vil derfor i det følgende afsnit kun give en kortfattet fremstilling af de – i forhold til min problemstilling – relevante aspekter herfra.

Perception og hukommelse

Almindeligvis stiller vi ikke de store spørgsmål til hvordan vi kan se og forstå visuelle fremstillinger – det er jo bare noget vi gør! Men hvis man forsøger at gå dybere ind i processen, åbner der sig en verden af spørgsmål som vi måske kun har en brøkdel af svarene til. På nogle områder har vi dog forholdsvis gode forklaringer. På det underliggende niveau – det fysiologiske og neurologiske – kender vi nogenlunde den proces der er forbundet med synssansen: Lysbølger, der kan komme direkte fra en lyskilde eller reflekteret fra genstande, danner et billede på øjets nethinde. Den består af omkring en million nerveceller der hver især sender impulser til hjernens milliarder af celler. Undervejs bliver nerveimpulserne bearbejdet i bestemte centre således at bestemte påvirkninger udvælges eller reduceres. Den fysiologiske side af synssansen har bidraget med meget til lægekunsten, men har kun sporadisk givet en større viden om hvordan vi forstår billeder. Mere interessant bliver det hvis vi bevæger os op på næste niveau – det perceptionspsykologiske – hvor sammenhængen mellem den fysiske påvirkning af synssansen og den oplevelser der følger hos individet undersøges. Jørgen Bruun Pedersen sammenfatter resultaterne fra dette niveau i fire sætninger:⁷

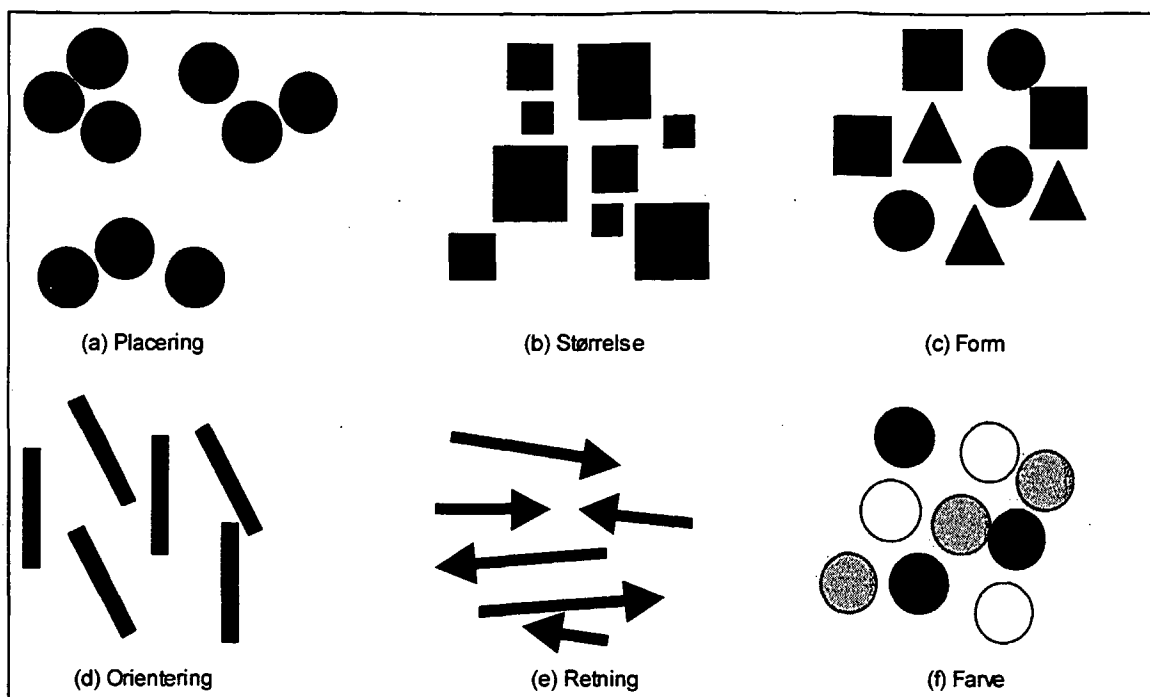
⁶ Pedersen, 1987; Willows & Houghton, 1987 samt Goldsmith, 1984 giver et godt overblik over disse resultater i forhold til illustrationer. Arnheim, 1974 leverer samtidig en inspirerende større filosofisk ramme til at forstå visuel perception ud fra.

⁷ Pedersen, 1987; s. 19f.

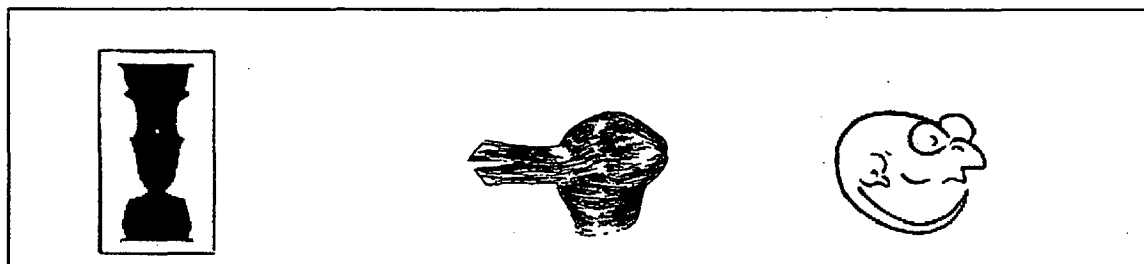


Ill. 2. Velkendte eksempler på tegninger der fører til visuelle illusioner.

- 1) **Perceptioner er relative.** I perceptionen af forhold som størrelse, farve og intensitet fungerer mennesket ikke som et pålideligt måleapparat fordi omgivelserne spiller ind og får fx en grøn trøje til at se forskellig ud i solskin og elektrisk lys. Vores vurdering af størrelsesforhold mellem objekter afhænger også meget af andre objekter i synsfeltet, som vist i Ill. 2.
- 2) **Perceptioner er selektive.** Selvom øjet modtager millioner af input, registrerer vi kun en meget lille del af dem – ad gangen, i hvert fald, for vi kan netop rette vores opmærksomhed mod forskellige dele af et billede. Men vi kan ikke percipere alle dele af et visuelt input lige meget på én gang. Her spiller indstillingen hos iagttageren en meget vigtig rolle fordi vi tilsyneladende udvælger først at se det vi kan eller skal bruge til noget. Når vi i gadebilledet leder efter en postkasse, er vi bogstaveligt talt stillet ind på at få øje på små røde kasser. Nyhed spiller også en rolle fordi nye synsindtryk som regel perciperes kraftigere end gentagelser, dvs. at vi med variationer i billeder kan tiltrække opmærksomhed. Men på den anden side vil vi udsat for et billede med 99 helt ukendte objekter og ét velkendt først og fremmest fokusere på det velkendte.
- 3) **Perceptioner er organiserede.** Ser vi flere forskellige objekter i et billede, vil vi gruppere dem efter lighed. Men lighed kan være forskellige principper alt efter hvad der er mest dominerende i det enkelte billede. Det kan fx være lighed i form, rumlig placering (dvs. nærhed), rumlig orientering (dvs. retning), farve eller størrelse. Eksempler på dette er vist i Ill. 3.



Ill. 3. Eksempler på forskellige organiseringsprincipper. Med forlæg i Arnheim, 1974, s.80-82.



Ill. 4. Vase eller kvinde? Kanin eller and? Rotte eller mand? Eksempler på at perceptioner er gestaltede. Fra henholdsvis Kosslyn & Osherson, 1995, s. 304, Gombrich, 1960, s. 5 og Hayes, 1996, s. 38.

- 4) **Perceptioner er gestaltede.** Vi ser ikke først en mængde detaljer som så sættes sammen til meningsfulde objekter. Vi ser hele former til at starte med, og så kan vi siden fokusere på detaljer. Dette illustreres ofte af figur-grund-tegninger som Ill. 4 der viser at selvom billeder kan tolkes på flere måder, så vælger vi altid en bestemt betragtningsmåde til at fastholde billedet.

Det er stadig en kilde til forskning hvordan det overhovedet er muligt at identificere indholdet af billeder vi aldrig før har set,⁸ og spørgsmålet er om perceptionspsykologien nogensinde bliver i stand til at levere et svar på dette. Kunsthistorikeren E. H. Gombrich har

⁸ Se fx Biederman, 1995, Spelke mfl., 1995.

argumenteret for at det vi ser eller genkender kan afgøres ud fra to faktorer: *Lighed* og biologisk *relevans*, og at disse to måske er i stand til at erstatte hinanden:⁹

"Jo større biologisk relevans en ting har for os, desto mere er vi indstillet på at genkende den – og desto mere tolerante vil vi være med hensyn til formel lighed. I en erotisk ladet atmosfære skaber den svageste antydning af formel lighed med seksuelle funktioner den ønskede reaktion, og det samme gør drømmesymbolerne som Freud udforskede. Den hungrende vil ligeledes være indstillet på at opdage mad – han vil afsøge verden for det svageste tegn på næring."¹⁰

Når man er sulten, giver det mest mening at indstille sin opmærksomhed på næring, og dette kan udmærket overføres på andre mindre livstruende situationer. Faglige illustrationer perciperes i forhold til den kontekst de optræder i; om det er i en undervisningssituation eller en lærebog. Men modtagerens egen tilstand har også her betydning i forhold til at se "det rigtige" i illustrationen. Det vigtige er altså at illustrationen – og også de enkelte objekter der indgår i den – er relateret til noget som modtageren ikke bare kan forstå, men som også underbygger intentionerne med illustrationen.

I forhold til den anden faktor er det væsentligt at påpege at lighed ikke nødvendigvis er naturalistisk lighed, men ofte kan være et spørgsmål om at ligne andre billeder. Det vil sige at mange af de måder vi visualiserer genstande på, bygger på konventioner som kan være mere eller mindre uomgængelige. Et godt eksempel på dette er historien om hvordan et træsnit af et næsehorn – udført af Albert Dürer i 1515 på baggrund af en andenhandsbeskrivelse og derfor ikke særlig naturalistisk – kom til at spille en stor rolle for hvordan næsehorn siden hen er blevet fremstillet som det ses i Ill. 5. Det særlige er her at vi direkte véd hvor konventionen for hvordan man skal visualisere et næsehorn, kommer fra eftersom Dürers træsnit formodes at være den første billedlige beskrivelse af et næsehorn i Europa. Hans manglende data på dyrets udseende gjorde formentlig at han tilføjede elementer fra forestillinger om drager, fx den pansrede hud.

Et andet eksempel er brugen af piktogrammer hvor det er tydeligt at de fleste piktogrammer virker, selvom de ikke billedmæssigt ligner det de skal fortælle os. Færdselstavlen "Ubevogtet jernbaneoverkørsel" (se Ill. 6) består af en rød tekant og et lokomotiv, og vi kan derfor ikke sige at skiltet forestiller hvad det skal oplyse os om. Oven i købet har lokomotivet på skiltet ikke megen lighed med de tog der kan tænkes at passere, men er snarere en stiliseret udgave af et damplokomotiv. Det er ikke noget problem fordi et piktogram ikke er et rigtigt billede:

"De er "tegn" i snæver forstand, symboler – men de er en særlig slags symboler, nemlig sådanne der af mnemotekniske grunde (altså for at man skal kunne huske dem), eller af hensyn til den internationale forståelighed, er udformet på baggrund af billeder, altså med billedsprog og billedsproglige formuleringer et eller andet sted inde i baghovedet."¹¹

⁹ Gombrich, 1951.

¹⁰ Fra Gombrich, 1951, men her citeret i oversættelsen i Gombrich, 1979, s. 19.

¹¹ Kjørup, 1995, s. 102f.

Ill. 5. (Til højre) Øverst Dürers træsnit fra 1515, i midten Heaths kobberstik fra 1789 og nederst Schulthess' fotografi fra 1957. Læg mærke til hvor mange elementer der går igen fra Dürer til Heath som ikke kan genfindes i fotografiet. Fra Gombrich, 1960, s. 81.

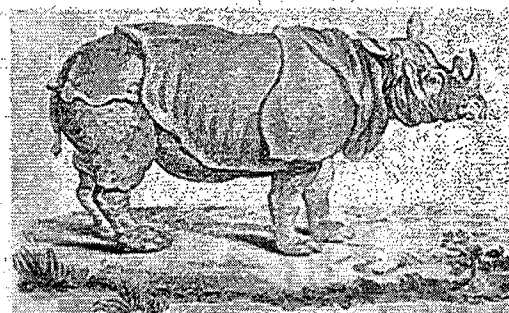
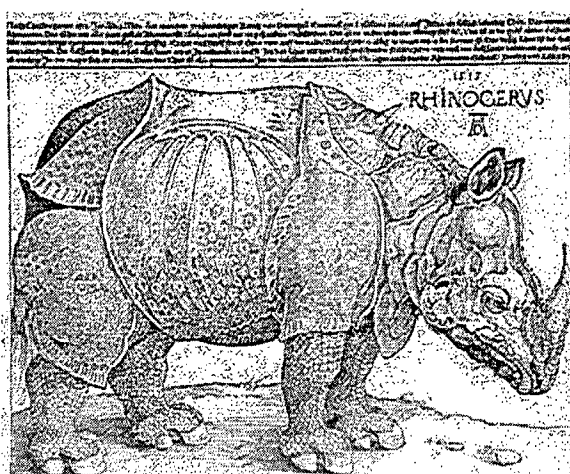


Ill. 6. (Ovenfor) Færdelstavlen "Ubevogtet jernbaneoverkørsel".

Som vi skal se, bruger vi også i fysikken sådanne piktogrammatisk tegn, og det skyldes nok netop at det er let at huske dem. Vores hukommelse fungerer nemlig på en måde så visuelle elementer åbenbart har gode betingelser. I psykologien arbejder man normalt med to slags hukommelse: korttidshukommelsen og langtidshukommelsen.¹² I korttidshukommelsen opbevarer vi informationen ubearbejdet, dvs. i sin oprindelige form, men til gengæld forsvinder meget information efter kort tid. Langtidshukommelsen kan i princippet opbevare information i en levealder, men al information er her bearbejdet og derfor ikke blot en kopi. Bearbejdningen kan enten være at indbygge information som en del af et større netværk af viden (læring af nye ord sker ofte ved at huske deres brug sammen med andre velkendte ord), eller det kan være at finde på specielle huskereglere som når vi lærer et telefonnummer ved at danne et regnestykke ud fra cifrene eller sammenligne med fødselsdage og lykkenumre. Men en meget effektiv metode er også at forestille sig den verbale meddelelse visuelt, en metode som allerede var velkendt af den klassiske retorik i forbindelse med memoria, dvs. kunsten at lære en tale udenad.¹³

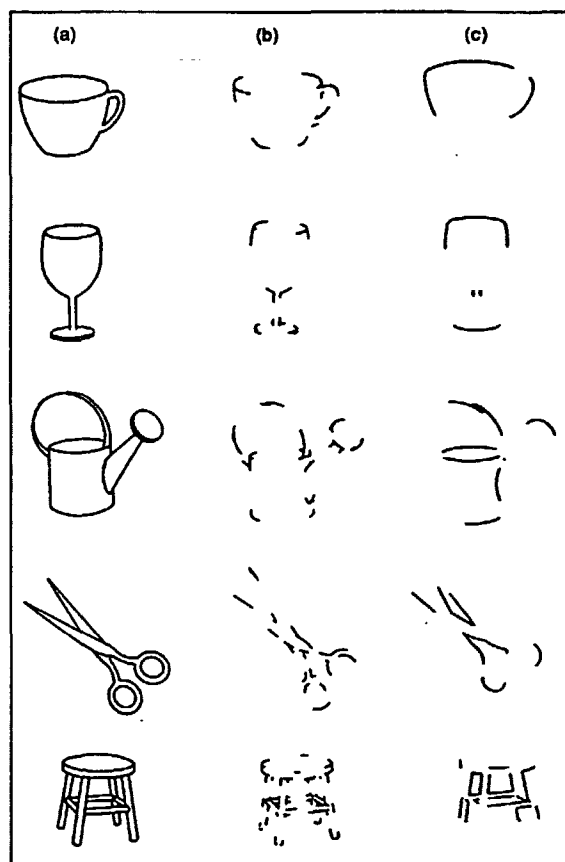
¹² Hayes, 1996, s. 67.

¹³ Dette aspekt er grundigt undersøgt i Yates, 1966.



Der har været forsket meget i hukommelse i forbindelse med billeder, og selvom der er flere modstridende resultater, har det dog ifølge W.H. Levie gentagne gange vist sig at hukommelsen for billeder er bedre end hukommelsen for ord, hvilket også kaldes "The Pictorial Superiority Effect".¹⁴ Dette passer godt med at den visuelle hukommelse også har vist sig at have forbløffende høj kapacitet. Vi kan genkende billeder som vi kun kort har set en enkelt gang, og vi kan genkende objekter selvom meget information er udeladt. Men visse dele af de objekter der indgår i et billede spiller større rolle end andre som det også fremgår af Ill. 7.

Ill. 7. Når vi skal genkende et objekt, spiller visse dele af objektet en større rolle end andre. Søjle (b) viser genkendelige versioner af søjle (a), mens søjle (c) mangler afgørende træk til at styre genkendelsen. Fra Biederman, 1995, s.153.



Effekter på læring

Et er dog hukommelse, noget andet er læring. For hvad nytter det i en læringsituation at huske billeder hvis de ikke hjælper til forståelse. Der har da også været lavet en del undersøgelser for at undersøge effekten af at bruge illustrationer i lærematerialer, og sammenfattende kan man sige følgende:¹⁵

1. De kan gøre informationer mere nøjagtige.
2. De kan bringe processer, begivenheder, situationer, materialer og procesforandringer i tid og rum, som er utilgængelige i almindelighed, ind i selve undervisningssituationen.
3. De kan illustrere, klargøre og forstærke information der gives mundtligt eller på skrift og som handler om forholdet mellem kvantitative størrelser, specifikke detaljer, abstrakte begreber og rumlige relationer.
4. De kan sørge for konkretiseringen i indlæringsituationen ved at præsentere realistiske detaljer.
5. De kan forøge den studerendes mulighed for at se et objekt, en proces eller en situation fra forskellige synsvinkler.
6. De kan skabe en væsentlig feedback.

¹⁴ Levie, 1987, s.10.

¹⁵ Disse begrundelser stammer fra Dwyer, 1972. Her bringes de oversat som hos Pedersen, 1987, s. 58.

Det er ikke tilfældigt at der står "De kan..." ved hvert punkt, for når man kigger på de udførte undersøgelser, så er den umiddelbare konklusion at illustrationers generelle effekt på affektive og kognitive forhold er ret så beskeden. Man kan som regel måle en positiv virkning, men ikke noget markant, og nogle undersøgelser viser modstridende resultater. For mig at se er det ikke underligt at det er svært at svare på spørgsmålet "Illustrationer eller ej?", for det minder om at spørge om radio er et bedre medie end fjernsyn – det kommer selvfølgelig an på til hvad og hvordan. Man kan også mene at spørgsmålet i dag er irrelevant for fysikken, eftersom de fleste fysikbøger nu engang er fyldt med illustrationer. Men selvom der kan være mange grunde til at fylde bøger med illustrationer – at studerende umiddelbart har præference for illustreret materiale er indlysende, men det er faktisk også underbygget af forskningsresultater¹⁶ – er der ingen tvivl om at fysikken altid har været et visuelt fag, også i de perioder der ikke var billeder i fysikbøgerne.

Derfor er det også mere interessant at stille spørgsmålet "Hvordan skal man illustrere?". Men det er så som så med sådanne undersøgelser, og så vidt vides er det mest omfattende forsøg på at svare på dette stadig nogle undersøgelser udført af F. M. Dwyer og kolleger primært i 1970'erne og op til starten af 1980'erne, hvor de gennemførte mere end 200 studier baseret på en tekst med ca. 2.000 ord og en række illustrationer om menneskets hjerte.¹⁷ Illustrationerne fandtes i 9 forskellige udgaver fra en sort/hvid stregtegning uden dybde over mere realistiske modeller til et fotografi af et autentisk hjerte i farver. Et af de tydeligste resultater var at stregtegningen er mere effektiv når tiden til rådighed er begrænset, hvorimod den realistiske fremstilling kan forsvares når læseren har ubegrænset tid til rådighed.

Måske skyldes stregtegningens effektivitet at evnen til at se bort fra irrelevante informationer i illustrationer ikke er medfødt, men tillæres i løbet af livet: Børn under 12-13 år er simpelthen slet ikke i stand til at ignorere bestemte dele af et billede.¹⁸ Men selv med en stregtegning er der mange muligheder for forkerte tolkninger. Evelyn Goldsmith refererer en undersøgelse foretaget af G.S. Evans & G.M. Seddon i 1978 som undersøger perception af dybde i stregtegninger af molekylemodeller hvor forskellige dybdevinkler er varieret,¹⁹ og i Ill. 8 ser vi tydeligt hvor lidt der skal til for at hjælpe til eller distrahere forståelsen af en rumlig model.

¹⁶ Levie, 1987, s.24.

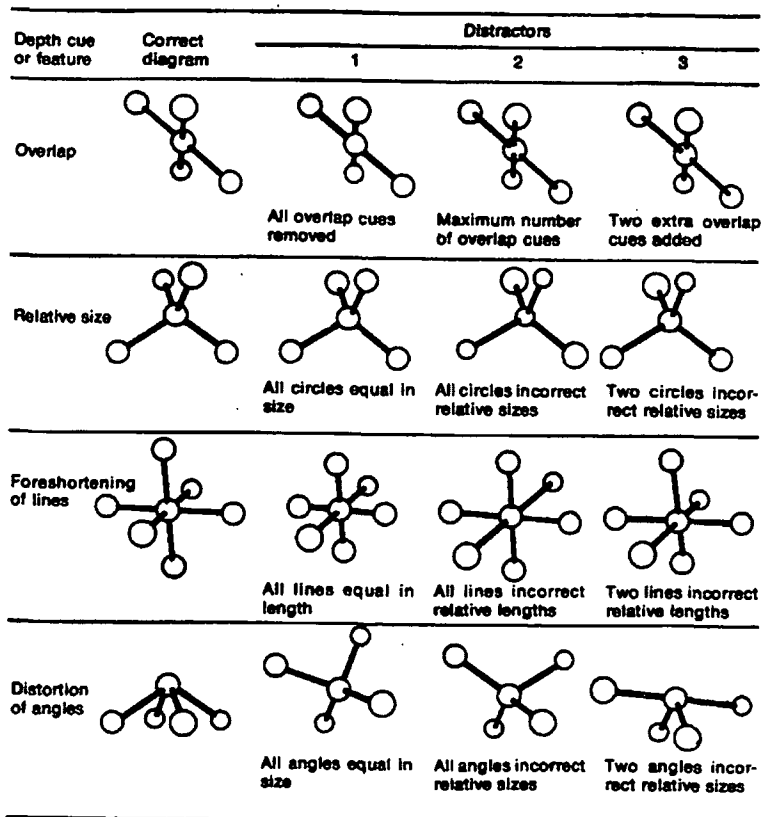
¹⁷ Hovedparten af forsøgene er udført i 1967 og 1972 og detaljeret beskrevet i Dwyer, 1972. De vigtigste resultater er opsummeret i Goldsmith, 1984, s. 17-23.

¹⁸ Goldsmith, 1984, s. 313.

¹⁹ Goldsmith, 1984, s. 222.

Ill. 8. Forskellige illustrationer af 3-dimensionelle molekylemodeller der viser hvordan dybde i billedet kan indikeres på fire måder i en stregtegning - og også hvordan man kan distrahere forståelsen. Fra Goldsmith, 1984, s. 223.

Denne undersøgelse viste ikke noget klart om hvilket dybdevinkel der er det bedste, men det er heller ikke pointen i denne sammenhæng. Pointen her er at der skal så lidt til at styrke henholdsvis forvirre læseren i sin afkodning af illustrationen, og dette må forfatteren tage alvorligt. Hvis illustrationen skal have en positiv effekt på læring, må de indgående elementer støtte hinanden i stedet for at modsige hinanden som de fx gør i de distraherende udgaver i Ill. 8.



En anden måde at støtte afkodningen af illustrationen er at tiltrække eller rette læserens opmærksomhed mod netop det vigtigste i illustrationen. Det har i flere undersøgelser vist sig at man med held kan gøre dette ved hjælp af farver, dvs. hvis man lader få objekter være i kontrastfarver til det øvrige.²⁰ Effekten forsvinder hvis man anvender mange forskellige eller realistiske farver, og er størst med en sort/hvid-tegning kombineret med fx rød som markeringsfarve. Men der er også andre midler der kan tiltrække eller styre opmærksomhed som fx position, størrelse, isolation og kompleksitet.

Som ved anden formidling findes der ingen færdige opskrifter på hvordan man udformer illustrationer så de har den største positive effekt på læring. Der findes dog en række tommelfingerregler som både bygger på forskningen og på sund fornuft.²¹ Og at forskellige illustrationer fører til forskellige resultater med hensyn til læring og forståelse, er sådan set ikke overraskende. Spørgsmålet er så nu hvordan de adskiller sig og hvilke funktioner de hver især egner sig til. For at blive klogere på det har vi brug for en taksonomi for illustrationer.

²⁰ Goldsmith, 1984, s. 263f.

²¹ Se Pedersen, 1987 for en udtømmende gennemgang af disse tommelfingerregler.

En pragmatisk taksonomi

Der findes flere måder at kategorisere illustrationer på, men umiddelbart synes det fornuftigt at forsøge at karakterisere de forskellige funktioner som illustrationer kan have i forbindelse med faglig formidling. Joel R. Levin har i starten af 1980'erne fremsat følgende 8 funktioner på baggrund af en gennemgang af litteraturen på området:²²

1. **Dekoration.** Illustrationen tjener til at gøre en tekst mere attraktiv.
2. **Profit (remuneration).** Illustrationen skal øge salget af bogen.
3. **Motivation.** Illustrationen skal øge læserens interesse for stoffet.
4. **Gentagelse (reiteration).** Illustrationen skal formidle samme information som teksten, dvs. en slags redundans.
5. **Repræsentation.** Illustrationen formidler informationer som bruges af teksten, men som ikke defineres heri.
6. **Organisering.** Illustrationen viser procedurer eller mange enkeltinformationer på en overskuelig måde.
7. **Fortolkning (interpretation).** Illustrationen leverer en fortolkning af tekstens indhold, fx af abstrakte begreber som visualiseres, typisk ved hjælp af analogi.
8. **Transformation.** Illustrationen støtter hukommelsen af information der i sig selv måske ikke er svær at forstå, men at huske, fx rækkefølger og årstal.

Hvor de fem sidste funktioner har en direkte forbindelse til opbygningen af og indholdet i en lærebog, må de tre første i princippet siges at være tekst-irrelevante. Ikke desto mindre er det ofte disse der afgør brugen af mange af illustrationerne: Materialet skal jo se indbydende ud og give den potentielle læser lyst til at beskæftige sig med stoffet. Når jeg i resten af rapporten ikke bruger mange kræfter på at diskutere disse tre, er det ikke fordi jeg underkender faktorer som motivation og dekoration – tværtimod – men snarere fordi jeg mener at vi i højere grad savner en forståelse af de tekst-relevante funktioner. Selve den faglige formidling og forståelse af fysik foregår jo netop med de tekst-relevante funktioner.

Levins taksonomi er udviklet ud fra studiet af illustrationer i prosatekster og her ses illustrationens funktion derfor altid i forhold den tekst den optræder sammen med (også når der er tale om tekst-irrelevante funktioner). En anden taksonomi som i nok højere grad betragter illustrationerne uden hensyntagen til den omgivende teksts indhold findes hos P. Duchastel og R. Waller, der nogenlunde samtidig med Levin har argumenteret for tre grupper af funktioner i fagillustrationer:²³

- **Tiltrækkende funktion (attentional role).** Illustrationer der har til formål at fange (og evt. fastholde) læserens opmærksomhed, dvs. en samlet betegnelse for de tre tekst-irrelevante funktioner ovenfor. De skal motivere læseren til at beskæftige sig med tekstens indhold. De skal gøre materialet mere indbydende at tage fat på, mere spændende at bladre igennem og mere interessant at læse. Sådanne illustrationer kender vi også

²² Levin, 1981 og også kort beskrevet i Levin mfl., 1987.

²³ Her refereret efter Pedersen, 1987, s. 49f.

fra fysikbøger hvor især nyere og amerikanske udgivelser er spækket med flotte farvefotos af spektakulære situationer eller fænomener.

- **Bevarende funktion** (retentional role). Illustrationer der skal støtte hukommelsen ud fra den veldokumenterede kendsgerning at den visuelle hukommelse svækkes mindre med tiden end den verbale. Derfor vil en illustration i teksten som understøtter en væsentlig pointe, være god som hukommelsesstøtte. Det kan gøres ved at forhåndsorganisere stoffet og kun fremdrage de helt centrale elementer.
- **Forklarende funktion** (explicative role). Illustrationer der i sig selv skal kunne forklare læseren noget, som måske vanskeligt kan udtrykkes verbalt alene. I didaktisk henseende bruges sådanne illustrationer ofte fordi de tilføjer noget som simpelthen ikke forståeligt kan siges med ord. Duchastel opridser syv aspekter af den forklarende funktion:
 1. *Beskrivende*, dvs. illustrationen viser ved fx et foto eller en tegning hvordan noget ser ud. Det kan både dreje sig om nærbilleder af genstande eller helhedsbilleder af forhold mellem flere genstande.
 2. *Ekspressiv*, hvor illustrationen lægger et følelsesmæssigt indhold i informationen.
 3. *Konstruktiv*, som betyder at hensigten er at vise sammenhængen eller forholdet mellem bestemte elementer, fx en maskintegning.
 4. *Funktionel*, hvor læseren kan følge en proces visuelt, det være sig både materielle processer såsom fx fabriksproduktion, eller immaterielle processer såsom kommunikation.
 5. *Logisk-matematisk*, som indeholder eksakte oplysninger om kvantitative forhold, fx grafer.
 6. *Algoritmisk*, dvs. en illustration med den hensigt at vise handlingsalternativer, hvilket vi kender fra rutediagrammer og brugsanvisninger.
 7. *Data-display*, som sigter på at læseren kan sammenligne forskellige kvantitative data i fx et søjlediagram sådan at tendenser og kvalitative vurderinger hurtigt kan fastlægges.

Man skal ikke se længe på illustrationer før man finder overlap blandt disse funktioner og aspekter – fx har alle forklarende illustrationer vel også et element af den bevarende funktion, jf. diskussionen af den visuelle hukommelse. Men for den der skal planlægge og udarbejde illustrationer, kan det være en stor hjælp at holde forskellige funktioner og aspekter begrebsmæssigt adskilt, så man kan overveje og fastlægge hvilken funktion der er den vigtigste i det enkelte tilfælde. Og i en diskussion af fysikkens illustrationer har vi her et brugbart udgangspunkt til at diskutere de forskellige funktioner vi møder.

Jeg refererer begge taksonomier fordi de på hver sin måde skildrer en tilgang til en undersøgelse af illustrationer. Forskellen som jeg ser den, er at hvor Levin tager udgangspunkt i at en *afsender* har villet noget bestemt med en illustration, så ser Duchastel og Waller illustrationen i forhold til hvad den gør ved den enkelte *modtager*. Forskellen kommer bl.a. til udtryk i at Levin karakteriserer illustrationens funktion med navneord, mens Duchastel og Waller gør det med tillægsord. Jeg bruger begreberne afsender og modtager som de tradi-

tionelt anvendes i kommunikationsteoretiske sammenhænge hvor nogen (afsenderen) siger noget (budskab) gennem et medie (lærebogen) til nogen (modtageren) med en vis effekt. Hermed også være sagt at afsenderen, der jo er forfatteren til teksten, som regel ikke har lavet alle illustrationer selv. Især fotografier, men også tegninger bliver meget genbrugt.

I bedste fald er der selvfølgelig overensstemmelse mellem det afsender ønsker at formidle, og det modtager faktisk får ud af illustrationen, og der er jo også mange lighedspunkter mellem de to taksonomier. I dette projekt tager jeg udgangspunkt i illustrationerne som de optræder for modtageren i bestemte lærebøger, og jeg kan således ikke med sikkerhed kende afsenders formål med en bestemt illustration – kun prøve at argumentere for et bestemt formål. Jeg vil derfor gå ud fra Duchastel og Wallers taksonomi til at fastlægge fysikillustrationernes funktion, men samtidig gøre brug af flere af Levins begreber, som fx den organiserende funktion, når jeg mener det er brugbart.

I forsøget på at skabe overblik over illustrationerne er overvejelser over funktion dog ikke så brugbare i første omgang fordi det ikke altid er indlysende hvilken funktion en bestemt illustration har i fysikken. Hvilken funktion har kapitlets indledende illustration af et atom for eksempel? Hvis vi skal gå systematisk til værks må vi have fat i en mere ukompliceret måde at karakterisere brugen af illustrationer, nemlig efter morfologi. Det er en inddeling der tager udgangspunkt i de karakteristiske træk ved fremstillingsteknikken. Et hensigtsmæssigt udgangspunkt har jeg fundet i en – intuitivt meget rimelig – tredeling af illustrationer hos L.J. Issing som inddeler i 1) fotografi/maleri, 2) tegninger og 3) grafik/diagram.²⁴ I min terminologi bliver det til *fotografi*, *figur* og *diagram*.

I et *fotografi* er det centrale den nøjagtige efterligning af virkeligheden, og formålet er her typisk at vise noget: "Sådan ser det ud!" Jeg henregner herunder malede portrætter og andre billedkunstneriske afbildninger i fysikbøgerne, fx historiske forsøgsopstillinger. I en kunsthistorisk analyse ville det selvfølgelig være forkert at karakterisere alle sådanne billeder ud fra at de viser hvordan nogen eller noget ser ud. Men jeg mener det i denne sammenhæng er fornuftigt fordi fysikken netop bruger disse billeder pga. deres evne til at levere en troværdig beskrivelse af udseendet af situationer eller mennesker, som vi ikke har fotografier af. Denne illustrationstype er derfor – for en fysiker – relativt ukompliceret, i hvert i forhold til de andre typer, men jeg mener alligevel at den fortjener selvstændig behandling, og det vil finde sted i Kapitel 3.

Det vi nok umiddelbart forstår ved en illustration, vil jeg kalde for en *figur*. Det er en tegning af et fænomen eller en model, og karakteristisk er det at der altid er noget der *ligner* virkelige genstande (eller som jeg tidligere diskuterede: ligner den måde vi normalt afbilder virkelige genstande), mens andre er mere eller mindre teoretiske symboler. Denne type vil jeg behandle i Kapitel 4.

²⁴ Issing, L.J., 1983: "Bilder als Didaktische Medien." *AV Forshung*, Institut fyr Film und Bild in Wissenschaft und Unterricht. s. 9-40. Her efter Pedersen, 1987, s. 42.

Et *diagram* definerer jeg ud fra at det tager udgangspunkt i relationen mellem forskellige objekter og deres egenskaber, og at det i modsætning til en figur intet har (af betydning) der ligner det som det repræsenterer. Fx er det centrale i et koordinatsystem sammenhængen mellem to størrelser, mens det i et diagram over et elektrisk kredsløb er forbindelsen mellem de enkelte komponenter. I et tilstandsdiagram er det centrale fx hvilken fase (fast stof, væske eller gas) en blanding af to stoffer er i afhængig af deres indbyrdes mængdeforhold. Diagrammer er altså alle de illustrationer der hovedsageligt består af kasser og pile og andre simple geometriske former, og dem vil jeg beskæftige mig med i Kapitel 5.

En umiddelbar forskel på disse tre typer kan også findes i deres forhold til faget, dvs. til fysik. Diagrammer er meget tæt forbundet med fysikken de omhandler og giver som regel kun mening i en kontekst der drejer sig om denne fysik. Omvendt forholder det sig med fotografier der som regel sagtens kan optræde og give mening selvstændigt, ja, ofte er de anvendte fotografier slet ikke fremstillet til brug i den kontekst vi møder dem i lærebøger. I midten finder vi figurerne der trækker på deres ligheder med fotografiske fremstillinger, og som samtidig er udviklet specielt til brug i en kontekst der drejer sig om fysik.

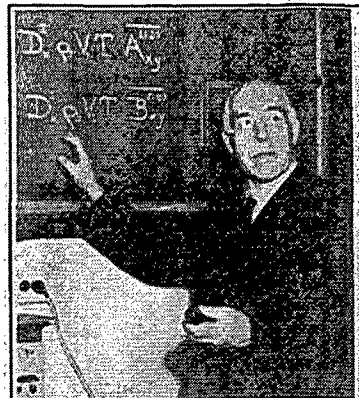
Vi kan nu begynde at diskutere fysikillustrationer mere konkret. Jeg vil i de næste tre kapitler forsøge at karakterisere typiske og hensigtsmæssige funktioner for de tre illustrationstyper. Undervejs vil jeg yderligere diskutere og definere de tre typer af illustrationer. Fastlæggelsen af afsenderens intention med den enkelte illustration vil ske ud fra overvejelser omkring konteksten, men en nærmere diskussion af denne kontekst vil jeg gemme til Kapitel 6, hvor meningen er at diskutere de forskellige illustrationstyper og –funktioner i forhold til den fysik de omhandler og bruges sammen med.

Kapitel 3

Det fysiske fotografi

Fotografier er måske ikke det første man som fysiker tænker på i forbindelse med fysikillustrationer. For hvad er fysikken i et fotografi? Selve fremstillingen af et fotografi er der en masse interessant fysik i, men hvordan kan man lære fysik ved at se på fotografier? To ting kan vi starte med at slå fast: For det første kan gode fotografier indfange naturfænomener som vi normalt ikke ser eller kan se, fx hurtige bevægelser eller meget små/store genstande. For det andet kan fotografier måske lære os noget *om* fysik, og det er den sidste funktion som vi skal starte med at undersøge.

Ill. 9. Fotografi af Niels Bohr ved tavlen. Fra Ohanian, s. 1058.



Niels Bohr, 1885-1962, Danish theoretical physicist. He worked under J. J. Thomson and Rutherford in England and then became professor at Copenhagen and director of the Institute of Theoretical Physics, for the foundation of which he was largely responsible. After formulating the quantum theory of the atom, he played a leading role in the further development of the new quantum mechanics. He received the Nobel Prize in 1922.

Ved tavlen

Hvad laver et fotografi af Niels Bohr ved tavlen i en fysikbog for universitetsstuderende? Lad os prøve at lave en billedanalyse af Ill. 9 som var vi selv ved tavlen for at gennemgå fotografiet. Traditionelt kan man dele arbejdet med et billede op i tre niveauer:²⁵

1. Det præikonografiske niveau hvor vi *beskriver* billedet og de elementer det består af som vi umiddelbart genkender dem. Her kræves ingen særlige forudsætninger udover at kunne se, kende sproget og kendskab til de for mennesker mest fundamentale eksistenser, så som dyr og landskaber.
2. Det ikonografiske niveau hvor vi *udreder* hvad det nærmere er billedet forestiller, dvs. hvordan de forskellige elementer hænger sammen, så vi kan give en beskrivelse af hvad billedet samlet set forestiller.
3. Det ikonologiske niveau hvor vi *tolker* billedet ind i en større sammenhæng, fx hvad det siger om en bestemt problemstilling, om den tid det er skabt i, eller om kunstneren.

I fotografiet ovenfor ser vi straks en midaldrende mand der står og peger på en tavle hvorpå der med kridt er skrevet bogstaver og symboler. Manden henvender sig ud i det rum han står i, ikke nødvendigvis til fotografen, men han ser ud som om han taler samtidig

²⁵ Panofsky, 1983 og Kjørup, 1995, s. 23. De tre niveauer stammer oprindeligt fra Erwin Panofskys artikel "Zum Problem der Beschreibung und Inhaltsdeutung von Werken der bildenden Kunst" fra 1932 i bind 31 i tidsskriftet LOGOS. Normalt henvises dog til den omarbejdede udgave der i Panofskys artikelsamling "Meaning in the Visual Art" (Garden City, New York: Doubleday Anchor, 1955) har titlen "Iconography and Iconology".

med at han peger på det der står på tavlen med sin højre hånd. I en sådan beskrivelse af fotografiet har vi ikke brugt anden viden end hvad alle (vesterlændinge i hvert fald) normalt vil kunne se. På dette præikonografiske niveau registrerer vi blot hvad vi umiddelbart kan se på billedet.

Men hvis vi uden anden hjælp end selve fotografiet skal kunne sige at det er Niels Bohr der står ved tavlen og fortæller om kvantemekanik, må vi have en anden slags forhåndsviden i spil. Vi skal kunne genkende fysikeren Niels Bohr, og vi skal være bekendt med Bohrs notation af symboler, og når vi gør brug af en sådan viden befinder vi os på det ikonografiske niveau i billedanalysen.

På det ikonologiske niveau ser vi på hvad billedet røber om ideologien bag, dvs. hvad billedet i en bredere forstand fortæller om det som det forestiller. Set isoleret fortæller Ill. 9 – såfremt man vel at mærke har den ovenfor beskrevne ikonografiske viden – historien om at en fysiker udfører eller bør udføre en udfarende og formidlende aktivitet. Men vi møder jo ikke fotografiet isoleret, vi møder det i en bestemt kontekst, nemlig en lærebog i fysik for universitetsstuderende.

Eksemplet i Ill. 9 er fra en bog der konsekvent har fotografier eller malerier af de vigtigste fysikere gennem tiderne. Sådan ser langt fra alle lærebøger ud på det niveau, så vi kan ikke forklare fotografiets tilstedeværelse med at det blot er en tradition – der må være en anden grund til det. En mulighed er at de har en *tiltrækkende* funktion i forhold til at motivere til at beskæftige sig med fysik. Portrætter kan være med til at personificere fysikken – give den et menneskeligt ansigt – og vise at det er et fag med en lang historie. Og det er jo et formål som vi også kender fra læseplaner for fysik i fx gymnasiet (tydeligst i arbejdet med den "historisk-filosofiske dimension", hvor det tilstræbes at vise at faget er en menneskelig og social aktivitet, og at det bidrager til en erkendelsesteoretisk og kulturel udvikling).

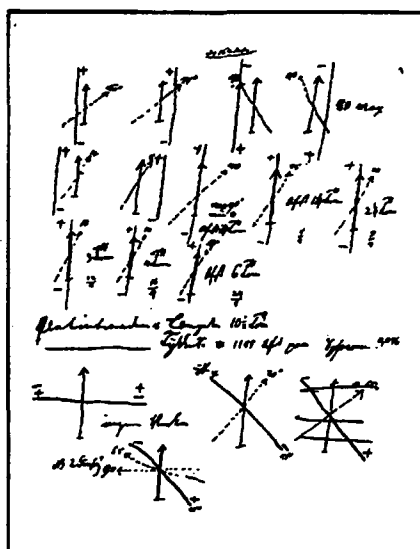
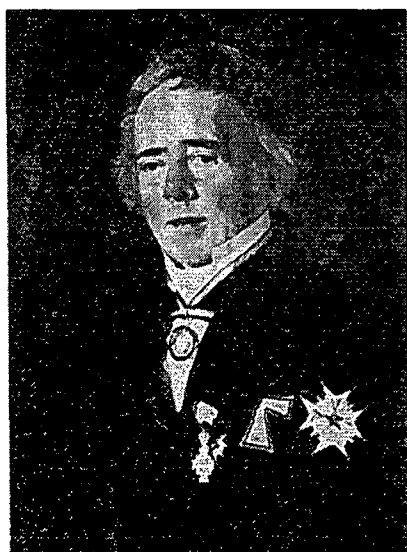
Hvis vi ser på billedteksten, leverer den en mængde bibliografiske data, og det er et godt eksempel på et samspil mellem tekst og billede i form af en afløsningsfunktion: Teksten formidler én slags data, mens billedet tager sig af andre. Samtidig foranker teksten billedet ved at fortælle at det er et billede af Niels Bohr, så også dem der ikke genkender ham, er med. Disse to funktioner, afløsning og forankring, er som Roland Barthes har beskrevet det, centrale for samspillet mellem tekst og billede.²⁶ Diskussionen af forholdet mellem tekst og billede skal vi vende tilbage til i Kapitel 6, her skal det blot understreges at billedteksten spiller en stor rolle for illustrationer i fysikken, selv for fotografier, og den skal derfor altid undersøges i en analyse af illustrationer.

Men samtidig viser fotografiet af Bohr en form for heltedyrløse som er med til at definere faget fysik i forhold til andre fag fordi vi her bliver præsenteret for personer der "skabte" fysikken. Fotografiet ovenfor fortæller jo om en mand der sætter sig for at forstå noget meget svært, og for at gøre det, må han bruge ty til en forholdsvis abstrakt tankegang. Det

²⁶ Barthes, 1980, s. 48. Denne artikel stammer oprindeligt fra tidsskriftet *Communications* 4, 1964.

lykkedes for ham, men han er ikke tilfreds før han har formidlet det videre til andre. På den måde har portrætfotografiet den funktion at være et eksempel til efterfølgelse: "Se, her er en mand der gør sig umage. Først må han igennem svære teoretiske overvejelser med fremmedartede ord og symboler, men så vil han også insistere på at forklare og fortælle os andre hvad han kom frem til – er det ikke imponerende?"

Der er ikke noget odiøst ved denne tolkning, for forskning indebærer jo netop både at man med alle kræfter fordyber sig i en problemstilling og bagefter kommunikerer sine resultater til andre. Og det er vel netop en vigtig funktion med sådant et fotografi i en lærebog: At beskrive hvad faget fysik er. Et andet eksempel finder vi i portrættet fra 1842 af C.A. Jensen i Ill. 10 som forestiller H.C. Ørsted med medaljer på brystet (Kommandørkorset og Nordstjerneordenens Bryststjerne). Dette billede fortæller helt tydeligt historien om en helt der med flid og grundighed gjorde store opdagelser. Og når maleriet så kombineres med et fotografi af Ørsteds noter, får vi endnu mere tydeliggjort forestillingen om videnskabs-helten der gør store opdagelser.



Figur 6.8 Nogle af Ørsteds optegnelser fra hans forsøg i juli 1820. Man kan bl.a. se, at kompasnåle's afbøjningsvinkel aftager fra 40° til 4° , når afstanden mellem kompasnål og leder stiger fra $3/4''$ til $6''$. (Kilde: Ole Knudsen, Elektromagnetismens historie 1820-1831 og Faradays opdagelse af induktionen, Gyldendal 1980).

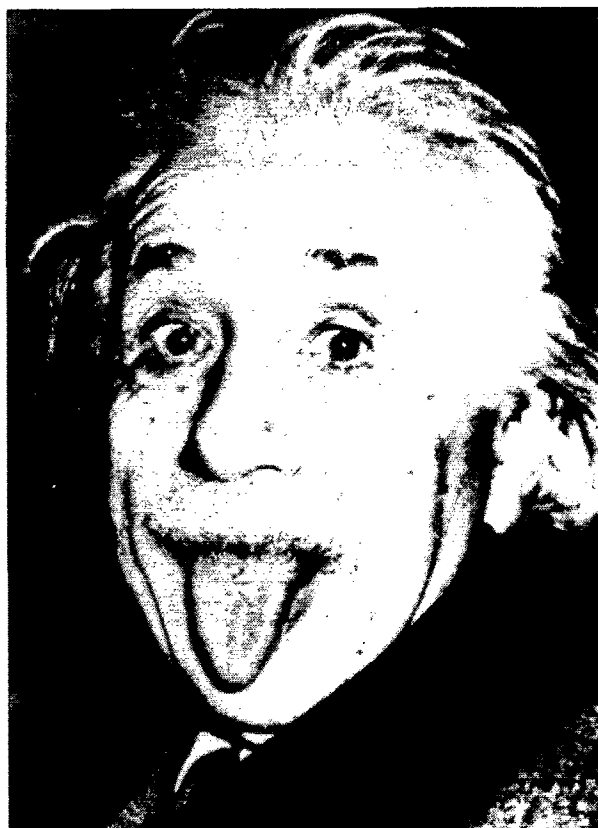
Ill. 10. C.A. Jensens portræt af H.C. Ørsted til venstre og fotografi af Ørsteds noter til højre. Fra Elvekjær & Nielsen, 1997, s. 200-201.

Hvad er nu det for noget pjat, vil nogle måske sige: "Et fotografi af Niels Bohr er jo bare et fotografi af en mand for at beskrive hvordan han så ud. Og når H.C. Ørsted er fremstillet med medaljer på, er det jo ikke fordi han til daglig gik rundt med medaljer på. Det er simpelt hen fordi der ikke er nogen afbildninger af ham i almindelige situationer." At dette måske også er forfatterens holding i tilfældet med Ørsted-portrættet, underbygges af at det ingen steder er angivet hvem der har malet billedet – billedet er der simpelthen bare som beskrivelse af mandens udseende. Det er rigtigt at sådanne portrætter nok først og fremmest er med for deres *denotation*, dvs. det de grundlæggende beskriver, men der vil altid

være en *konnotation* – en medbetydning – hos modtageren.²⁷ Mennesker er ikke mekaniske sanseapparater der uden refleksion registrerer billeddata. Et hvilket som helst billede vil vi forsøge at sammenbygge med andre mentale forestillinger fordi vi simpelthen altid forsøger at skabe mening i det vi ser og oplever. Og en mand med medaljer er nu engang en helt, lige som en mand ved en tavle er en naturlig autoritet. Samtidig er der i eksemplet med Ørsted virkelig tale om et valg fordi der findes rigtig mange portrætter af Ørsted, og så vidt jeg kan se er det kun C.A. Jensen der fremstiller ham med medaljer som en anden krigshelt. Andre som fx W. Marstrand og C.W. Eckersberg viser Ørsted i laboratoriet omgivet af apparatur, og det kunne man jo mene var mere sigende om mandens arbejde.

Portrættet behøver ikke altid at konnotere noget positivt (de fleste vil vel synes at det er positivt at se op til Bohr og Ørsted). Billeder kan også fortælle at fysik er for nørder, dvs. udpræget ensporede mennesker, eller for personer som tilsyneladende er underlige, som i Ill. 11 nedenfor. Der er bestemt ikke noget i vejen med at bringe portrætter i lærebøger eller andre steder vi har med fysik at gøre. Tværtimod må det være en didaktisk pointe at vise fysikken som en menneskelig aktivitet. Vi skal bare være klar over hvad de fortæller os og hvad de betyder for den måde vi opfatter fysik som fag på. Og måske er en personificering af fysikken som geniale og/eller halvgale mænd hverken det mest korrekte eller hensigtsmæssige billede at give.

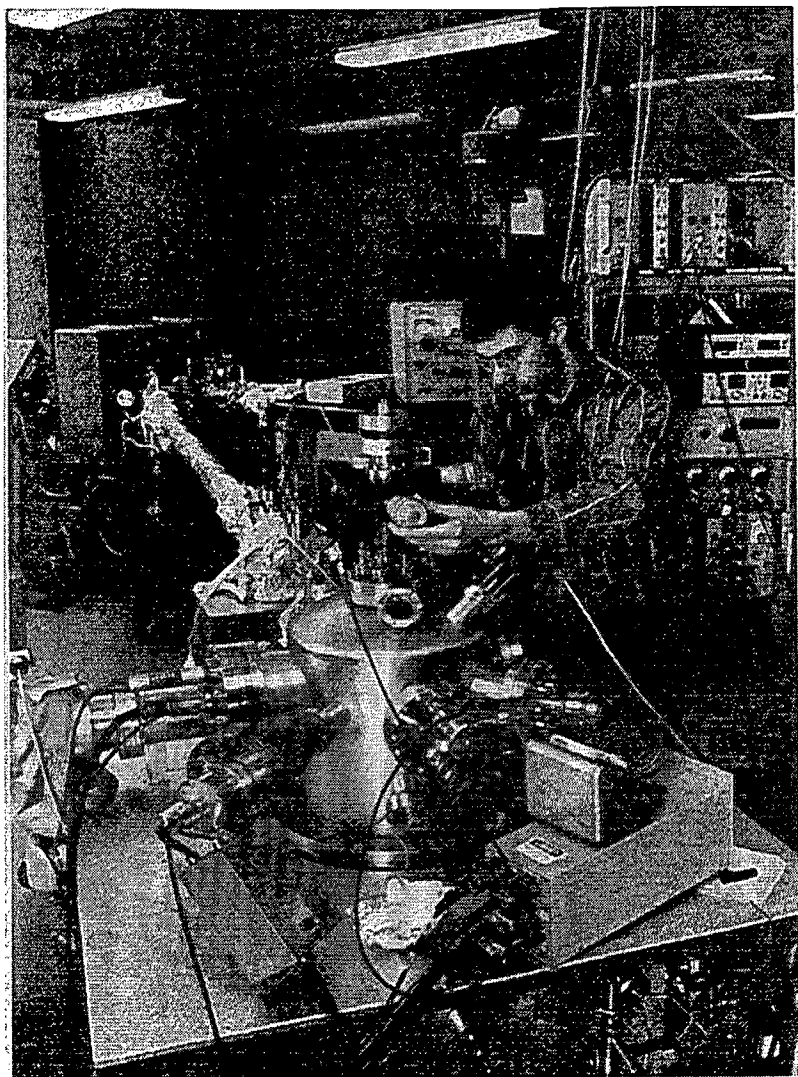
Ill. 11. Er dette den virkelige Einstein?
Fra Rohlf, 1994, s, 133.



Eksperimenter og historie

Bedre er det nok at møde personer i deres arbejde med eksperimentelle opstillinger som i fotografiet i Ill. 12. Her ser vi lige netop hvad fysik handler om, eller i hvert fald hvad eksperimentel fysik handler om, for den teoretiske fysik er måske bedre illustreret ved fotografiet af Bohr ovenfor. I eksperimentel fysik går vi og roder med apparater forbundet med slanger og ledninger, og er typisk så dybt optaget af det at vi sjældent opdager hvis vi bliver iagttaget (måske fordi det er så sjældent at der er nogen udefra der viser mere end blot høflig interesse).

²⁷ Jeg bruger disse begreber som de anvendes i Barthes, 1980.



Figur 6.6 Eksperimentel opstilling fra Det fysiske Institut på Århus Universitet. Opstillingen udnytter bl.a. lette ioner med energier på omkring 2 MeV.

(Kilde: Fysisk Institut, Aarhus Universitet).

Ill. 12. Fotografi af en eksperimentel opstilling som en mand er meget optaget af. Fra Elvekjær & Nielsen, 1997, s. 149.

Det interessante ved billedet i denne forbindelse er at kunne beskrive og fortælle hvad det forestiller. Selvom om de fleste ikke-fysikere kan beskrive hvad der er på billedet og måske genkende flere objekter, kræver det meget viden at kunne udrede hvad billedet rent faktisk forestiller. I den pågældende bog bruges mange linjer på at forklare det:

"Figur 6.6 viser et fotografi af en eksperimentel opstilling på Det fysiske Institut på Århus Universitet. I opstillingen indgår en større accelerator, der accelererer lette ioner som f.eks. α -partikler op til energier omkring 2 MeV. Disse ioner kommer fra en såkaldt van de Graff accelerator, der befinder sig bag væggen bagest til venstre i billedet.

Ionerne ledes først gennem de to boxe bagest i billedet. Boxene indeholder kraftige magneter, der fokuserer og afbøjer ionstrålen, så den kommer gennem det lange rør op til kammeret forrest i billedet. I kammeret er der et meget lille tryk på ca. 10^{-11} torr. I opstillingen er der også

tilsluttet to elektronkanoner til kammeret. Disse kanoner kan skyde elektroner med energier på op til ca. 3 keV ind i kammeret.

Opstillingen anvendes til at undersøge forskellige krystallinsk opbyggede stoffers overflader. Elektronerne fra de to elektronkanoner bruger man til at undersøge krystallernes overfladestruktur og til at fastlægge den kemiske sammensætning af krystaloverfladerne, dvs. til at fastlægge hvilke atomer, der befinder sig i krystalgitterets overflade. De energirige ioner bruger man til at fastlægge positionerne af fremmede atomer på krystaloverfladen.²⁸

Vi begynder allerede her at indse at vi ikke kan forvente umiddelbart at kunne forstå illustrationer i fysikken tilbunds blot ved at kigge længe nok på dem. Vi behøver en mængde forhåndsviden som jeg skrev om i Kapitel 2. I dette tilfælde er det en forholdsvis specifik viden om apparatur og forsøgsopstillinger, som teksten kan levere. Også på denne måde komplementerer eller afløser tekst og billede hinanden.

Normalt er et fotografi afgrænset til at vise øjebliksbilleder, men i særlige tilfælde kan fotografiet bruges til at vise en bevægelse i tid. Det kan fx ske med trickfotografier af faldende genstande optaget med stroboskoplys og en lang eksponeringstid, der på denne måde egentlig bliver til et *data-display* hvor accelereringen af genstanden bliver tydelig. Eller det kan ske som i Ill. 13 hvor en firedobbelteksponering giver indtryk af den op- og nedadgående bevægelse der finder sted. Samtidig kan vi se at viseren på galvanometeret er samme sted, dvs. at netop den varierende bevægelse af magneten i spolen giver anledning til en konstant strøm. Netop denne bog, Keller mfl., 1993, har nogle meget gode eksempler der viser hvordan det med fotografiet er muligt at anskueliggøre fænomener som normalt umuligt kan vises i en bog, fx når det drejer sig om hurtige bevægelser og sammenstød.



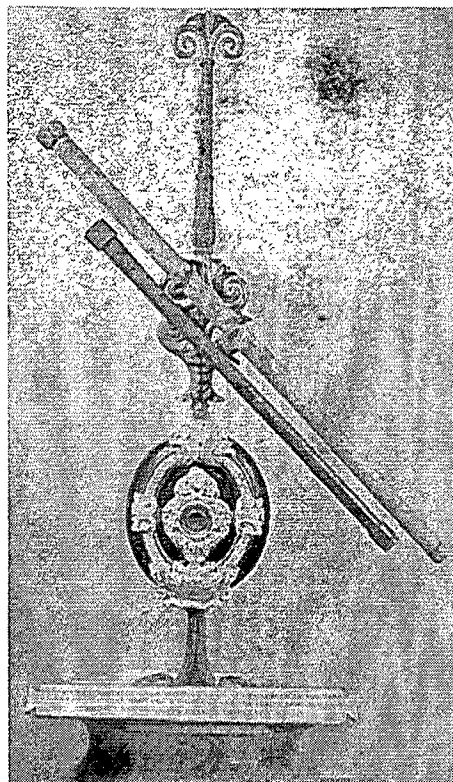
Ill. 13. Demonstration af inducering af strøm i et kredsløb ved at bevæge en magnet op og ned. Fra Keller mfl., 1993, s. 701.

Fotografiet i Ill. 13 er en forsøgsopstilling, og dem er der i nogle lærebøger forholdsvis mange af. De kan selvfølgelig være med til at skabe en forbindelse til det praktiske arbejde med studentersforsøg, men oftest bruges disse billeder egentlig kun til at fortælle hvordan apparaturet ser ud, og det er jo ikke meget værd hvis den pågældende uddannelsesinstitution har helt andre apparater. Billeder af forsøgsopstillinger kan dog også have sin berettigelse ved at vise forsøg eller apparatur der har spillet en historisk rolle i fysikkens udvikling. De kan på den måde være med til at sætte scenen for en *fortælling* om at fysikken – ind i mellem – har haft stor betydning for samfundets udvikling og opfattelse af verden omkring os. Andre gange kan fotografier fortælle om apparatur der også anvendtes førhen, som i Ill. 14 hvor vi ser et teleskop som Galilei brugte til at studere Jor-

²⁸ Elvekjær & Nielsen, 1997, s. 148.

dens og Jupiters måner med. Når et sådant eksemplar sammenstilles med moderne teleskoper, bliver vi klar over den teknologiske udvikling gennem historien som også har så stor betydning for fysikken.

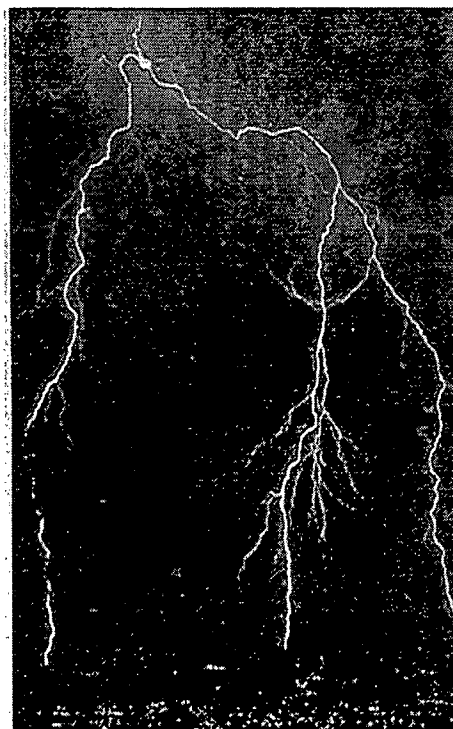
Ill. 14. Teleskop som Galilei brugte til at studere Jordens og Jupiters måner med. Fra Sanny & Moebis, s. 687.



Som at være der selv

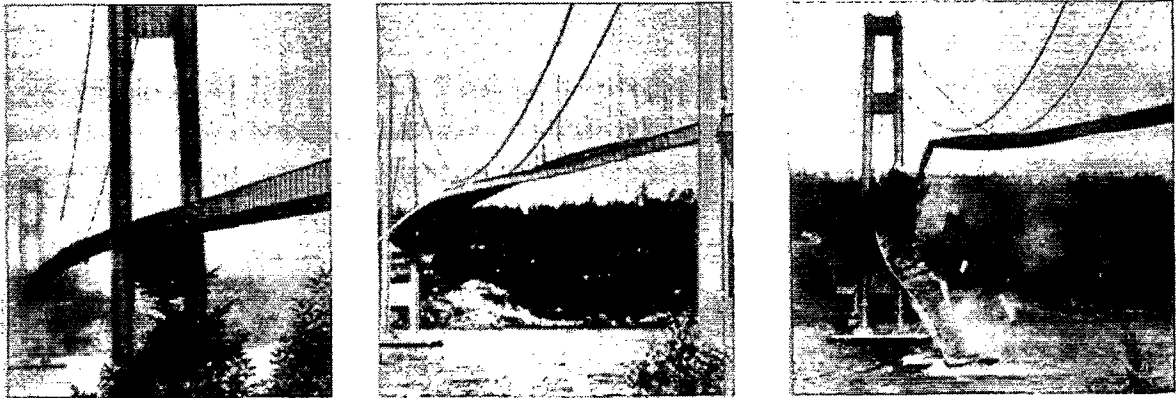
Lige som fotografier kan fortælle om laboratorielivet og forsøgsopstillinger, så kan de også fortælle om naturfænomener. Som jeg indledte kapitlet med at fastslå, kan det både være fænomener vi kender som lynnedslaget i Ill. 15, og fænomener vi normalt ikke ser som fotografierne i Ill. 16 af ødelæggelsen af Tacoma Narrows Bridge. Den blev sat i resonanssvingninger af en kraftig vind på tværs, og svingningerne var så kraftige at broen styrtede sammen. Selvom lynnedslag er noget de fleste af os har set i virkeligheden, har fotografiet dog også den funktion at fastholde hvordan lynet egentlig ser ud, for det har vi jo i virkelighedens verden kun en brøkdelen af et sekund til at iagttage.

Ill. 15. Fotografi af et lynnedslag. Fra Krauskopf & Beiser, 1997, s. 143.



Sådanne fotografier som i Ill. 15 og Ill. 16 kan vi kalde actionfotografier fordi de typisk indeholder et stort element af bevægelse, kraft og spænding. De dukker mere og mere op i nyere og især amerikanske lærebøger, og funktionen er nok først og fremmest at tilføre universitetsfysikken liv og spænding som vi kender det fra andre steder der prøver at tiltrække vores opmærksomhed. Tidligere har sådanne *motivationskabende* illustrationer næsten udelukkende hentet deres motiver i en teknologisk verden med billeder af racerbiler, kraftværker, osv. Det kan have den modsatte effekt fordi teknologi på mange slet ikke er så fascinerende og motiverende som ønsket. Men når Sanny & Moebis, 1996 starter deres kapitel 16 om bølger med et halvside fotografi af en surfer på vej ned af en 4-5 meter høj oceanbølge der knækker over i

brændingen, fortæller det snarere om en ren og skær fascination af naturen og menneskets placering i den. Dette fotografi har sådan set intet direkte at gøre med teorien der gennemgås i kapitlet (det er nemlig ret svært at opstille formler for havbølger i en brænding, så det arbejdes der ikke med på grundlæggende universitetsniveau), og den tjener derfor primært som *dekoration*.



Ill. 16. Tacoma Narrows Bridges endeligt – en begivenhed som er repræsenteret i enhver fysikbog med respekt for sig selv. Her fra Tipler, 1991, s. 424, men tilsvarende billeder findes også i Ohanian, 1989, s. 431 og Sanny & Moebis, 1996, s. 251 og Krauskopf & Beiser, 1997, s. 179.

Actionfotografier kan dog også skabe en tæt forbindelse til den virkelige verden, således at læseren bedre kan forbinde det teoretiske med en praksis. Det gør de ved at sætte scenen så vi selvom vi befinder os langt fra "den virkelige virkelighed", kan fornemme hvordan oplevelsen er. Man kan selvfølgelig diskutere rimeligheden af at fylde billeder i en fysikbog der sådan set ikke direkte har at gøre med den fysik der skal læres, men vi skal nok passe på med at undervurdere betydningen af den gode start på læsningen det kan give at et kapitel som ovenfor starter med et flot sceneri. Funktionen her er ikke blot at motivere, men også ekspressivt at forklare hvad det drejer som om. Det kan dog også overdrives som når Sanny & Moebis i det efterfølgende kapitel 17 om superposition af bølger viser et fotografi af en koncert med et rockband og så i billedteksten skriver: "Music is the superposition of many harmonic waves."²⁹ En sådan reduktion af musik til blot at være et spørgsmål om at regne den ud har i hvert fald på mig en direkte negativ effekt.

Den teoretiske forbindelse

Eksemplet ovenfor er måske et forsøg på at koble et billede af en kendt situation med en fysisk teori. Og selvom forbindelsen for mig at se er uheldig, er forsøget på at skabe en sådan forbindelse interessant. Men langt mere effektiv er det i Ill. 17 hvor der oven på et fotografi af en hængesbro er tegnet en parabel. I teksten forinden er det netop vist at de bærende kabler vil hænge med form som en parabel hvis vi ser bort fra kablernes masse,

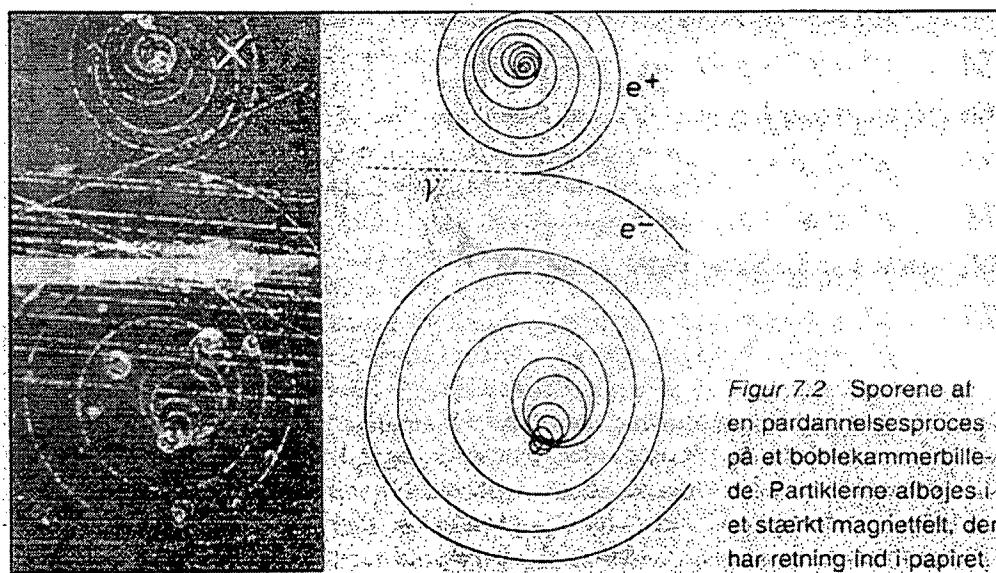
²⁹ Sanny & Moebis, 1996, s. 307.

og antager at vejbanens vægt er fordelt ligeligt hen over broen. Og hvad ser vi så: At en tegnet parabel jo netop passer på kablernes form.



Ill. 17. Fotografi af hængebro påtegnet en parabel. Fra Ohanian, s. 360.

Funktionen er her en gentagelse af informationen i teksten, og hvis vi ikke blev helt overbevist af de matematiske argumenter, så kan vi jo her se at det faktisk også er rigtigt i virkeligheden. Det er jo i grunden mærkeligt at en tegnet kurve kan betyde så meget, for den er jo i sig selv ikke noget bedre argument end fotografiet alene. Men på en eller anden måde formidler den tegnede streg det matematiske begreb "en parabel". Måske er det noget med at det tegnede opfattes mere matematisk, mens fotoet er virkeligheden? Den samme distinktion kan vi finde mellem boblekammerfotografier og tegninger af den proces som teoretisk forklares, jf. Ill. 18.



Ill. 18. Et fotografi fra et boblekammer til venstre er blevet transformeret til tegningen til højre. Fra Elvekjær & Nielsen, 1997, s. 103.

Ifølge fysikeren James Robert Brown er illustrationer som Ill. 18 et godt eksempel på hvordan fysikken skaber fænomener ud fra data.³⁰ I højenergifysikken findes data ofte i form af fotografier. Men ved i tegningen at udelade visse data og tydeliggøre andre konstrueres et fænomen – i dette tilfælde pardannelsesprocessen hvorved en positron og en elektron opstår ud fra en foton. Fotografiet har for mange data til at fænomenet træder tydeligt frem. I et sådan tilfælde kan vi sige at vi konstruerer fænomenet ud af data. Hvor fotografiet *beskriver* de data vi har, så er tegningen til højre i Ill. 18 *konstruktiv* forstået på den måde at den udvælger de data der indgår i fænomenet og definerer dem i forhold til hinanden. På den måde forklarer tegningen bedre end fotografiet hvad vi forstår ved pardannelsesprocessen. Tegningen overskrider fotografiets umiddelbare funktion: at afbilde nogle spor observeret i et boblekammer, og leverer en viden om et fænomen på et højere niveau.

Her kan man spørge om det er det samme der sker i den indledende illustration i Kapitel 2 på side 13: Har afbildningen af Bohr-atomet udgangspunkt i et fotografi? Det må vi nok svare nej til, selvom vi sådan set har noget vi kan kalde "fotografiske" fremstillinger af et atom, jf. Ill. 19. Dette er måske det nærmeste vi kommer på "fotografier" af atomer. Men der findes ikke fotografier der svarer til illustrationen af Bohr-atomet på samme måde som tegningen i Ill. 18 tager udgangspunkt i fotografiet. Dette gælder dog for de fleste tegninger i fysikken – de har ikke noget fotografisk forlæg – men hvad er så det konstituerende princip for disse tegninger? Det skal vi undersøge i næste kapitel.

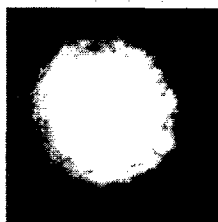


Fig 22.2 Neon atom as seen with an electron-holography microscope. The atom looks like a spherical cloud. The density, or brightness, at any point of this cloud is roughly proportional to the probability for finding an electron at this point. The magnification is $2 \times 10^8 \times$. (Courtesy L. S. Bartell, University of Michigan.)

Ill. 19. Et eksempel på en "fotografisk" illustration af et neonatom. Fra Ohanian, 1989, s. 571.

³⁰ Brown, 1996, s. 255.

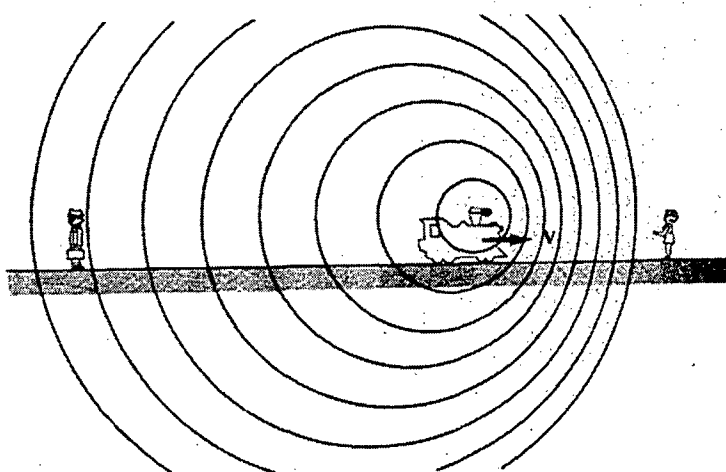
Kapitel 4

Den transcendentte figur

Kan vi analysere en figur på samme måde som fotografierne i forrige kapitel? En figur er jo som regel fremstillet direkte med et formål i forhold til den kontekst vi møder den i, i modsætning til et fotografi der jo ofte kan være blevet til i en helt anden forbindelse end den hvori vi møder det i en fysikbog. Som overskriften antyder, mener jeg figurer kan gå ud over grænserne for vores perceptioner og direkte erfaringer med virkeligheden. Men lad os i første omgang se hvad vi kan få ud af en analyse af et ganske almindeligt fysisk fænomen ved at benytte de tre analyseniveauer: Beskrivelse, udredning og tolkning.

Ill. 20. Doppler-effekten som den er illustreret i Ohanian, 1989, s. 448.

Hvis vi starter fra en ende af, kan vi straks se at Ill. 20 består af en mand, en kvinde og et lokomotiv placeret på en tyk vandret streg. Desuden er der otte excentriske cirkler, hvoraf de tre yderste ikke er tegnet hele vejen rundt, men er blevet beskåret foroven og forneden. Det er beskrivelsen på det præikonografiske ni-



veau hvor vi blot registrerer hvad vi umiddelbart kan se på billedet. Eller er det nu så enkelt, for hvad er det der gør at vi kan se en form der faktisk blot består af et omrids, som et lokomotiv? Man kan måske nok forvente at selv den mest utrænede billedlæser vil kunne identificere mandefiguren som mand, men mon ikke det at genkende silhuetten af lokomotivet som et lokomotiv kræver forudsætninger der i det mindste indebærer at man har kendskab til tog og jernbaner. Det er en slags forhåndsviden som man ikke kan tage for givet på samme måde som kendskabet til menneskekroppe. Og det er ikke engang nok, for hvad er det for et slags lokomotiv – det er i hvert fald ikke et IC3-tog eller et S-tog, så der må være noget andet end at det "bare ligner et lokomotiv" (i dette tilfælde er det måske snarere færdselstavler eller legetøj vi skal kende til). Identifikationen af lokomotivet hører derfor nok snarere hjemme under det ikonografiske niveau hvor vi bruger vores forhåndsviden til at udrede at der er tale om et lokomotiv. Vi kan også nå frem til at lokomotivet bevæger sig mod højre fordi vi er vant til at en pil betyder bevægelse i pilens retning. Endelig forstår vi helt traditionelt en tyk vandret streg som grundlinjen i billedet, dvs. at vi ser billedet som et lodret snit med strengen som jordoverfladen som manden, lokomotivet og kvinden står oven på.

Hvad kan vi få ud af at der på et fladt stykke jordoverflade står en mand og kigger på et lokomotiv der bevæger sig mod højre over mod en kvinde der også kigger mod lokomotivet? Er det noget med at mænd ser passivt til mens kvinder bliver tromlet ned, altså en kommentar om industrisamfundets kønsdiskriminering? Naturligvis ikke, for det er jo en figur i en fysikbog, og det er i en sådan sammenhæng at vi møder figuren. Vi ved også hvad den skal fortælle os, for det står i billedteksten og i øvrigt i lærebogsteksten oven for illustrationen. Det er i den kontekst figuren skal opfattes, og det kan derfor ikke betale sig ud fra blot en beskrivelse af illustrationen at tolke sig til meningen med figuren. Den kan vi meget bedre fastlægge ud fra konteksten.

Fig. 17.13 Train emitting sound waves while in motion. The wavelength ahead of the train is shorter, and that behind the train is longer than when the train is stationary.

Ill. 21. Billedteksten til figuren i Ill. 20. Fra Ohanian, 1989, s.448.

I billedteksten ovenfor fortælles det at et tog udsender lydbølger når det bevæger sig, og at deres bølgelængde er mindre foran toget end bagved. Så er det jo straks nemmere at tolke elementerne i figuren, fx at de excentriske cirkler er bølger, og at afstanden i mellem dem er bølgelængden. Nu kan vi også fastlægge hvad der *ikke* har betydning, fx:

- At mand, tog og kvinde ligger i samme plan, og at manden derfor burde være blevet kørt over, og at toget vil køre kvinden over,
- at toget ikke kører på skinner,
- at personer og tog er lige store,
- at lydbølgerne bevæger sig uændret ned gennem jorden uden refleksion,
- at de yderste cirkler er beskåret.

Der er altså mange detaljer ved figuren som først giver mening (eller netop ikke gør det) når vi kender figurens funktion. Derfor bør en analyse af en figurillustration starte med at forsøge at fastlægge funktionen og meningen ud fra sammenhængen. Først dernæst kan man beskæftige sig fornuftigt med hvad figuren forestiller, dvs. hvilke elementer der indgår i figuren og deres forbindelse med hinanden. En analyse af en figur kunne derfor tage udgangspunkt i at svare på følgende spørgsmål:

1. Hvilken funktion har figuren i forhold til konteksten?
2. Hvad forestiller figuren?
3. Hvordan skabes forbindelsen mellem de enkelte billedelementer og det de illustrerer?
4. Er figuren formålstjenstlig? Dvs. opfylder billedet sin funktion – og hvad kunne evt. være bedre/anderledes?

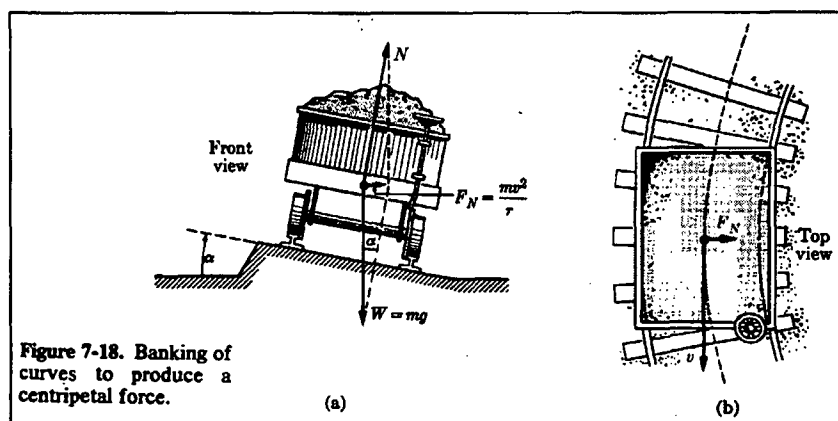
Når det første spørgsmål går på at fastlægge figurens funktion, indebærer dette kun at vi ud fra konteksten, dvs. billedtekst, brødtekst, formler og overskrifter, giver et kvalificeret gæt på hvad afsenderen mon har tænkt sig med figuren. Først i det sidste spørgsmål – når vi har opnået en grundig forståelse af figurens opbygning – kan vi diskutere om afsenderens hensigt støttes af den pågældende figur.

Hvis vi fortsætter med illustrationseksemplet ovenfor, skal det altså vise at en bevæget lydkilde medfører at en observatør foran lydkilden hører en højere lyd (dvs. højere frekvens) end en observatør bagved lydkilden. Dette fænomen, der kaldes Doppler-effekten, beskrives i et selvstændigt underkapitel i den pågældende fysikbog. Figuren har altså den funktion at anskueliggøre og give en forklaring på et fænomen som vi kender fra dagligdagen (måske ofte i form af ambulancer der kører forbi) og vise – som billedteksten fortæller – at bølgelængden er kortere foran den bevægede lyd giver end bagved. Figuren *beskriver* ikke blot situationen, den *fortolker* også det abstrakte begreb om lydbølger ved at synliggøre noget som ikke er synligt. Abstrakt skal her ses i forhold til det konkrete som direkte kan sanses. Vi kan måske nok høre eller ligefrem mærke lyd – fx foran en bas-højtaler – men vi kan ikke sans det med synssansen som bølger.

På det ikonologiske niveau interesserer vi os for hvad illustrationen fortæller os *om* fysik. Som jeg diskuterede i Kapitel 3, er det at illustrationer er med til at konstituere faget fysik i forhold til idealer, gode eksempler og værdier, ikke et aspekt vi særlig tit lægger mærke til. Men det har betydning for den måde vi forstår fysik på, og spørgsmålet er så hvad Ill. 20 fortæller os om fysik. Hvis man skal sammenligne illustrationstilen med noget andet, er det nærliggende at tænke på vittighedstegninger. De to mennesker har en pudsig fremtoning, og hvis lokomotivets udseende minder os om noget, må det være et legetøjstog. Det kan på den ene side antyde at fysik er lettilgængeligt, og at "her kan alle være med", men på den anden side kan sådanne fremstillinger også give fysikkens problemstillinger og fænomener en lidt virkelighedsfjern karakter. Denne diskussion vil jeg fortsætte i afsnittet Fysisk ikonografi på side 46.

Lag på lag

Netop figurer viser hvor stærkt et redskab illustrationer er i fysikken fordi vi her kan udnytte det visuelle medium optimalt ved at kombinere flere abstraktionsniveauer til en helhed. Lad os starte med en simpel tegning med en godsvogn som vist i Ill. 22.



Ill. 22. Godsvogn i kurve. Fra Alonso & Finn, 1980, vol. I, s. 165.

I overensstemmelse med fremgangsmåden ovenfor kan vi starte med at fastlægge denne figurs funktion. Illustrationen er et eksempel på hvordan hældningen af jernbanespor kan bruges til at producere en centripetal (indadrettet) kraft således af vognen følger den ønskede bane. Det kan man se ud fra den forudgående tekst som netop handler om cirkulær bevægelse og opstiller formlerne herfor, men især ud fra billedteksten og Example 7.11, som også står på den pågældende side (se Ill. 23). Den formelle fysik er gennemgået inden dette eksempel, og sammen med illustrationen ovenfor skal dette vise brugen i praksis – her ved at man i eksemplet udregner hældningens nødvendige størrelse som funktion af den fremadrettede hastighed. Ud over at beskrive situationen ved at definere og navngive bestemte størrelser og begreber fortolker figuren igen teorien ved at vise hvad den kan bruges til.

Example 7.11. Railroad tracks and highways are banked at curves to produce the centripetal force required by a vehicle moving along a curve. The angle of banking is related to the velocity of the vehicle along the curve. Find the relation.

▼ Figure 7-18 illustrates banking although the angle has been exaggerated. The forces acting on the car are its weight $W = mg$ and the normal force N due to the tracks. Their resultant F_N must be enough to produce the centripetal force given by Eq. (7.28). Thus $F_N = mv^2/r$ where r is the radius of the curve. Then from the figure we have

$$\tan \alpha = \frac{F_N}{W} = \frac{v^2}{rg}$$

The result is thus independent of the mass of the body. Since α is fixed once the tracks have been laid, this formula gives the correct speed to traverse the curve so that there will be no sidewise forces acting on the vehicle. For smaller or somewhat larger speeds there is no great problem with the curve because the tracks provide the balancing force necessary. However, for much larger speeds the car will tend to jump off the curve. ▲

Ill. 23. Example 7.11. Fra Alonso & Finn, 1980, vol. I, s. 165.

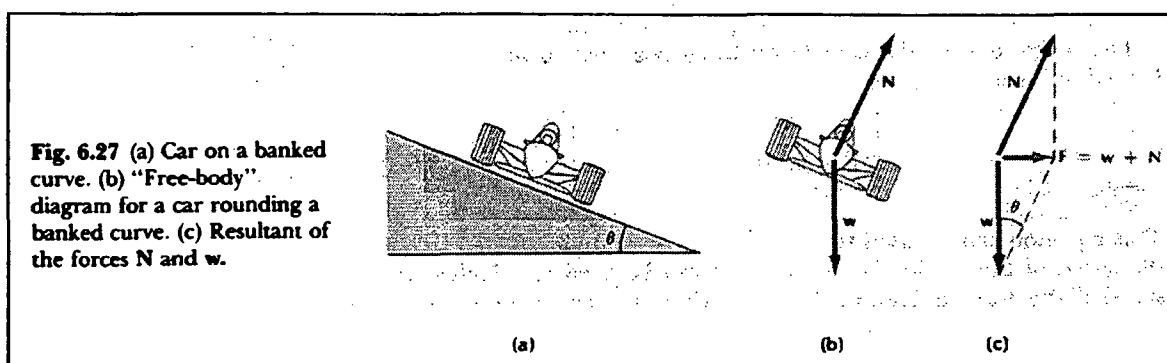
Da nu funktionen af figuren er fastlagt, kan vi undersøge hvad det egentlig er billedet forestiller. På figuren ser vi en godsvogn henholdsvis forfra og oppefra, og dette forankres med teksterne "Front view" og "Top view". Vognen er skitseret realistisk med hjul, under-vogn, bremsehjul, fyld i ladet, osv.³¹ Jernbanesporret er også skitseret realistisk, så man bliver nemt overbevist om hvor vi befinder os. Oven på godsvognstegningen er tegnet relevante vektorer som er navngivet med formler og symboler svarende til teksten i Ill. 23.

Illustrationen skal læses logisk fra venstre, således at man først ser hvad vektoren F_N skyldes, hvorefter man i figur (b) ser denne vektors betydning for den fremadrettede hastighed. Men hvad er forholdet mellem de elementer der indgår i figuren, og det virkelige fænomen? Forbindelsen mellem godsvogn og virkelighed skabes ved lighed, altså er denne del af illustrationen realistisk. Her oven på lægges en geometrisk fremstilling af kræfter, vinkler og hastigheder som er magen til bogens foregående illustrationer af kræfter i koor-

³¹ Jeg bruger med vilje vendingen "skitseret realistisk" for at understrege at jeg hverken bruger begrebet realisme i kunsthistorisk eller filosofisk forstand, men som udtryk for det virkelighedsnære og virkeligheds-tro.

dinatsystemer. Figuren består altså af to abstraktionsniveauer; det ene realistisk og det andet symbolsk i form af en geometrisk udgave af kraftvektorer. Ved at tegne de to niveauer oven på hinanden forbinder afsenderen det abstrakte kraftbegreb med den realistiske fremstilling af virkelige genstande.

Vi er her ved at komme ind på noget af det mest kraftfulde ved illustrationen, nemlig det at sammensætte forskellige abstraktionsniveauer til ét, men samtidig er det også noget af det "færlige" ved illustrationerne. For når niveauerne sættes sammen er der ikke langt til at blande dem sammen. Hvem husker fx på at vektoren F_N egentlig ikke er en kraft? De eneste to kræfter der virker på vognen, er normalkraften N og tyngdekraften W , og vektoren F_N "eksisterer" kun som *den resulterende kraft* der er summen af N og W . Dette er måske mere klart i Ill. 24 fra en lignende lærebog, hvor fænomenet illustreres med en bil i stedet for en godsvogn.



Ill. 24. Bil i kurve. Fra Ohanian, 1989, s. 148.

Her er de forskellige niveauer delt op i tre tegninger: (a) sætter scenen, (b) fortæller hvilke fysiske kræfter der er på spil, og (c) udregner centripetalkraften F . Der er altså tre abstraktionsniveauer: Et *realistisk*, et *symbolsk* og et *geometrisk* hvor en vektor beregnes som summen af to andre. Til gengæld får vi ikke situationen at se ovenfra, hvilket måske fjerner den umiddelbare fornemmelse af cirkelbevægelse, så hvad der er bedst, er måske et pædagogisk spørgsmål om hvilket trin læseren befinder sig på (en fysiker vil næppe have problemer med at forstå hverken Ill. 22 eller Ill. 24). Min pointe her er blot at der netop ofte er forskellige abstraktionsniveauer i illustrationerne som man må være opmærksom på for at forstå fysikken rigtigt. Eksempelvis er det uheldigt at tegne kraftvektoren F_N og hastighedsvektoren v i Ill. 22 (b) som gjort, fordi det antyder at man umiddelbart kan lægge disse to sammen for at få den resulterende bevægelse (den stiplede linje), hvilket jo netop ikke er tilfældet da det er to forskellige fysiske størrelser. De to befinder sig på forskellige symbolske niveauer og burde derfor nok holdes tydeligere adskilt.

Man kunne også mene at der både i Ill. 22 og Ill. 24 mangler et abstraktionsniveau, nemlig den symbolske fremstilling af hvordan normalkræfterne på hjulene tilsammen summer til én vektor i tyngdepunktet hvor også tyngdekraftens angrebepunkt er placeret, men det burde på dette uddannelsesstrin være trivielt. En anmærkning om at kræfterne rent faktisk er placeret i tyngdepunktet, ville dog ikke være nogen dårlig idé.

De mindste dele

Hvordan kan man se hvilke dele af illustrationen der hører til hvilket abstraktionsniveau? Som sagt er det sjældent et problem for en fysiker, men hvis vi skal blive klogere på hvordan fysik formidles med illustrationer, bliver vi nødt til definere hvad vi må forstå som illustrationens enkeltdele. Vi kommer her ind på en klassisk diskussion om hvad et billede består af, og hvor meget man kan dele billedet op i enkeltelementer der stadig har betydning.

Et billede kan ikke opløses i enkeltdele på samme måde som en tekst kan. En tekst består af sætninger der består af ord som består af bogstaver, og dem er der et endeligt antal af. Et billede derimod kan man blive ved med at inddele i mindre og mindre dele til man til sidst blot har prikker eller streger, men på et tidspunkt giver det ikke mening længere fordi disse prikker og streger hver for sig ikke har betydning som fx bogstaverne i ord har betydning. Hvis jeg skriver "ar" i stedet for "har", ændrer det ordets betydning, men hvis jeg fjerner en streg i godsvognen i Ill. 22 ovenfor, vil det stadig være en godsvogn. Ja, jeg kan fjerne hele bremsehjulet, og det vil stadig være en godsvogn. Vi har altså problemer med at definere hvad der adskiller betydning i et billede.

Med begreber hentet fra sprogvidenskaben kan vi tale om to artikulationer: Den primære som er en opdeling i tegn, dvs. mindste enheder med betydning, og den sekundære som er en opdeling i mindste betydningsadskillende enheder. Skriftsproget har begge artikulationer, hvor den primære er ordene, og den sekundære er bogstaverne. Billedsproget derimod mangler den sekundære artikulation, men har en primær artikulation, selvom vi ikke kan definere den så entydigt som i verbalsproget. At en illustration består af forskellige dele, er selvfølgelig indlysende, og vi har derfor brug for en betegnelse som gør at vi kan tale om dem hver især. Jeg vil bruge betegnelsen *element* om den mindste betydningsbærende enhed i en illustration. I eksemplet med godsvognen er hvert hjul således elementer og ligeledes er bremsehjulet og indholdet af ladet. Disse elementer og flere til danner til sammen et selvstændigt *objekt*, som jeg betegner godsvogn. I Ill. 22 vil jeg derfor tale om 5 objekter: En godsvogn, en jordoverflade og tre vektorer. Jeg skelner desuden skarpt mellem begrebet objekt og begrebet genstand for at undgå forvirring omkring hvad der er virkelige godsvogne, og hvad der er billeder af godsvogne. Således vil ordet genstand altid henvise til virkeligheden, mens ordet objekt altid vil henvise til billeder eller forestillinger om genstande.³² En virkelig godsvogn er altså en genstand mens godsvognen i Ill. 22 er en repræsentation af en genstand og derfor et objekt.

Begrebet objekt skal forstås pragmatisk, dvs. i forhold til hvad illustrationen handler om, og hvad det er relevant at tale om. Hvis Ill. 22 handlede om gnidning mellem hjul og skinne ville fx både hjul og skinne skulle forstås som to objekter. At vi faktisk perciperer de grafiske udtryk som objekter og ikke blot som linjer og farveflader behøver vi ikke være i

³² Hermed anvendes begrebet objekt som i skolastikken og begrebet genstand som det tyske Gegenstand, dvs. stillet overfor eller ståen imod.

tvivl om, men hvordan vi gør det, er måske stadig svært at forklare.³³ Jeg vil ikke gå ind i denne diskussion, men holde mig til at vi sjældent kan vedblive at være uenige om hvordan streger og flader hører sammen i en fagillustration, på samme måde som vi som regel vil percipere det samme i de specielle dobbelttydige tegninger som jeg omtalte i Kapitel 2 på side 17, hvis en billedtekst fortæller at her er der tale om en vase, en kanin eller en mand.

Men hvilken slags objekter møder vi så i figurerne? Før så vi at der var forskellige abstraktionsniveauer, typisk et symbolsk og et realistisk. De objekter der hører til hvert af disse niveauer, vil jeg henholdsvis kalde *symbolobjekter* og *realobjekter*. Godsvognen er således et realobjekt, mens kraftvektoren er et symbolobjekt fordi vores forståelse af den bygger på en konvention om at sådan fremstiller man en vektor. Disse to typer dækker langt de fleste objekter i fysikkens figurer, men der er en anden type. Se fx på Ill. 25.

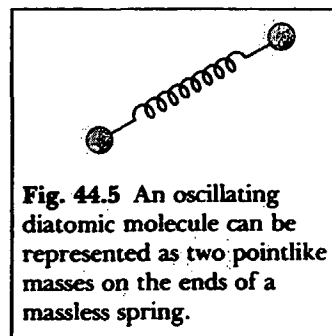
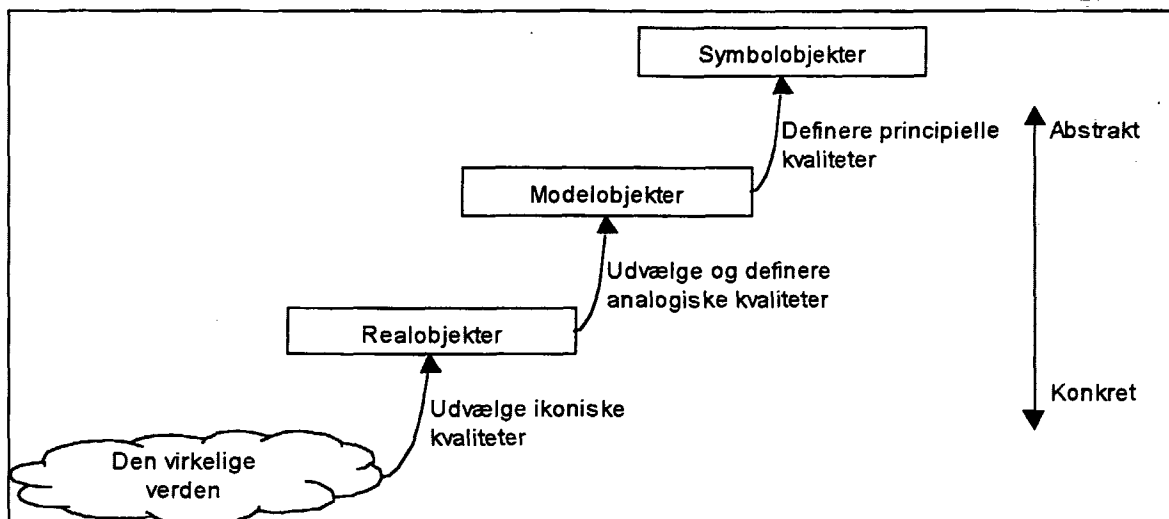


Fig. 44.5 An oscillating diatomic molecule can be represented as two pointlike masses on the ends of a massless spring.

Ill. 25. Diatomisk molekyle – eller er det? Fra Ohanian, 1989, s. 1082.

Hvad er nu det? To kugler bundet sammen af en fjeder, og så står der i billedteksten at det er et diatomisk molekyle. En tegning af en kugle er vel et realobjekt og det samme gælder en fjeder, men det er jo ikke det som er pointen i denne figur. Pointen er jo netop at det *ikke* er to kugler og en fjeder, men et molekyle som har egenskaber der *ligner* de egenskaber et system af to kugler og en fjeder besidder. Et diatomisk molekyle *kunne* på en måde være lavet af to kugler og en fjeder, men det er det ikke – figuren vil blot vise en model af hvordan vi forestiller os det. Fordi det netop er den modellerende brug af kuglerne og fjederen der bestemmer deres indhold i figuren, vil jeg kalde den type objekter for *modelobjekter*. Skematisk kan vi se de tre typer af objekter i Ill. 26.

³³ Se fx Spelke mfl., 1995, hvor denne proces kaldes "parsing" i modsætning til genkendelse (recognition) af kendte objekter.



Ill. 26. De tre typer objekter vi møder i figurer, og deres forhold til hinanden og virkeligheden.

Ill. 26 skitserer min opfattelse af den *indholdsmæssige* – og altså ikke den *udtryksmæssige* – brug af objekter i figurer og skal forstås således at vi altid må have den virkelige verden og de genstande vi kender derfra, som grundlag for fremstillingen af en figur og de objekter der indgår i den. Man kan mene at det nogle gange snarere er ældre billeder der er udgangspunktet for nye billeder end den virkelige verden – sådan er det jo fx ofte i kunstens verden – men jeg ser ingen grund til at betvivle det fornuftige i at indholdet i fysikfigurer i sidste ende kan føres tilbage til virkelige genstande.

Realobjekter er således de mindst abstrakte og mest virkelighedsnære objekter der i princippet vil være genkendelige uden en egentlig kontekst, fx en mand, en flaske, et fly, osv., men også mere fysikfaglige genstande så som en fjeder, et lod, en kugle, osv. Disse elementer har alle visse *kvaliteter*, dvs. bestemte karakteristika som definerer alt hvad der – for fysikeren – er at sige om objektet. Når jeg bruger ordet *kvalitet* i stedet for *egenskab* er det for at understrege at der sagtens kan være – og som regel er – egenskaber ved en genstand som vi udelader i den fysikfaglige beskrivelse af genstanden, fx farve. På den måde er *realobjekter* egentlig ikke billedmæssige kopier af virkelige genstande, men snarere identiske med vore forestilling om nogle *idealobjekter*. Et eksempel er en afbildning af en trisse hvor der normalt henvises til forestillingen om en gnidningsfri trisse som jo er et *idealobjekt* eftersom alle virkelige trisser har en vis gnidning.

Et andet godt eksempel på et *realobjekt* er en fjeder der som regel kan karakteriseres ved tre *kvaliteter*: en fjederkonstant, en hvilelængde og en fastgøring. *Kvaliteterne* afgør også hvordan objektet interagerer med andre objekter. Mange objekters *kvaliteter* varierer i forhold til konteksten, fx kan almindelige objekter såsom en person nogle gange være karakteriseret kun ved sin højde, andre gange ved sin vægt eller en evne til at udføre bestemte handlinger. Men samlet set vil et objekt i en figur altid være karakteriseret ved et fåtal af *kvaliteter*, og for et *realobjekt* vil disse *kvaliteter* som regel fremgå af den måde

det ser ud på. Vi kan derfor sige at man skaber realobjekter ved at udvælge ikoniske kvaliteter af virkelige genstande. En tegnet godsvogn ses som en godsvogn fordi den indeholder træk der enten ligner en virkelig godsvogn eller som vi opfatter som karakteristiske for en godsvogn.

Lidt mere abstrakt bliver det når vi ser på *modelobjekter*. De er elementer i figuren der på samme måde som realobjekter er karakteriseret ved nogle kvaliteter, men her er det snarere disse kvaliteter der styrer brugen af objektet. Som vi så, kan man illustrere at en binding mellem to atomer er elastisk ved at tegne en fjeder mellem to kugler. Her er det fjederens velkendte kvaliteter der giver os forståelsen. Det er altså ikke fjederens udseende der afgør om den er et model- eller realobjekt, men måden den bruges på – vi kan også sige at hvis fjederen skal tages "bogstaveligt", er den et realobjekt, mens den er et modelobjekt hvis den skal forstås i overført betydning.

Ligesom der ikke er nogen grænse for hvilke virkelige genstande som kan indgå som realobjekter i en figur, er der i princippet heller ikke nogen grænse for hvilke realobjekter der kan bruges som modelobjekter. Det kræver blot at realobjektet har nogle velkendte kvaliteter som kan anvendes analogisk. Fx er det i nogle sammenhænge uhensigtsmæssigt at illustrere en elektron med en kugle fordi en kugle altid er karakteriseret ved en bestemt udstrækning – diameteren – og denne egenskab er problematisk at definere entydigt for elektronen.

Den mest generaliserede og abstrakte type kalder jeg som sagt for *symbolobjekter*. Ligesom de to foregående kategorier, har symbolobjekter hver især tilknyttet bestemte kvaliteter, men her kan vi kalde dem principielle kvaliteter fordi de fuldstændigt og konstant definerer objekternes betydning. Et godt eksempel er en vektor der basalt set er en pil med de tre kvaliteter angrebspunkt, længde og retning. En vektor kan bruges til mange ting fordi længden kan symbolisere mange forskellige størrelser, fx hastighed, kraft og acceleration. Vektoren – eller pilen – er også et eksempel på et objekt der med nogenlunde samme udtryksside kan have meget forskellig indholdside. En pil er et realobjekt hvis den forestiller den genstand man skyder med i en bue, mens den er et modelobjekt hvis den fx blot anskueliggør at noget ellers usynligt bevæger sig. Som modelobjekt har pilens retning betydning, men først som symbolobjekt har også længden en helt bestemt betydning.

Et andet eksempel på et symbolobjekt er bølger. Bølger bliver i fysikken typisk fremstillet på to måder: "fra siden" som vi ofte ser en sinusbølge, eller "fra oven" som ringe der breder sig i vandet med konstant afstand mellem ringene. Begge udgaver er bestemt af de tre kvaliteter: bølgelængde, amplitude og udbredelsesretning. Bølgelængden og udbredelsesretningen er afgørende i begge fremstillingsmåder, mens amplituden kun er anskueliggjort når bølgen ses "fra siden" – men derfor indgår alle tre altid i principperne for hvad en fysiker forstår ved en bølge.

Det er vigtigt at denne inddeling i tre typer objekter *ikke* er en inddeling i tre typer figurer. Den samme figur kan meget nemt være – og er det ofte – opbygget af flere typer objekter, som fx Ill. 20 om Doppler-effekten hvor bølgetoppene er symbolobjekter mens resten er

realobjekter. Før vi kan se nærmere på kombinationer af de tre objekttyper, må vi dog først undersøge hvordan vi danner de tre typer hver især. Som Ill. 26 ovenfor viser, er der forskel i abstraktionsniveau mellem objekterne, og vi skal derfor starte med det mest konkrete, nemlig dannelsen af realobjekter.

Fysisk ikonografi

Hvordan fremstiller man en genstand så den genkendes eller opfattes som det den forestiller? Almindeligvis betragter vi genkendelighed som tæt forbundet med det at et billede af en genstand er i stor overensstemmelse med vores perception af samme genstand, og allerede tilbage i det første århundrede efter Kristi fødsel beskrev Plinius den ældre hvordan det var en stor triumf for en naturalistisk maler at narre fx fugle til at tro at et maleris druer var virkelige druer.³⁴ Men som Gombrich skriver er det en illusion fordi vi forveksler den intellektuelle handling der består i at overføre hvert eneste aspekt ved maleriets druer til virkelige druer, med den handling der består i at genkende "noget" som druer.³⁵ At fugle nærmer sig maleriet, er muligvis fordi de ser noget som druer, men det fortæller os ikke hvad der er afgørende for genkendelse. Gombrich nævner flere modeksempler:

"Det blotte omrids af en ko synes at være tilstrækkelig som fælde for en tsetseflue, for på en eller anden måde aktiverer det tiltrækningsmekanismen og "narrer" fluen. Det kan udtrykkes på den måde, at for fluen har den primitive fælde "signifikant" form – dvs. biologisk signifikans. Det viser sig, at denne slags visuelle stimuli spiller en stor rolle i dyreverdenen. [...] For eksempel åbner fugleunger næbbet, når de ser den fodrende forælder nærme sig reden, men de gør det også, når man viser dem to mørke runde skiver i forskellig størrelse, en silhuet af fuglens hoved og krop "repræsenteret" i den mest "generaliserede" form. Visse fiskeunger kan endog narres bare med to horisontale prikker [dvs. vandret placerede], som de tager for øjnene på moderfisken, i hvis mund de plejer at søge ly for farer."³⁶

Når vi i Ill. 20 uden tøven genkender et lokomotiv, er det på samme måde ikke fordi det *ligner* et virkeligt lokomotiv, men fordi vi har et *billedskema* for et lokomotiv eller et tog, og det benytter vi uden at tænke over det i vores afkodning af illustrationen.³⁷ Skemaet er den idé eller tanke vi har om hvordan en bestemt genstand ser ud, og som er afgørende for den måde vi oplever genstanden på. Begrebet om billedskema kan vi bruge om tre situationer: For det første i forhold til vores perception af virkelige genstande, som når vi fx ser et tog på stationen. Her ser vi toget som et tog i forhold til det togschema vi har fået gennem tidligere perceptioner af tog (og billeder af tog). For det andet bruger vi togschemaet når vi ønsker at afbilde et tog, hvilket betyder at vi forsøger at gengive de træk ved et tog som vi finder mest beskrivende i forhold til at modtager skal kunne se det som et tog. Og for det tredje når vi aflæser et billede, hvor vi helt automatisk genkender objekter i forhold til de billedskemaer de umiddelbart trækker på.

³⁴ Gaius Plinius Secundus: Malerkunsten og Terrakottakunsten. 35. bog af Naturalis Historia. Oversat af Jacob Isager. Odense Universitet, 1978.

³⁵ Gombrich, 1979[51], s.17.

³⁶ Gombrich, op.cit.

³⁷ Skemabegrebet stammer fra E.H. Gombrich og er især udfoldet i kapitlet "Truth and the Stereotype" i Gombrich, 1960.

Et billedskema kan være tæt forbundet med den måde vi faktisk perciperer genstande på i virkeligheden, fx gennem proportioner, farve og tekstur, men det kan også være stiliseret eller karikeret i en form så der rent faktisk ikke er meget ikonisk lighed tilbage mellem den virkelige genstand og dets afbildning. Hvad angår lokomotivet i Ill. 20 kan man sige at der er tale om et karikeret lokomotiv snarere end en gengivelse af et virkeligt lokomotiv. På denne måde minder situationen om den i Kapitel 2, side 19 omtalte færdselstavle "Ubevogtet jernbaneoverkørsel" – både i udseende og funktion. Begge skal ses som tegn for noget, men hvor lokomotivet i færdselstavlen henviser til en overkørsel, henviser det i Ill. 20 til en lyd giver i bevægelse. Det hensigtsmæssige i at bruge et lokomotiv fremstillet på denne måde, skyldes netop at det stemmer godt overens med vores billedskema for et tog.

Spørgsmålet er så hvordan man i fysikken bedst får objekter til at fremstå som det de repræsenterer. Vi kan starte med at se på hvordan man traditionelt har gjort. I fysikken har der fra ca. midten af dette århundrede været en stærk tradition for at fremstille illustrationer som simple stregtegninger, og det er først i de seneste år blevet normalt at bruge flerfarvetryk og detaljerede, realistiske tegninger i fysikbøger på universitetsplan.³⁸ Det skyldes nok flere ting. *For det første* findes lærebøger til fysik på universitetsplan som regel kun i mindre oplag – især hvis de udgives på dansk. Og med tidligere tiders besværlige og kostbare reproduktionsteknikker er det ikke underligt at illustrationerne er blevet nedprioriteret. Billedmaterialet har typisk taget udgangspunkt i forfatterens egne skitser som evt. er blevet rentegnet. *For det andet* har måden hvorpå man fremstiller situationer på, betydning for hvordan vi opfatter dem, og det fag de handler om. Gunther Kress og Theo van Leeuwen kalder de aspekter ved et billede der betyder noget for vores opfattelse af det, for modalitetsmarkører og opstiller en række skalaer for de vigtigste markører for visuel modalitet.³⁹

- a) Farvebrug, som deles op i tre: Farvemætning (fra sort/hvid til udelukkende farve), farvedifferentiering (fra monokrom til alle farver), og farvemodulation (brugen af forskellige nuancer af samme farve).
- b) Kontekstualisation (fra ingen baggrund til fuldstændig og detaljeret baggrund)
- c) Repræsentation (fra fotorealisme til abstrakt fremstilling)
- d) Dybde (fra fladetegning, dvs. 2-dimensionelt, til maksimalt og gennemført perspektiv)
- e) Illumination (fra ingen lyssætning til fuldstændig beskrivelse af lys og skygge)
- f) Lysstyrke (fra kun to lysstyrker, fx sort/hvid eller lyseblå/mørkeblå, til uendeligt mange lysstyrker)

Graden af modalitet fortæller noget om hvordan vi skal forstå billedet, og hvilken sandhedsværdi vi skal lægge i det, lige som modalverberne (vil, skal, kan, må, tør, bør, gider) fortæller noget om karakteren af verbale udsagn. Men det samme billede vil i forskellige sammenhænge have forskellig modalitet fordi forskellige kontekster giver størst modalitet til forskellige placeringer på de ovenfor beskrevne skalaer. For den videnskabeli-

³⁸ Se fx Keller mfl., 1993, Nolan, 1994, Sanny & Moebis, 1996 og Tipler, 1991.

³⁹ Kress & van Leeuwen, 1996, s. 165ff.

ge/teknologiske kontekst gælder ifølge Kress & van Leeuwen der typisk at det der ikke bidrager til formålet, tilføjer en grad af illusion til illustrationen:

"The realism (and hence the 'naturalism') of scientific-technical images is of a different kind, based, in the end, on the questions 'Can we use it?', 'Can we measure the real dimensions from it?', 'Can we find out from it how to set up the experiment?' and so on."⁴⁰

Derfor har den videnskabelige illustration størst modalitet når den har: få farver, ingen baggrund, abstrakt fremstilling, kun perspektiv hvis nødvendigt, ingen lyssætning og få lysstyrker. Det samme gælder for illustrationer i lærebøger som ønsker at give en videnskabelig fremstilling af fysikken. Jeg nævner dette for at vise at der er tale om et valg, eftersom man i stedet kunne have valgt illustrationer der lægger vægt på umiddelbar genkendelighed ved at bruge nøjagtige og detaljerede fremstillinger af de virkelige genstande.

Som sagt er der i de senere år netop fremkommet flere lærebøger hvor simple stregtegninger er erstattet af realistiske afbildninger i flerfarvetryk. Det skyldes formentlig et pædagogisk forsøg på at gøre fysikken "mere virkelighedsnær", at tilnærme situationerne til noget den studerende kan genkende fra sin hverdag. Samtidig virker en farverig og detaljeret tegning måske mere tiltrækkende på læseren, og sådanne figurer har derfor til en vis grad samme formål som beskrevet for actionfotografierne i Kapitel 3. Dette kan sådan set være udmærket, men man mister formentlig samtidig de fordele der er ved en simpel stregtegning. Stregtegningen har jo den tydelige fordel at den er nem at efterligne: Læseren kan selv tegne den og derfor lettere indarbejde den i sin fysikforståelse som et redskab. En stregtegning benytter sig i højere grad af det essentielle indhold i billedskemaerne for de indgående objekter. Forskning viser da også at karikerede, tegneserieagtige objekter lettere genkendes end realistiske.⁴¹ Ved illustrationer der skal vise generelle situationer, vil detaljer og fotorealistiske fremstillinger gøre illustrationerne specifikke og konkrete på en måde som muligvis ikke er formålstjenstlig. Man kan derfor stille sig kritisk over for figurer der som i Ill. 27 medtager mange – for den fysiske problemstilling – unødvendige detaljer. Her er det baggrunden der kun er med for at sætte slæbebåden ind i en kontekst. Figuren skal illustrere et eksempel i teksten hvor man regner på accelerationen af de to pramme ud fra kendskab til slæbebådens trækraft og prammenes masse og friktionskræfter mod vandet.

⁴⁰ Kress & van Leeuwen, 1996, s. 169.

⁴¹ Levie, 1987.

Ill. 27. Slæbebåd og to pramme foran storby-skyline.
Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 83.

Som vi så i Kapitel 2 er vores visuelle hukommelse god til at huske og genkende selv komplicerede og abstrakte sammenhænge. Men der er grænser for hvor meget information der kan "lagres" og huskes i ét billede, så mon ikke vi med detaljerede figurer risikerer at det er det forkerte der huskes. Den bevarende funktion i billedet styrkes hvis billedet kun indeholder relevante oplysninger til formålet, og en baggrund som i Ill. 27 bidrager reelt ikke til nogen større forståelse af situationen. Der kan derfor ikke argumenteres for at gøre realobjekter mere realistiske ud fra overvejelser om perception og hukommelse, og tilbage står så argumentet om at gøre materialet mere indbydende, altså en tiltrækkende funktion. Det er min opfattelse at dette gøres bedre med actionfotografier som beskrevet i Kapitel 3. Man kan også sammenstille de skitseagtige figurer med fotografier af tilsvarende situationer som i Ill. 28, der også bruges i en gennemgang af Doppler-effekten. Her vil fotografiet – hvis det er velvalgt – levere den tydelige forbindelse til virkeligheden, mens figuren tager sig af den fysikteoretiske gennemgang. En sådan arbejdsdeling hvor figur og fotografi er sammenstillet, er en optimal udnyttelse af de to illustrationstyper fordi figuren her kan koncentrere sig om – ud fra et minimalt antal objekter – at illustrere de fysiske begreber.

Ill. 28. Sammenstilling af figur og fotografi i forbindelse med gennemgang af Doppler-effekten. Se også Bilag C. Fra Nolan, 1995, s. 351.

Hvis man forsøger at få realobjekter til at ligne, kan man også let komme i konflikt med andre virkemidler i illustrationen, fx overdrivelse som er en hyppig anvendt effekt. I Ill. 29 er formålet med den opgave illustrationen optræder sammen med, at vise at lysstråler fra Solen som rammer Jorden to forskellige steder med god tilnærmelse kan regnes for parallelle. Hvis man så kigger på Ill. 29, får

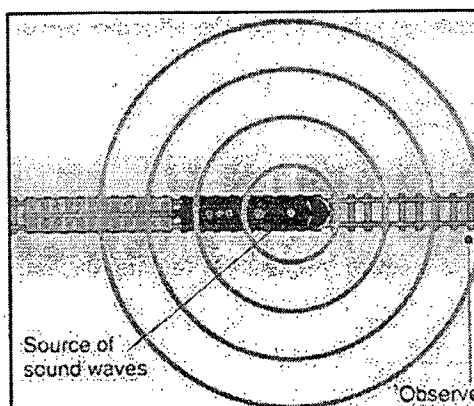
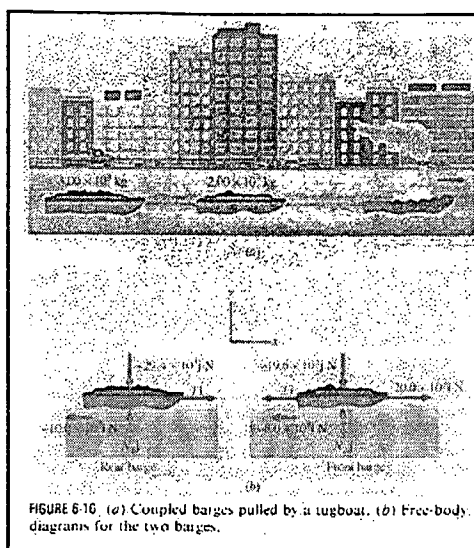
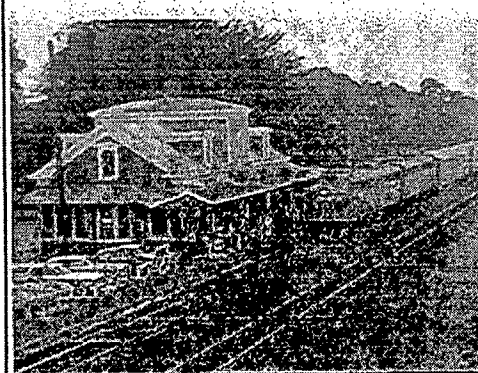


Figure 12.21

Observer and source stationary.



man jo det modsatte indtryk. Jeg gætter på at afsenderen har ønsket at Jorden skulle være genkendelig, og så bliver den nok nødt til at være fremstillet i den størrelse, men hvorfor egentlig det – der står jo "Earth" lige ved siden af. Selvfølgelig kan man ikke tegne denne problemstilling med korrekte mål, eftersom afstanden mellem Solen og Jorden er ca. 12.000 gange Jordens diameter – det er jo netop dette forhold der betyder at parallelle stråler er en god approksimation. Men når vi nu véd at billeder har det med at sætte sig bedre fast i hukommelsen, var det nok en bedre idé at glemme kontinenterne og så lade størrelsesforholdene kvalitativt være mere i overensstemmelse med virkeligheden. Forvrængede størrelsesforhold er ofte en god måde at tydeliggøre en bestemt problemstilling på, og ofte er det også nødvendigt, men der er ingen grund til at forvrænge mere end til det punkt hvor situationen er forståelig.

Ill. 29. Figur med overdrevent forvrængede størrelsesforhold. Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 295.

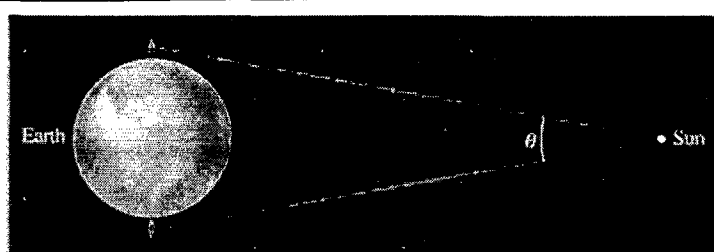
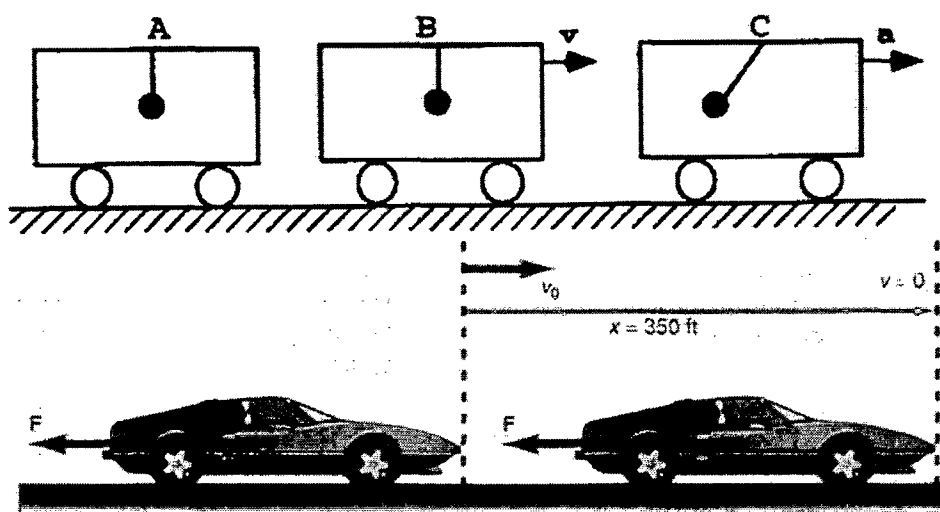


FIGURE 16-20 Two observers viewing the sun from opposite sides of the earth. The sun is assumed to be a point source.

Men hvad skal man så gøre når man vil fremstille realobjekter så fornuftigt som muligt? Hvis funktionen er at objekterne ved deres udseende skal referere til virkelige genstande, må man tage udgangspunkt i billedskemaet for den enkelte genstand, dvs. man må prøve at nærme sig det mest karakteristiske ved genstanden. Er objektet fx en vogn – og situationen ikke kræver andet end blot en vogn – kan det faktisk gøres med en kasse og to cirk-



Ill. 30. Forskellige grafiske udgaver af objektet "en vogn". Øverst fra Knudsen & Hjorth, 1995, s. 163, og nederst fra Nolan, 1995, s. 192.

ler, jf. den øverste figur i Ill. 30. Den er fra Knudsen & Hjorth, 1995, som viser at man udmærket kan lave en moderne lærebog med kun simple stregtegninger uden at det går ud over anvendeligheden. Bogens illustrationer består næsten uden undtagelse af sådanne stiliserede fremstillinger, og samtidig er der en konsekvent brug og genbrug af de forskellige elementer. Til gengæld er bogen næsten helt uden fotografier, og det giver den muligvis en verdensfjern karakter: Der er ikke meget i det visuelle udtryk der fortæller at her er nogle redskaber som man kan tage med sig ud af studerekammeret eller undervisningslokalet og bruge på den virkelige verden.

Uomgængelige analogier

Efter at have diskuteret fremstillingen af realobjekter skal vi nu til at beskæftige os med næste trin i abstraktionsstigen, jf. Ill. 26 på side 44, nemlig modelobjekter. Begrebet model er meget anvendt i naturvidenskaben, og det kan derfor være på sin plads først at overveje hvad vi i denne sammenhæng skal forstå som en model. En bred modeldefinition kunne lyde nogenlunde som at en model er "noget der har relevante træk til fælles med noget andet, og som derfor med et bestemt formål kan genfortælle dette andet i en mere enkel eller klar form." Det er en meget pragmatisk definition som åbner mulighed for mange typer af modeller, og hvor alle illustrationer sådan set er modeller af noget andet – selv fotografier er så modeller af virkelige situationer. En sådan definition vil derfor ikke nytte meget i denne sammenhæng, så lad os se om vi kan komme nærmere en anvendelig definition.

W.H. Leatherdale er ud fra studiet af videnskabelig litteratur nået frem til at vi i første omgang kan skelne mellem to grundlæggende måder at bruge modelbegrebet på som vi kan kalde model 1 og model 2.⁴² Model 2 svarer til selvstændige fænomener der kan bruges som eksterne analogier med det formål at formulere eller udvikle love og teorier, men som oftest også indeholder disanalogier (også kaldet negative analogier) til disse nyudviklede love og teorier. Et godt eksempel er solsystemet der kan bruges som en strukturel model for atomteorien. Model 1 er til gengæld i direkte korrespondance med en bestemt teori med hvilken den har definitioner og udsagn tilfælles. Det tilsvarende eksempel her er en grafisk fremstilling af Bohr-atomet, der altså er en model af atomets opbygning, som vi allerede så det i den indledende illustration i Kapitel 2. I Tabel 1 er angivet flere eksempler, og læg mærke til at de fungerer parvis.

⁴² Leatherdale, 1974.

Model 1	Model 2
Bohr-atom	Solsystem
Kinetisk gasteori	Billardkugler i bevægelse
Lysbølger	Vandbølger
Nuklear fission	Deling af vanddråbe
Elektrisk strøm	Væskestrømning (fluid)
Elektrisk felt	Ikke-sammenpresselig væske i bevægelse i rør

Tabel 1. Eksempler på de to typiske modeltyper i fysik. Fra Leatherdale, 1974, s. 53f.

I illustrationssammenhænge er det mest givende at bruge begrebet model som det bruges i Model 2, dvs. hvor et objekt (eller flere) anvendes på et område som det oprindeligt slet ikke hører hjemme i, og hvor det enkelte objekt er velkendt på en måde så det formidler nogle egenskaber eller kvaliteter der giver mening. Det som gør en model til en model for et fænomen, er i almindelighed en *analogi* mht. struktur mellem modellen og det den er model for. Analogien er altså forbindelsen mellem model og det modellerede fænomen. Med fænomen kan vi i denne sammenhæng som hos Kant forstå noget som ikke nødvendigvis har genstandskarakter, men som er en tilsynekomst eller en række af begivenheder som det er behageligt for os at beskrive under ét. En model kan som eksemplerne i Tabel 1 bestå af flere modelobjekter der tilsammen danner en model af et fænomen. Som det tilsvarende begreb til et enkelt modelobjekt i modellen vil jeg bruge betegnelsen *entitet*. Et fysisk fænomen består derfor typisk af flere fysiske entiteter.

Her kan vi sammenligne med begrebet *metafor* som det er beskrevet hos George Lakoff og Mark Johnson, der har givet os indsigt i at metaforisk tænkning er grundlæggende for vores måde at opfatte verden og kommunikere på.⁴³ I bogen "Metaphors We Live by" gennemgår de utallige eksempler på hvordan sproget og vores begrebsapparat er metaforisk, og jeg skal kort nævne nogle af dem fra bogen:

- Argumentation er krig (Eks.: "Han *angreb* ethvert svagt punkt i mit synspunkt")
- Tid er penge (Eks.: "Kan du *bruge* 5 minutter på mig?")
- Idéer er genstande (Eks.: "Hun *gav* mig en idé")
- Livet er en rejse (Eks.: "Jeg er *kørt fast* og ved ikke hvordan jeg kommer videre")
- Teorier er bygninger (Eks.: "Teorien har et svagt *fundament*, for den *bygger* på fejlagtige antagelser")

Metaforen virker ved at en struktur i et *kildeområde* (source domain) afbildes på et *målområde* (target domain):

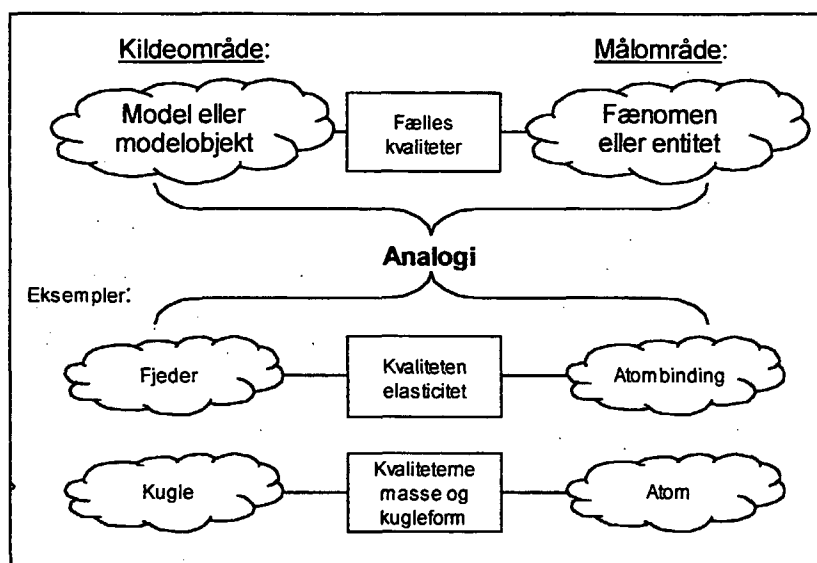
"Metaphorical mappings preserve the cognitive topology (that is the image-schema structure) of the source domain, in a way consistent with the inherent structure of the target domain."⁴⁴

⁴³ Lakoff & Johnson, 1980, hvis fundament er videre behandlet i Lakoff, 1987 samt Lakoff, 1993.

⁴⁴ Lakoff, 1993, s. 215.

Det skal nævnes at begrebet "image-schema" ikke bruges på samme måde hos Lakoff som hos Gombrich (jf. side 46f.). Lakoff beskriver i "Women, Fire and Dangerous Things" fra 1987 hvordan vi bruger nogle fundamentale strukturer – kaldet billedskemaer – som med udgangspunkt i vores egen kropslighed bruges til at forstå verden med. Eksempler på disse er beholder-skemaet (noget er inde eller ude) og del-helhed-skemaet (helheder består af dele, og dele kan samles til helheder). På den måde handler Lakoffs skemabegreb kun om de helt fundamentale måder at percipere på, mens Gombrich går videre og taler om billedskemaer for alle velkendte objekter (vi kan dog ikke tale om en videreudvikling eftersom Lakoffs arbejde jo er yngre end Gombrichs).

Metaforbegrebet forstået på denne måde er derfor egentlig et overbegreb til begreberne analogi og model.⁴⁵ Jeg finder det dog mere fornuftigt at bruge begrebet metafor om det det almindelig vis anvendes om, nemlig et verbalsprogligt billedligt udtryk hvor et udtryk tages ud af sin normale sammenhæng og bruges i en anden – ofte uventet – sammenhæng.⁴⁶ Idéen om kildeområde og målområde kan vi dog godt drage nytte af i diskussionen af modelobjekter og analogidannelse, og alt i alt kan vi sammenfatte begreberne som i Ill. 31.



Ill. 31. En analogi er forbindelsen mellem en model (eller enkelte modelobjekter) og et fænomen (eller enkelte entiteter) gennem fælles kvaliteter.

I Ill. 31 er forbindelsen mellem entitet og modelobjekt skabt ved nogle fælles kvaliteter. I det første eksempel er det en iboende kvalitet (elasticitet), mens det i det andet er både en iboende (masse) og en geometrisk kvalitet (kugleform). Vi kunne også kalde dem hen-

⁴⁵ Bjerregaard mfl., 1995 har med udgangspunkt i Lakoff netop brugt begrebet analogi som en variant af metaforen i en undersøgelse af metaforer i fysikken.

⁴⁶ Jf. Gyldendals fremmedordbog fra 1987 og Politikens filosofileksikon fra 1994.

holdsvis *indre* og *ydre* kvaliteter fordi elasticitet skyldes genstandens – eller stoffets – indre beskaffenhed, mens form afgøres af den ydre fremtræden.

Som jeg tidligere skrev skal definitionen af elementer henholdsvis objekter i en specifik illustration tages pragmatisk således at det der skal kaldes objekter, bestemmes af hvad vi interesserer os for (jf. afsnittet De mindste dele på side 42). På samme måde mener jeg det er hensigtsmæssigt at bruge begrebet fænomen. Hvis vi fx beskæftiger os med grundstoffer, kan vi betragte atomet som et fænomen der består af entiteterne elektroner, protoner og neutroner, mens hvis vi beskæftiger os med kernefysik, må vi se atomkernen som et fænomen hvor de subatomare partikler er entiteterne.

Når jeg i Ill. 31 både skriver model og modelobjekt, er det for at vise at analogier efter min mening både kan dannes mellem komplekse modeller og fænomener som fx et system af vandrør med et højereliggende reservoir som model for et elektrisk kredsløb, og også mellem et enkelt modelobjekt og en enkelt entitet som fx en kugle som model for atomet. Derfor er jeg også uenig med Dedre Gentner og Donald Gentner når de karakteriserer analogien på følgende måde:

"The analogy, in short, conveys overlap in relations among objects, but no particular overlap in the characteristics of the objects themselves."⁴⁷

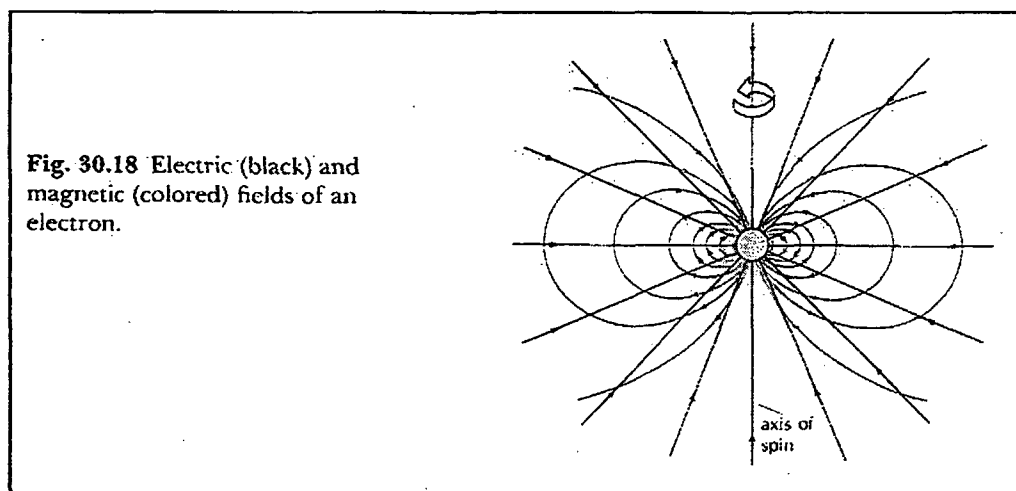
Udgangspunktet for deres diskussion er analogien med solsystemet som model for atomet. Her mener de analogien udelukkende bygger på ligheden i relationer mellem de indgående objekter. For mig at se glemmer de at når vi møder en illustration af denne analogi, trækker analogien faktisk også på analogier mellem enkeltobjekter, som fx at atomkernen illustreres som en kuglesfære. Selvom der åbenlyst er egenskaber som ikke kan overføres fra model til fænomen som fx at Solen er gul og varm, er det alligevel nødvendigt at være opmærksom på hvilke kvaliteter vi iagttager som fælles mellem det enkelte modelobjekt og en fysisk entitet.

Den spidsfindige læser kunne hævde at realobjekter i virkeligheden også er modelobjekter, og i princippet er det rigtigt. Realobjekter er egentlig en specialgruppe af modelobjekterne hvis analogikvaliteter er ikoniske, men normalt forestiller vi os at realobjekterne er gode kopier af de virkelige genstande de forestiller, således at de ikke bare har udseendet tilfælles, men også andre "usynlige" kvaliteter som har betydning for den fysiske forståelse. I et billede af en fjeder går vi fx ud fra at fjederen er elastisk selvom vi egentlig ikke kan se det.

Det er vigtigt af huske at dannelsen af en analogi – dvs. en kobling mellem en models kvaliteter og et fænomen – ikke er noget argument i sig selv for at fænomenet virkeligt besidder alle disse kvaliteter. En analogi er en måde at anskueliggøre på, og selvom den kan virke nok så overbevisende, må vurderingen af dens videnskabelige holdbarhed komme af andre mere formelle veje som bl.a. går over et grundigt samspil mellem teori og

⁴⁷ Gentner & Gentner, 1983, s. 101.

empiri. Derfor skal man være varsom med brugen af modelobjekter og vælge dem med omhu. Man kan fx diskutere det fornuftige i at fremstille en elektron som en kugle som i Ill. 32 når nu det rent faktisk er meget problematisk at definere en elektrons diameter – en kvalitet som jo er afgørende for en kugles fremtræden. En anden måde var at bruge en sky-agtig form, som nok mere er kendetegnet ved en ubestemt udstrækning. Men idéen i Ill. 32 er selvfølgelig at give en model der kan forklare elektronens magnetiske dipolmoment. Det pågældende afsnit i lærebogen handler om hvordan accelererede elektriske strømme kan skabe et magnetfelt, og det er jo netop hvad en roterende elektrisk ladet kugle vil gøre. Det kan være en udmærket model på dette niveau, men jeg savner en mere direkte påpegning i teksten og billedteksten af at det netop er en model, der har sine begrænsninger.



Ill. 32. Fremstilling af elektronens magnetiske og elektriske felt. Fra Ohanian, 1989, s.744.

Men hvad skal vi så egentlig med disse modeller og modelobjekter, når vi nu så nemt kommer til at misforstå dem? Det umiddelbare og mest overbevisende svar er at det er den eneste mulighed vi har når vi har med fænomener og entiteter som vi ikke direkte kan sanse eller percipere. Vi behøver simpelt hen billeder af det vi snakker om for at forestille os hvad det drejer sig om, og når vi ikke umiddelbart kan se hvad vi snakker om, må vi fremstille det på en sandsynlig måde ved hjælp af objekter vi har sanseerfaring med. Det er jo ikke anderledes end Niels Bohrs dogme om at kvantemekanikken der handler om fænomener vi ikke direkte kan sanse, skal forklares med hverdagsprog. At der med analogier altid følger *disanalogier*, dvs. kvaliteter som ikke kan sammenlignes, er ikke et argument for at undgå brugen af dem, men for det uomgængelige i at bruge tid og kræfter på at diskutere og forstå dem.

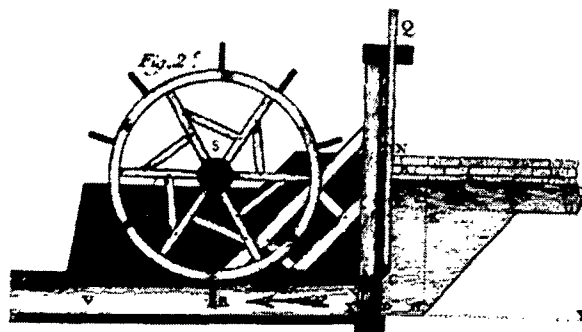
Jeg vil ikke gennemgå alle modelobjekter jeg har stødt på i fysikillustrationer, men for at give et indtryk af at der ikke er tale om enkelte specialtilfælde, skal følgende eksempler nævnes:

- Stang som model af stiv atombinding.
- Kugler af forskellige materialer som model for partikler i stødprocesser med kvaliteter som blødhed, hårdhed, densitet, størrelse.
- Gitter som model for krystalstruktur med kvaliteterne stivhed og regelmæssighed
- Støddæmper som model for elektrisk modstand med kvaliteten dissipation.
- Snurretop som model for jordklode med kvaliteten præcession.

Visuelle principper

Nu mangler vi kun de mest abstrakte objekter i fysiske figurer, nemlig symbolobjekterne. Som jeg tidligere beskrev er symbolobjekternes kvaliteter af en sådan art at de entydigt definerer symbolobjekternes indhold. Et spændende eksempel er vektoren der jo i en figur i fysikken fremstilles som en pil med de tre kvaliteter angrebspunkt, længde og retning. Men hvor kommer denne fremstillingsidé egentlig fra? Gombrich har undersøgt hvordan brugen af pile i illustrationer opstår. Han kommer frem til at de ikke anvendes tidligere end i det 18. århundrede, og at de her har en stor lighed med virkelige pile til bueskydning, som Ill. 33 viser.⁴⁸ Man kan faktisk sige at der her mere er tale om at pilen er et modelobjekt hvor kvaliteten "retlinet bevægelse" bruges til at danne en analogi for vandstrømningen.

Ill. 33. Et af de tidligste eksempler på brugen af pile til at indikere retning og bevægelse. Tegningen er fra Bernard Forest de Bélidor: "Architecture Hydraulique" fra 1737. Fra Gombrich, 1990, s. 28.



Men som vi allerede så i Ill. 22 på side 39 har det store gevinster også at tilskrive pilens længde en principiel kvalitet, for så har vi pludselig et objekt som vi ud fra geometrien kan bruge til at regne med. Selvom vektorbegrebet for os har indlysende fordele, var det mange år undervejs, og først i 1840'erne kunne man anvende tredimensionale vektorsystemer.⁴⁹

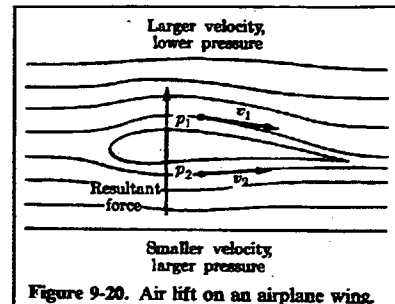
Det kendetegnende ved symbolobjekter er netop at deres definition er principiel og tilmed af matematisk natur. Normalt er vi ikke bevidste om at en vektor oprindeligt stammer fra afbildningen af en virkelig bueskydningspil – vi definerer en vektor ud fra matematiske begreber så som koordinater, vinkel og længde, ja, vi vil måske foretrække en mere formel definition som fx ligningen $\mathbf{v} = v_i \mathbf{i} + v_j \mathbf{j} + v_k \mathbf{k}$ hvor \mathbf{i} , \mathbf{j} og \mathbf{k} er enhedsvektorer parallelle med akserne i et tredimensionalt koordinatsystem med origo i vektorens angrebspunkt.

⁴⁸ Gombrich, 1990, s.28.

⁴⁹ Denne udvikling er beskrevet i Crowe, 1967.

Længden af vektoren, som jo kan symbolisere mange forskellige fysiske størrelser, er vigtig fordi vi direkte på illustrationen kan anskueliggøre og i nogle tilfælde som i Ill. 24 på side 41 udregne resultatet for en problemstilling. Men denne kvalitet må man så også tage alvorligt når man bruger vektoren som visuelt udtryksmiddel. Det duer ikke som i Ill. 34 at vise de to hastigheder v_1 og v_2 med tilsyneladende lige lange vektorer når nu det netop er *forskellen* i de to størrelser man vil vise, og her er 1mm altså ikke nok. Denne figur er på mange måder en af de dårligste jeg har mødt, og grunden til at jeg ikke forbigår den i tavshed, skyldes at den i lignende versioner dukker op i næsten alle lærebøger. Under gennemgangen af Bernoullis ligning, $\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gz + p = [\text{konstant}]$, der udtrykker energibevarelsen for et flydende stof, fremdrages ofte opdriften på en flyvinge som eksempel på et fænomen hvor denne ligning kan bruges. Idéen er at vingen er udformet så den tvinger luften til at have større hastighed oven på vingen end neden under. Det skulle man kunne se ud fra de nogenlunde parallelle otte tynde streger som kaldes strømninglinjer.

Ill. 34. Opdrift på en flyvinge – eller er det?
Fra Alonso & Finn, 1980, vol. I, s. 254.



Ill. 35. Hastighedsvektorer og strømninglinjer.
Fra Ohanian, 1989, s. 469.

Strømninglinjer bruges til at beskrive stationært laminart flow, dvs. væsker eller gasser i bevægelse hvor flowmønsteret er konstant over tid. Strømninglinjer er et symbolobjekt der på et makroskopisk plan sammenfatter vores forestilling om at en væske eller gas består af enkeltpartikler som hver især har en hastighedsvektor. Forskellen mellem hastighedsvektorer og strømninglinjer er vist i Ill. 35. Strømninglinjerne angiver derfor et hastighedsfelt, hvor tætheden af linjerne angiver størrelsen af hastigheden i det pågældende punkt, og hvor linjens tangent i et bestemt punkt er identisk med retningen af hastighedsvektoren.

De otte strømninglinjer i Ill. 34 skal altså anskueliggøre luftstrømningernes karakter omkring vingeprofilen. Det mærkelige er så bare at linjernes form og tæthed stort set er den samme over og under vingen. Med andre ord fortæller stregerne ikke noget om hvorfor den resulterende kraft peger opad. Der er altså ikke overbevisende argumenter i selve figuren for opdriften på vingen, og måske er det derfor at den er forsynet med teksten "Larger velo-

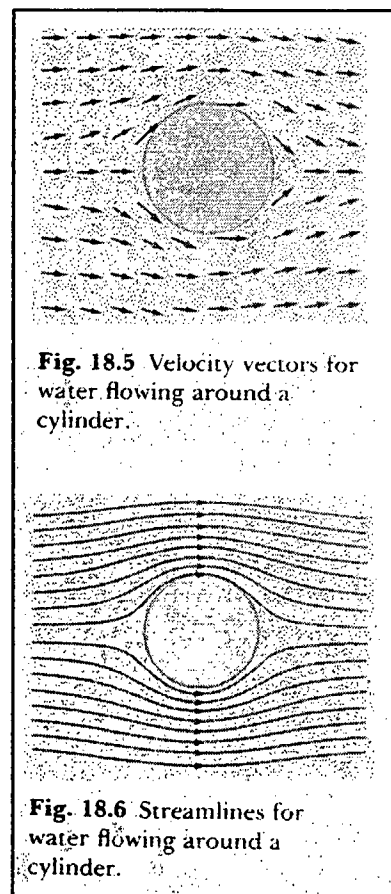
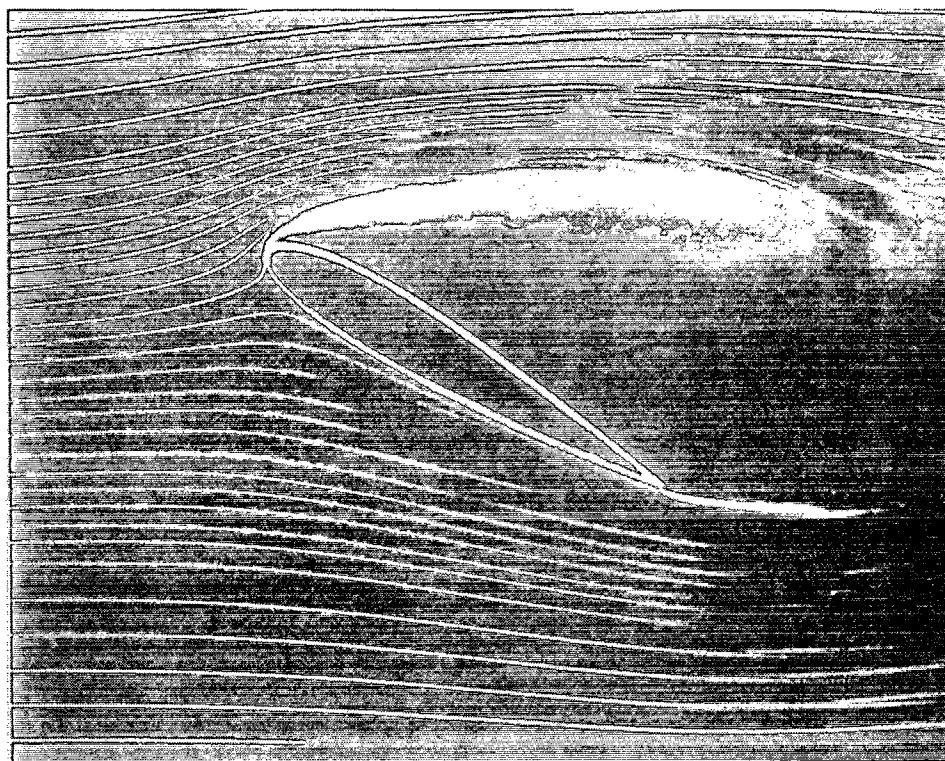


Fig. 18.5 Velocity vectors for water flowing around a cylinder.

Fig. 18.6 Streamlines for water flowing around a cylinder.

city, lower pressure" foroven og "Smaller velocity, larger pressure" forneden – så er man da ikke i tvivl! I øvrigt er det mærkeligt at den resulterende kraft ikke er tegnet som en vektor med angrebepunkt i vingeprofilens tyngdepunkt, og samtidig at strømningslinjerne bagved vingen ser ud som på forsiden – man skulle mene at hvis der er en kraft opad på flyvingen, så er der også en nedadrettet kraft på luften, jf. Newtons lov om aktion lig reaktion.

Ofte er introduktionen af Bernoullis ligning også ledsaget af et eller flere fotografier af røgfaner – dvs. tynde stråler af røg – omkring en forhindring som i Ill. 36 hvor vi ser profilen af en flyvinge og den måde røgfanerne passerer. Men som det også ses i Ill. 36, er der et problem i og med at røgfaner kun opfører sig som strømningslinjer når der er tale om laminart flow. Så snart der skabes turbulens, vil røgfanerne tværes ud, og det er jo i modstrid med forestillingen om strømningslinjer der ikke spredes eller forsvinder.

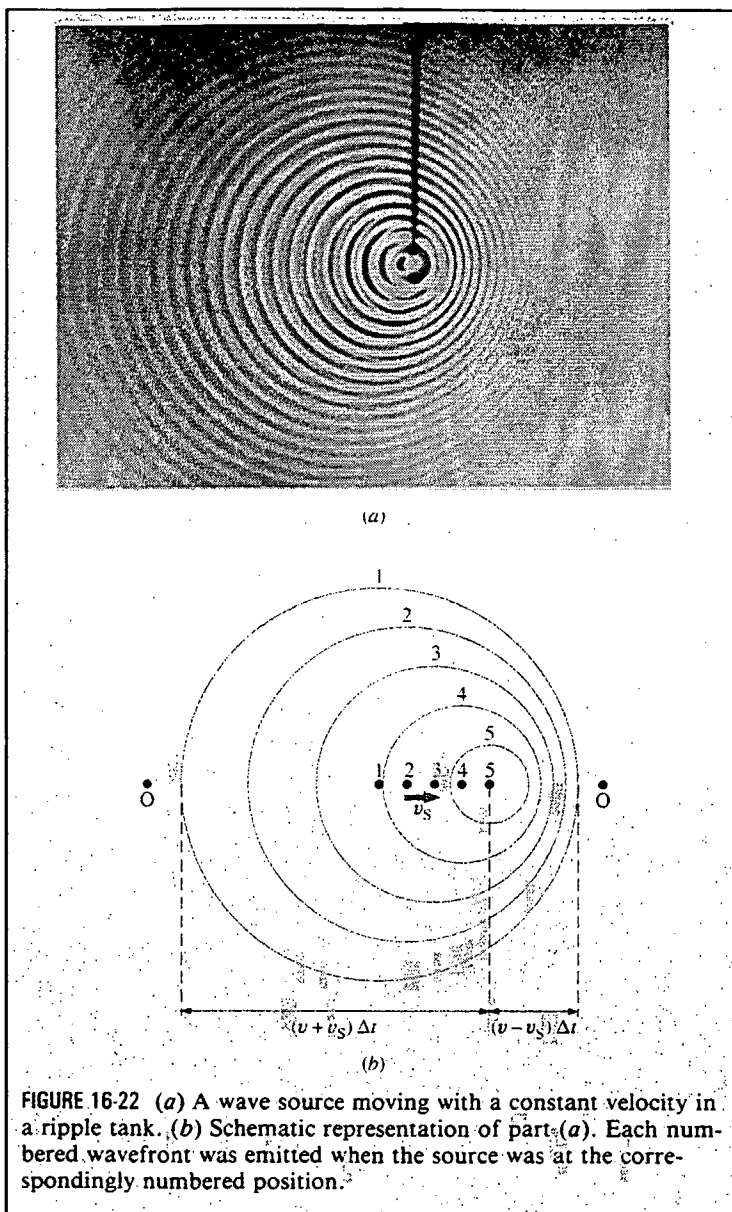


Ill. 36. Flow'et af røgfaner omkring en flyvinge. Fra Keller mfl., 1993, s. 374.

Man kunne mene at det er en dårlig idé som i Ill. 36 at vise en situation hvor der er turbulens når man rent faktisk i teksten diskuterer laminart flow. Og nogle lærebøger viser da også et fotografi (eller måske blot en figur) af flow'et omkring et flyvinge-lignende objekt hvor der er laminart flow. På den anden side er det måske fornuftigt at understrege at strømmlinjer som et fysisk begreb ligner, men *ikke er identisk med røgfaner*, ja, at det faktisk kun er i specialtilfælde at de to stemmer overens. Netop hvad angår strømmingen forbi flyvingen er det essentielt at flow'et ikke er laminart, fordi det er den skabte turbulens der er hovedansvarlig for opdriften på vingen. Jeg mener derfor at det er hensigtsmæssigt at

bruge forskellige illustrationer til at vise hvordan strømningslinjer i fysikken har en meget præcis og principiel definition. Her kan det være fint at vise fotografier af røgfaner i forskellige situationer. Men man skal selvfølgelig ikke gøre som Keller mfl., 1993, der fuldstændig ignorerer fotografiet vist i Ill. 36 og slet ikke nævner det i teksten.

Selvom symbolobjekter har så entydigt en definition, kunne noget tyde på at der alligevel er et skær af ikoniske kvaliteter tilbage. For se engang igen på Ill. 20 på side 37 – hvorfor er lydbølgerne tegnet som hele cirkler, når vi jo egentlig kun interesserer os for den del der udbreder sig i manden og kvindens retning, og vi godt ved at det fysisk set er helt forkert at lade bølgerne fortsætte uændret ned gennem jordoverfladen? Det skal nok forklares ud fra almindelige erfaringer med et af de fænomener hvorfra vi kender bølger bedst, nemlig vandbølger. Der er ikke langt fra fremstillingen i Ill. 20 til sanseerfaringer med vandbølger, og for at gøre sammenhængen helt tydeligt kan man som i Ill. 37 ved siden af figuren også vise et fotografi af det tilsvarende fænomen i vand. Hvis man vil vise Dopplereffekten med et tog der bevæger sig og samtidig bevare analogien til vandbølger, er det mere fornuftigt at se situationen fra oven som i Ill. 28 på side 49.



Ill. 37. Doppler-effekten udtryk med både fotografi og figur. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 298.

Et andet eksempel på et symbolobjekt som trækker på en lighed med et fænomen vi direkte kan sanse, er feltlinjebegrebet. Når dette introduceres, sker det ofte som i Ill. 38 hvor et fotografi af jernfilspåner omkring en stangmagnet bruges til at illustrere magnetfeltlinjernes udseende. Jernfilspånerne virker som små dipoler og retter sig derfor ind efter magnetfeltet. Tilsammen danner de linjer som har samme udseende som feltlinjerne omkring stangmagneten. Men der er en væsentlig kvalitet ved feltlinjerne som ikke genfindes i fotografiet af jernfilspåner, nemlig det at tætheden af linjer pr tværsnitsareal (svarende til afstanden i mellem dem) fortæller os om magnetfeltets styrke – på samme måde som tætheden af strømmingslinjerne ovenfor fortalte om størrelsen af hastigheden. På fotografiet viser jernfilspånerne på en måde det modsatte fordi de ikke ligger fast på overfladen, og derfor "suges" de nærmeste hen til magnetens poler og skaber derved et "tomrum" umiddelbart ud for polerne, hvor feltet jo netop er meget stærkt.

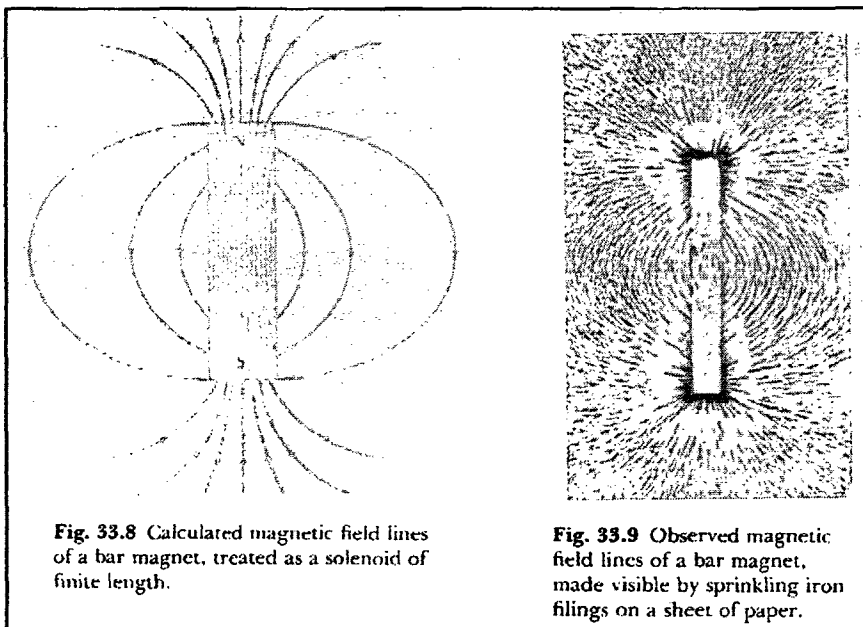


Fig. 33.8 Calculated magnetic field lines of a bar magnet, treated as a solenoid of finite length.

Fig. 33.9 Observed magnetic field lines of a bar magnet, made visible by sprinkling iron filings on a sheet of paper.

Ill. 38. Sammenligning af mønstret af jernfilspåner og magnetfeltet omkring en stangmagnet. Fra Ohanian, 1989, s. 814.

Men det er ikke tilfældigt at disse to billeder sammenstilles, især ikke hvis man ser på feltlinjebegrebets historie. Det viser sig nemlig at J.C. Maxwell i sin udvikling af begrebet netop var meget inspireret af mønstre af jernfilspåner som på Ill. 38.⁵⁰ Vi kan sige at feltlinjebegrebet kan forstås som en analogi til jernfilspånerne hvor den fælles kvalitet er det mønster af linjer som dannes ud fra magneten. Derfor er sammenstillingen af de to illustrationer så stærk, men den er samtidig farlig fordi den tydelige analogi let giver anledning til at modtageren overfører flere kvaliteter end godt er. Jeg nævnte at tætheden er væsentlig forskellig, men også hvad angår midten af de to illustrationer er der forskel. Hvor figuren til venstre angiver magnetfeltet inde i magneten, viser fotografiet kun det

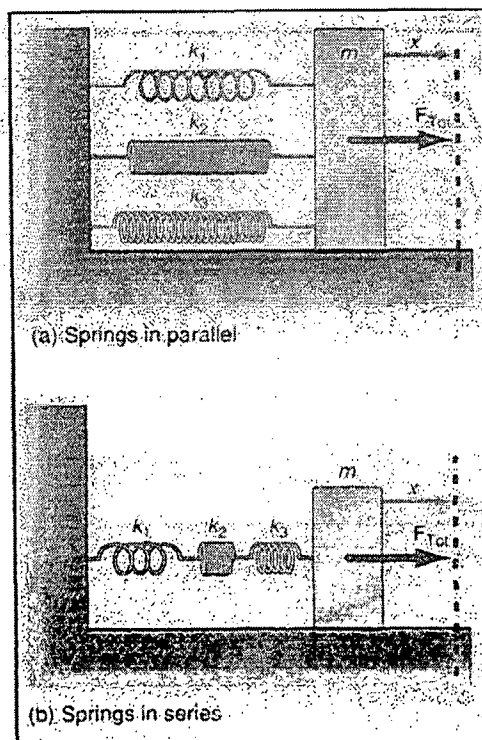
⁵⁰ Nersessian, 1995, s. 212f.

udvendige magnetfelt. For det er jo netop lavet ved at man har hældt jernfilspåner ud på et stykke papir og så nedenunder har anbragt en stangmagnet. Det der på fotografiet ser ud som "inde i magneten" er altså i virkeligheden foran magneten og derfor magen til feltet på højre og venstre side af magneten, blot set fra en anden retning.

Når man må overveje mulige fejlagtige opfattelser af symbolobjekter på baggrund af illustrationer, er det ikke fordi det er et problem at visualisere disse – tværtimod. Som jeg også var inde på i forrige afsnit, er det for at understrege at alt i billeder har betydning – også det vi som fysikere normalt ikke tillægger betydning! Selv de mest abstrakte objekter som vektorer, bølger og feltlinjer som vi normalt opfatter som rensede i deres visuelle udtryk, trækker på nogle analogier som betyder at vi kan misforstå dem. Den rigtige forståelse af disse objekter kræver at vi har lært hvori både analogier og disanalogier består.

Jeg har diskuteret tre symbolobjekter – vektorer, bølger og feltlinjer – som alle er meget brugte i fysikillustrationer på grundlæggende universitetsniveau. De er derfor også vigtige at lære at afkode de visuelle udtryk for, men det betyder ikke at der ikke er eller kan konstrueres andre symbolobjekter. For i princippet er der ingen grænser for hvilke modelobjekter vi kan bruge som symbolobjekter – det kræver blot tre ting. *For det første* at vi definerer de centrale visuelle kvaliteter principielt. Hvis vi ser på en fjeder som eksempel, ville det betyde at vi må tilføje en principiel betydning til fx antallet af vindinger, således at vi kan tælle antallet af vindinger på en fjeder og derfor udtale os kvantitativt om fjederkonstanten (det ville dog nok føre til forvirring eftersom en forøgelse af antallet af vindinger fører til en formindskelse af fjederkonstanten). *For det andet* skal vi afskrælle al overflødig betydning. Hvis vi beslutter at antallet af vindinger afgør fjederkonstanten, skal vi samtidig fjerne betydningen af fjederens størrelse og tykkelsen af materialet. Disse to egenskaber kunne nemlig have betydning fx i forhold til at kunne skelne mellem forskellige fjedre som man ønsker i Ill. 39. *For det tredje* – og vigtigst – skal vi have et formål med at konstruere en fjeder som et symbolobjekt. Der er jo ingen grund til at gøre et objekt mere abstrakt hvis ikke det tjener et formål. Og for fjederens vedkommende er det nok begrænset hvilke fordele vi opnår ved at definere nogle kvantitative kvaliteter så vi kan aflæse dem visuelt. Det er som i Ill. 39 tilstrækkeligt at vi kvalitativt kan skelne fjedrene fra hinanden og så lade den kvantitative størrelse være repræsenteret ved symboler som k_1 , k_2 og k_3 .

Ill. 39. Forskellige udgaver af fjedre angiver forskellige fjederkonstanter. Fra Nolan, 1995, s. 312.



Til gengæld kan vi klassificere geometriske objekter som kugle, trekant, ellipse, kvadrat, osv. som symbolobjekter når de bruges i overensstemmelse med den nøjagtige matematiske beskrivelse af dem. Her er det jo netop få og enkle ligninger, der fastlægger kvaliteter som fx form, areal eller volumen. Når jeg tidligere brugte en kugle som eksempel på et modelobjekt og ikke et symbolobjekt, skyldes det at brugen af kugler i figurer som regel bygger på analogier til virkelige kugler: I eksemplet i Ill. 25 på side 43 hvor et diatomisk molekyle illustreres med to kugler og en fjeder, er det ikke kuglen som geometrisk objekt *uden* masse vi skal tænke på, men derimod snarere virkelige kugler som fx billardkugler der *har* masse.

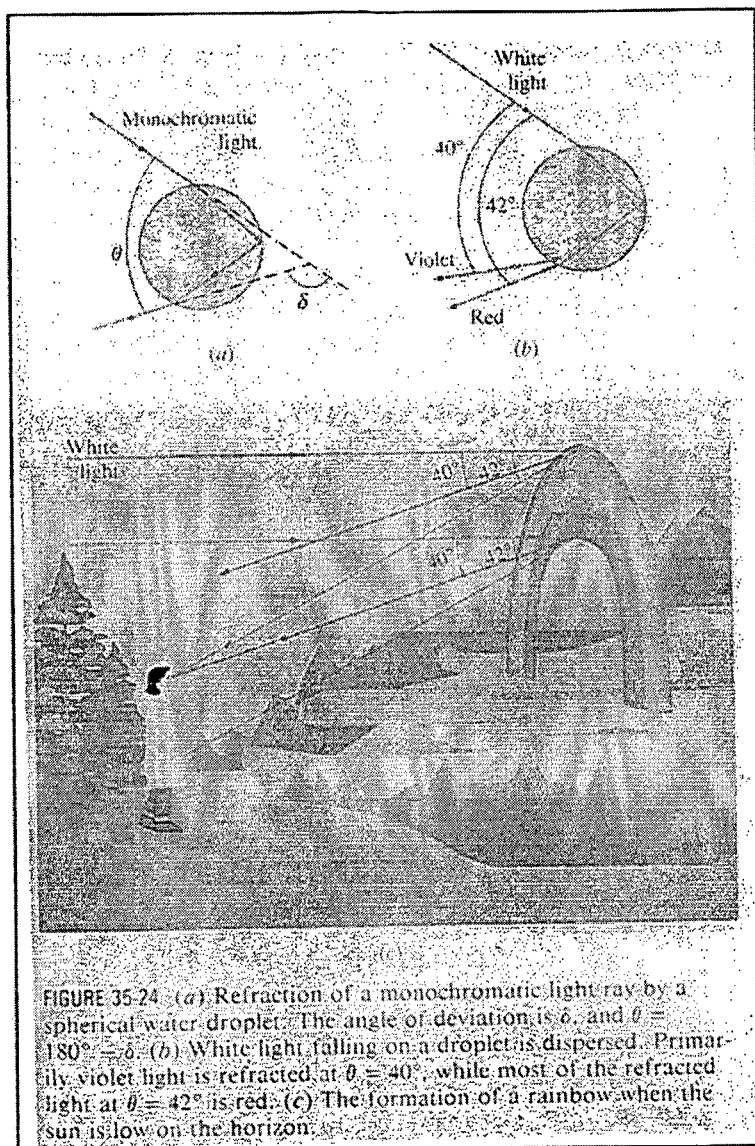
Koncentration og transcendens

Vi har nu gennemgået hvordan figurer er opbygget, og hvad de kan bestå af. Det skulle derfor være muligt at give et kvalificeret bud på hvordan vi bruger figurer til at formidle fysik på i undervisningen. I begyndelsen af kapitlet nåede jeg frem til at funktionen må være det første man fastlægger, når man undersøger figurer i fysikken – både i en analyse-situation og i en læringssituation. Hvis ikke man er klar over funktionen, har man heller ikke en chance for at forstå hvad man skal lægge vægt på, og hvad man skal se bort fra. Fastlæggelsen af funktionen har en hel del at gøre med billedteksten og den omgivende tekst i øvrigt, og denne side af diskussionen vil jeg vende tilbage til i Kapitel 6.

En figur er en abstraheret repræsentation af et udsnit af virkelighed som ser bort fra nogle sider og koncentrerer sig om andre. Netop tilstedeværelsen af denne koncentration er afgørende for konsistensen af figuren, for hvis det ikke er tydeligt hvad det er ved et virkeligt fænomen man ønsker anskueliggjort i figuren, er risikoen for misforståelse for stor. Derfor stillede jeg mig i afsnittet Fysisk ikonografi kritisk til figurer hvor realobjekter er tegnet så realistisk som muligt fordi det antyder en betydning af visuelle detaljer som slet ikke er relevant i en fysisk sammenhæng. Modargumentet er at det i en lærings-situation er relevant at tilnærme den visuelle fremstilling af de fysiske fænomener så den svarer til en dagligdags perception af virkeligheden. Men som jeg også diskuterede i Kapitel 3, klares denne opgave meget bedre at fotografier. Og samtidig belaster overdetaljerede objekter mængden af information i figuren i en sådan grad at den til sidst slet ikke er økonomisk at huske. For netop kombinationen af abstrakte begreber med afbildninger af virkelige fænomener fremstillet visuelt kan være en meget økonomiske måde både at lære og besidde viden på. Se fx på Ill. 40 som i en illustration (som dog består af tre figurer) giver en god forståelse af hvordan fænomenet regnbue kan forklares fysisk.

Ill. 40. God illustration til forklaring af fænomenet regnbue. Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebs, 1996, s. 649.

I figur (a) ser vi hvordan en monokrom lysstråle rammer en sfærisk vanddråbe og lysstrålen bliver afbøjet så den har en vinkel $\theta = 180^\circ - \delta$ med den oprindelig lysstråle. I figur (b) er lysstrålen hvidt lys som fordi vand er et dispersivt medium, vil brydes i dråben og spaltes i lysstråler med forskellige frekvenser og derfor også forskellige farver. Vinklen θ er angivet til 40° for violet lys og 42° for rødt, og dette overføres til figur (c) hvor det bliver tydeligt at iagttageren vil se det røde lys øverst og det violette nederst i regnbuen. Netop ved at dele forklaringen op i tre hvor vi først får defineret vinklerne, dernæst ser situationen for refractionen og refleksionen i en enkelt vanddråbe, og så til sidst får hele billedet, bliver det muligt at følge argumentationen trin for trin.

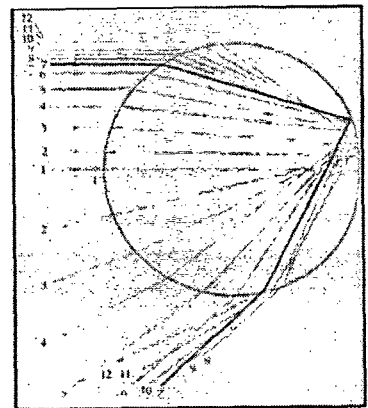


Det er i illustrationer som denne at figuren *transcenderer* fra at være blot en visualisering af et fænomen til at integrere hele fysiske teorier i en illustration. Ill. 40 nøjes hverken med en visualisering af det i forvejen synlige eller en fremstilling med udelukkende abstrakte objekter, men kombinerer disse to til et større hele. Som sidebemærkning kan det nævnes at det nu heller ikke ligefrem er en moderne måde at forklare regnbuefænomenet på. Faktisk optræder en næsten identisk illustration allerede i *Iconographic Encyclopedia of Science, Literature and Art* af J.G. Heck som første gang blev udgivet i 1851.⁵¹

⁵¹ Bogen er genoptrykt i 1988 (se Heck, 1988) og er en guldgrube for alle som interesserer sig historisk for illustrationer af så forskellige emner som matematik, naturvidenskab, medicin, historie, etnologi, militær, arkitektur, religion og teknologi.

Lærebogen som Ill. 40 kommer fra, mangler dog efter min mening en visuel forklaring på hvorfor vi kun ser på det sollys som rammer ét bestemt sted på vanddråben. Som der står i teksten var det oprindeligt Descartes der viste at de lysstråler der rammer i og omkring det punkt på vanddråben hvor den pågældende afbøjningsvinkel δ er mindst mulig, alle vil forlade vanddråben i nogenlunde samme retning og derfor give anledning til den lyskoncentration der skaber regnbuen. Dette argument som virker noget snørklet på skrift, illustreres på glimrende vis i Ill. 41 som svarer til en figur som også Descartes brugte.

Ill. 41. Konstruktionen af parallelle lysstråler der rammer en sfærisk vanddråbe. Stråler der rammer i nærheden af nummer 7, vil blive koncentreret og dermed give anledning til en forøgelse af en bestemt farves lysstyrke. Fra Tipler, 1991, s. 992.



Udover at mangle en sådan figur viser Ill. 40 også nogle af de problemer der kan opstå når afsender ønsker at anvende farver. Bogen benytter sig af en "color key" hvor lysstråler er bestemt til at være røde pile med udseende som i (a)-figuren, og det giver selvfølgelig et problem når man i (b)- og (c)-figuren skal illustrere både hvidt, rødt og violet lys. Afsenderen har her valgt at lade det røde lys repræsentere af en rød pil og det violette af en violet pil, og formentlig i et forsøg på at undgå misforståelser er det hvide lys repræsenteret af en blå pil. Dette gør ikke figuren umulig at forstå, for det er samtidig tilføjet med tekst hvilken farve lyset har i de tre tilfælde. Men det viser det svære ved at bruge farver konsekvent i fysikfigurer, og man kunne spørge om det så ikke er lige meget: Hvis man lod lysstrålerne – i hvert fald for det hvide lys – være repræsenteret af sorte pile, kunne man jo være mere sikker på at ingen ville tage pilens farve som udtryk for lysstrålens farve.

Regnbuen i Ill. 40 burde nok ende bag horisonten, for det er jo mere i overensstemmelse med den virkelige oplevelse af den. Man kunne også savne en forklaring på den sekundære regnbue som ofte kan ses oven over den primære. Trods disse mangler mener jeg alligevel at Ill. 40 er et godt eksempel på en figur der har en stor kraft til at formidle den fysiske forklaring af fænomenet regnbue. En kraft der sandsynligvis heller ikke levner alternative forklaringer meget plads. Og min diskussion af fejl og mangler ved denne illustration viser at der altid er noget der kan gøres bedre. En enkelt figur kan selvfølgelig ikke have det hele med, og derfor er der brug for flere som hver især fokuserer på enkelte trin i den fysiske forklaring.

Vi har nu set på en hel del forskellige figurer i fysikken og undersøgt hvilke objekter de består af. Lad os derfor igen overveje den indledende illustration i Kapitel 2 på side 13: Er illustrationen af Bohrs atommodel en figur? Umiddelbart er der flere ting der passer: Vi har at gøre med en tegning med forskellige klart adskillelige objekter der hver især refererer til noget i virkeligheden, og billedfladen bruges til at fastlægge geometriske forhold, hvad målestokken nederst på illustrationen også antyder.

Som vi har set, er det grundlæggende udgangspunkt for en figur udvalgte geometriske forhold i naturen. En figur giver altså først og fremmest mening ved at billedfladens opbygning i mere eller mindre idealiseret form svarer til måleforhold i virkeligheden. Men er det nu også hvad der sker i afbildningen af Bohrs atommodel? Ingen fysikere er længere i tvivl om det uholdbare i dette billede hvor elektronerne bevæger sig i cirkulære eller elliptiske baner omkring kernen. Billedfladen bruges altså på en måde som ikke er i overensstemmelse med virkelige forhold, og spørgsmålet er nu hvordan vi skal forstå denne type af illustrationer. Det skal vi se på i næste kapitel.

Kapitel 5

Det fokuserende diagram

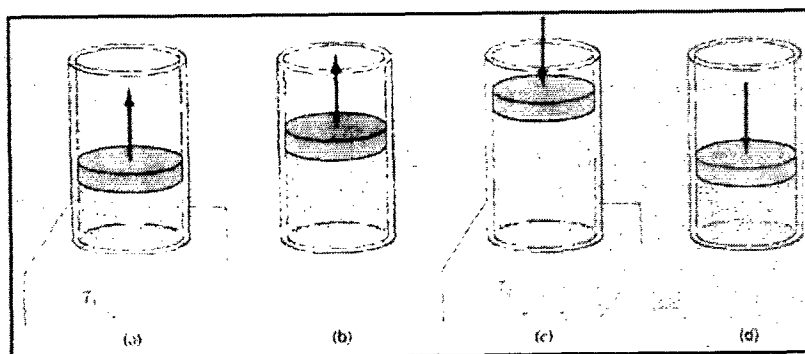
Når man i forskningen vil skelne mellem forskellige måder at præsentere information for en modtager, gør man ifølge Bill Winn det typisk ud fra overvejelser om et kontinuum rækkende fra (foto-)realistiske billeder i den ene ende til det talte og skrevne sprog i den anden.⁵² I midten af dette kontinuum ligger de grafiske former som vi kender som diagram, kort, tabel, graf, osv. Winn karakteriserer dem på følgende måde:

"From words, they inherit the attribute of abstraction; but like pictures they exploit spatial layout in a meaningful way. Their abstract nature makes them well suited to explaining how processes work where realistic pictures would fail. A simplified diagram of the digestive system would be a more effective illustration of how it works than a realistic picture of the organs and tissues. Their spatial nature, on the other hand, opens up a whole range of possibilities for communication that are precluded when language is used alone. A graph of average monthly hours of sunshine over a year is much more effective than a written description."⁵³

Både i forskningen og i dagligdagen bruges der desværre forskellige betegnelser for disse grafiske former. Hvad der for nogle er et søjlediagram, er for andre en søljegraf. Hvad nogle kalder et flow chart, kaldes et flowdiagram af andre. Jeg finder det fornuftigt at bruge *diagram* som overordnet betegnelse for de grafiske udtryksformer vi skal undersøge i dette kapitel, blandt andet på grund af ordets definition i Gyldendals fremmedordbog: "Tegnemæssig skematisk fremstilling af fx forholdet ml. klasser, talværdier, sproglige størrelser."

Det karakteristiske ved et diagram er måden hvorpå det kan sige noget om forbindelsen mellem de indgående elementer uden at sige ret meget om elementerne hver især. Ill. 42 og Ill. 43 viser henholdsvis en figur og et diagram der handler om samme emne, en Carnot-kredsproces, men som tydeligvis prioriterer forskellige aspekter. Hvor figuren fortæller om den faktiske proces i hver af de fire delprocesser, fokuserer diagrammet på forholdet mellem to fysiske størrelser – tryk og rumfang – gennem hele processen.

Ill. 42. Carnot-kredsproces visualiseret med enkle midler.
Fra Ohanian, s. 550.

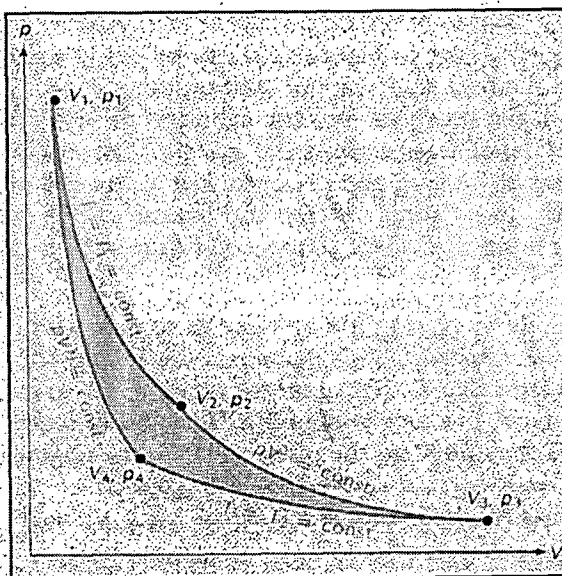


⁵² Winn, 1987.

⁵³ Winn, 1987, s. 152.

Billedfladen i Ill. 42 bruges til at beskrive en Carnot-maskines arbejdsproces. En Carnot-maskine består af en beholder hvori en mængde gas er indelukket ved hjælp af et stempel. Det er den simpleste form for en reversibel maskine (dvs. at entropien for hele kredspromessen er konstant), og den bruges derfor som regel til at diskutere hvordan effektiviteten af maskiner der udfører termodynamiske processer, kan maksimeres. Hver af de fire tegninger i illustrationen viser en opstilling som – om end idealiseret – fastlægger de geometriske forhold i situationen. I (a) tilføres varme fra et reservoir med temperaturen T_1 til beholderen som derved ekspanderer mens temperaturen holdes konstant. I (b) fjernes beholderen fra varmereservoiret og fortsætter med ekspansionen adiabatisk, dvs. uden at beholderen tilføres eller fratages varme, indtil beholderen har temperaturen T_2 . I (c) anbringes beholderen på et reservoir med temperaturen T_2 , og stemplet presses nedad hvorved gassens temperatur ville stige hvis ikke det var fordi der hele tiden afgives varme til reservoiret. I (d) fjernes beholderen igen fra reservoiret, og stemplet fortsætter med en adiabatisk kompression indtil gassens temperatur er steget fra T_2 til T_1 , og vi er tilbage ved maskinens udgangspunkt.

Ill. 43. Carnot-kredsproces vist i et p-V-diagram. Fra Ohanian, s. 550.



Vi kan gennem figurens fire tegninger følge med i maskinens tilstand ved at undersøge objekternes placering på billedfladen, her særligt stemplets placering som en indikation af volumenet V og tætheden af prikkerne som en indikation af trykket p . I diagrammet i Ill. 43 derimod bruges billedfladen til at beskrive *relationen* mellem disse to størrelser. Hvor figuren kan give en kvalitativ forståelse af Carnot-processen, viser diagrammet den matematiske beskrivelse hvor størrelsen af V og p bestemmes af placeringen på henholdsvis x-akse og y-akse i et koordinatsystem. Samtidig behøver vi ikke flere diagrammer for at vise en udvikling i tid. I figuren måtte vi have fire tegninger, og faktisk viser de kun fire øjebliksbilleder af processen, men i diagrammet kan vi sagtens overskue alle fire processer på én gang – ja, netop fordi de er samlet i ét diagram, er forskelle og ligheder meget tydelige. Diagrammet fokuserer på helt bestemte egenskaber og styrer på den måde vores opmærksomhed hen imod væsentlige fysiske træk ved fænomenet.

Trods disse forskelle er der også en mængde ligheder mellem diagrammer og figurer, og som det skal vise sig, er det muligt at se illustrationstypen figur som en specialudgave af illustrationstypen diagram. Jeg vil derfor genbruge visse begreber der blev brugt i diskussionen af figurer til diskussionen af diagrammer. Det gælder især begrebet objekt som også her kan bruges som en betegnelse for en selvstændig del af illustrationen.

For at afgrænse mit arbejde ønsker jeg ikke i dette kapitel at komme ind på hvordan man fremstiller sine forsøgsdata mest korrekt eller hensigtsmæssigt afhængigt af deres karakter. Sådanne overvejelser er der skrevet en del om i forvejen,⁵⁴ og jeg vil derfor holde diskussion på et mere generelt niveau for at nå frem til udsagn om hvad det fundamentalt set er vi gør og kan gøre med diagrammer.

Organisering af data

Men lad os gå tilbage til den simpleste måde at bruge et grafisk layout til at illustrere informationer på, nemlig en *tabel*. Man kan diskutere om en tabel overhovedet skal anses for at være en illustration i stedet for en tekst på listeform, for en hvilken som helst tabel kan jo i princippet formidles fuldstændig med ord alene, men jeg vil nu alligevel hævde at der er stor forskel på en tabel og en liste. Et godt eksempel herpå er det periodiske system som vist i Ill. 44.

Det periodiske system er et klassificeringsskema hvor de kemiske elementer er placeret således at elementer i samme kolonne har lignende kemiske egenskaber. Da Dmitri Mendeléeff omkring 1869-71 ordnede elementerne, skete det i forhold til deres atomvægt, men det gav problemer fordi en ordning efter stigende atomvægt ikke alle steder kunne stemme med at lignende kemiske egenskaber skulle placeres i samme kolonne.⁵⁵ Siden hen undersøgte Henry Mosely en hel række elementer ved at skyde katodestråler mod dem og måle frekvenser af de herved frembragte røntgenstråler. Han fandt at en inddeling efter atomnummer, dvs. antallet af protoner i kernen, gav fuld overensstemmelse med inddelingen efter kemiske egenskaber. De fleste placeringer var magen til Mendeléeffs bortset fra nogle få som fx argon og kalium. Mosely byttede om på dem så argon der egentlig har større atomvægt end kalium, kom først. I dag kan vi argumentere for dette ud fra de to elementers forskellige forekomster af naturlige isotoper.

Men dér hvor fremstillingen af data over de kemiske elementer i en tabel virkelig kommer til sin ret, er når den bruges til forudsigelser. Da det periodiske system blev opstillet var der mange "huller" i tabellen, og synliggørelsen af disse tomme felter førte til at man kunne lede efter bestemte stoffer med bestemte egenskaber, som fx hafnium og germanium. Vi kan derfor ved at bruge en tabel nå længere i vores erkendelse end en lang liste af data umiddelbart giver mulighed for. Tabelopstillingen af de kendte data kan synliggøre huller i ens viden og samtidig være med til at teste om der er sammenhæng i de kvaliteter man sætter som grundlæggende og inddeler efter. Tabellen som grafisk udtryksmiddel kan altså med få grafiske principper – et net skabt af en længde- og breddedimension – *organisere* data. Men lad os se på hvordan vi kan fremstille data fra en tabel i en anden type diagram, som leverer andre funktioner.

⁵⁴ Se fx Cleveland, 1993.

⁵⁵ Brown, 1996, s. 257f.

Periodic Table of the Elements

Key

atomic number (Z)	atomic mass (A)
name	symbol
outer electron configuration	

1 hydrogen H 1,01 1s ¹	2 helium He 4,00 1s ²																	10 neon Ne 20,2 2s ² 2p ⁶	11 sodium Na 23,0 3s ¹	12 magnesium Mg 24,3 3s ²	13 aluminum Al 27,0 3s ² 3p ¹	14 silicon Si 28,1 3s ² 3p ²	15 phosphorus P 31,0 3s ² 3p ³	16 sulfur S 32,1 3s ² 3p ⁴	17 chlorine Cl 35,5 3s ² 3p ⁵	18 argon Ar 40,0 3s ² 3p ⁶	19 potassium K 39,1 4s ¹	20 calcium Ca 40,1 4s ²	21 scandium Sc 45,0 3d ¹ 4s ²	22 titanium Ti 47,9 3d ² 4s ²	23 vanadium V 50,9 3d ³ 4s ²	24 chromium Cr 52,0 3d ⁵ 4s ¹	25 manganese Mn 54,9 3d ⁵ 4s ²	26 iron Fe 55,9 3d ⁶ 4s ²	27 cobalt Co 58,9 3d ⁷ 4s ²	28 nickel Ni 58,7 3d ⁸ 4s ²	29 copper Cu 63,6 3d ¹⁰ 4s ¹	30 zinc Zn 65,4 3d ¹⁰ 4s ²	31 gallium Ga 69,7 4s ² 4p ¹	32 germanium Ge 72,6 4s ² 4p ²	33 arsenic As 74,9 4s ² 4p ³	34 selenium Se 79,0 4s ² 4p ⁴	35 bromine Br 79,9 4s ² 4p ⁵	36 krypton Kr 83,8 4s ² 4p ⁶	37 rubidium Rb 85,5 5s ¹	38 strontium Sr 87,6 5s ²	39 yttrium Y 88,9 4d ¹ 5s ²	40 zirconium Zr 91,2 4d ² 5s ²	41 niobium Nb 92,9 4d ⁴ 5s ¹	42 molybdenum Mo 95,9 4d ⁵ 5s ¹	43 technetium Tc 98 4d ⁵ 5s ²	44 ruthenium Ru 101 4d ⁷ 5s ¹	45 rhodium Rh 103 4d ⁸ 5s ¹	46 palladium Pd 106 4d ¹⁰	47 silver Ag 108 4d ¹⁰ 5s ¹	48 cadmium Cd 112 4d ¹⁰ 5s ²	49 indium In 115 5s ² 5p ¹	50 tin Sn 119 5s ² 5p ²	51 antimony Sb 122 5s ² 5p ³	52 tellurium Te 128 5s ² 5p ⁴	53 iodine I 127 5s ² 5p ⁵	54 xenon Xe 131 5s ² 5p ⁶	55 cesium Cs 133 6s ¹	56 barium Ba 137 6s ²	57 lanthanum La 139 5d ¹ 6s ²	58 cerium Ce 140 4f ¹ 5d ¹ 6s ²	59 praseodymium Pr 141 4f ³ 6s ²	60 neodymium Nd 144 4f ⁴ 6s ²	61 promethium Pm 145 4f ⁵ 6s ²	62 samarium Sm 150 4f ⁶ 6s ²	63 europium Eu 152 4f ⁷ 6s ²	64 gadolinium Gd 157 4f ⁷ 5d ¹ 6s ²	65 terbium Tb 159 4f ⁹ 6s ²	66 dysprosium Dy 163 4f ¹⁰ 6s ²	67 holmium Ho 165 4f ¹¹ 6s ²	68 erbium Er 167 4f ¹² 6s ²	69 thulium Tm 169 4f ¹³ 6s ²	70 ytterbium Yb 173 4f ¹⁴ 6s ²	71 francium Fr 223 7s ¹	72 radium Ra 226 7s ²	73 actinium Ac 227 6d ¹ 7s ²	74 thorium Th 232 6d ² 7s ²	75 protactinium Pa 231 5f ² 6d ¹ 7s ²	76 uranium U 238 5f ³ 6d ¹ 7s ²	77 neptunium Np 237 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	78 plutonium Pu 244 5f ⁶ 6d ¹ 7s ²	79 americium Am 243 5f ⁷ 7s ²	80 curium Cm 247 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	81 berkelium Bk 247 5f ⁷ 6d ² 7s ²	82 californium Cf 251 5f ¹⁰ 7s ²	83 einsteinium Es 252 5f ¹¹ 7s ²	84 fermium Fm 257 5f ¹² 7s ²	85 mendelevium Md 258 5f ¹³ 7s ²	86 nobelium No 259 5f ¹⁴ 7s ²	87 francium Fr 223 7s ¹	88 radium Ra 226 7s ²	89 actinium Ac 227 6d ¹ 7s ²	90 thorium Th 232 6d ² 7s ²	91 protactinium Pa 231 5f ² 6d ¹ 7s ²	92 uranium U 238 5f ³ 6d ¹ 7s ²	93 neptunium Np 237 5f ⁴ 6d ¹ 7s ²	94 plutonium Pu 244 5f ⁶ 6d ¹ 7s ²	95 americium Am 243 5f ⁷ 7s ²	96 curium Cm 247 5f ⁷ 6d ¹ 7s ²	97 berkelium Bk 247 5f ⁷ 6d ² 7s ²	98 californium Cf 251 5f ¹⁰ 7s ²	99 einsteinium Es 252 5f ¹¹ 7s ²	100 fermium Fm 257 5f ¹² 7s ²	101 mendelevium Md 258 5f ¹³ 7s ²	102 nobelium No 259 5f ¹⁴ 7s ²	103 lawrencium Lr 260 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ²	104 rutherfordium Rf 261 5f ¹⁴ 6d ² 7s ²	105 dubnium Db 262 5f ¹⁴ 6d ³ 7s ²	106 seaborgium Sg 263 5f ¹⁴ 6d ⁴ 7s ²	107 bohrium Bh 264 5f ¹⁴ 6d ⁵ 7s ²	108 hassium Hs 265 5f ¹⁴ 6d ⁶ 7s ²	109 meitnerium Mt 266 5f ¹⁴ 6d ⁷ 7s ²	110 darmstadtium Ds 271 5f ¹⁴ 6d ⁸ 7s ²	111 roentgenium Rg 272 5f ¹⁴ 6d ⁹ 7s ²	112 copernicium Cn 285 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	113 nihonium Nh 286 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	114 flerovium Fl 289 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	115 moscovium Mc 290 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	116 livermorium Lv 293 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	117 tennessine Ts 294 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²	118 oganesson Og 294 5f ¹⁴ 6d ¹⁰ 7s ²
---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	---	---	--	---	--	--	--	---	--	---	--	---	---	--	---	--	---	---	---	--	--	--	--	--	---	--	--	---	--	---	--	--	---	---	---	---	--	---	--	--	---	--	---	---	---	--	--	---	--	--	---	--	--	--	--	---	---	--	---	--	--	--	--	--	---	--	--	---	---	---	--	---	--	--	--	--	---	--	--	--	---	--	--	---	---	---	--	---	--	--	---	---	--	--	---	---	--	---	---	--	--	---	--	---	--	--	--	---	--

* Lanthanide series

† Actinide series

Ill. 44. Det periodiske system. Fra Rohlf, 1994.

Fra data til fænomen

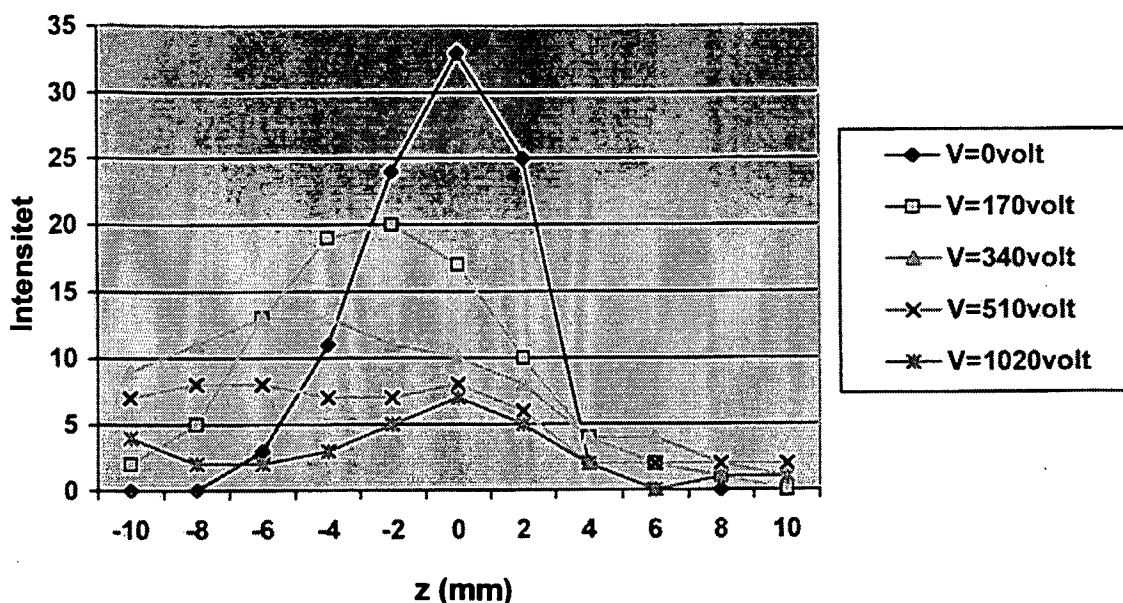
I Ill. 45 har vi på tabelform typiske forsøgsdata fra et eksperiment hvor ladningsfordelingen af partiklerne i en partikelstråle undersøges. Med et spændingspotential på tværs af strålen er det muligt at sprede partiklerne så de positive afbøjes mod venstre ($z < 0\text{mm}$) og de negative mod højre ($z > 0\text{mm}$). Men selvom vi i tabellen udmærket kan se at der sker noget, når afbøjningspotentialet ændres, er det svært at overskue. Meget nemmere bliver det når vi fremstiller data i en *graf*, dvs. som kurver i et koordinatsystem som i Ill. 46. Pludselig kan vi se hvordan partikelstrålen hovedsageligt består af positivt ladede partikler, og hvordan fx en fordobling af afbøjningspotentialet fordobler forskydningen af strålens maksimale intensitet. Samtidig er det tydeligt at der selv ved høje potentialer stadig er en del af strålen centreret omkring $z = 0\text{mm}$, og vi må derfor gætte på at det er elektrisk neutrale partikler, som jo ikke påvirkes af spændingspotentialet.

z (mm)	V=0volt	V=170volt	V=340volt	V=510volt	V=1020volt
10	0	0	1	2	1
8	0	1	2	2	1
6	0	2	4	2	0
4	2	4	4	2	2
2	25	10	8	6	5
0	33	17	10	8	7
-2	24	20	11	7	5
-4	11	19	13	7	3
-6	3	13	13	8	2
-8	0	5	11	8	2
-10	0	2	9	7	4

Ill. 45. Tabel over typiske forsøgsdata fra Horst, 1997.⁵⁶ Tallene stammer fra forsøg med en partikelstråle med centrum i $z=0\text{mm}$ som indeholder både elektrisk ladede og neutrale partikler. Ved at påsætte en potentialforskel V på tværs af partikelstrålen vil de ladede partikler afbøjes. Men hvor tydeligt er det i tabellen i forhold til den følgende graf?

Hvor vi kunne bruge tabellen til at organisere data og få øje på huller i dem, kan en graf *postulere* sammenhænge. Jeg skriver med vilje *postulere*, for der er jo netop tale om et postulat da grafen ikke i sig selv er noget bevis, men kun en antydning af hvad sammenhængen kan være. Og det er jo velkendt af man ved at ændre på udseendet af en graf kan synliggøre eller usynliggøre bestemte aspekter af data. For eksempel ville en mere fladtrykt udgave af Ill. 46 skjule de små ændringer af intensiteterne

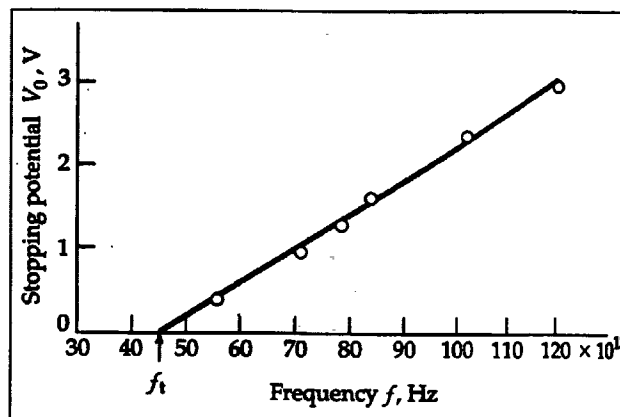
⁵⁶ Jeg har valgt at bruge egne forsøgsdata til at demonstrere forskel på tabel og graf fordi de undersøgte lærebøger ikke indeholder gode eksempler der både har data i tabel og graf. Samtidig var det i dette projekt netop transformeringen fra tabel til graf der gav de første spor til en forklaring af de observerede fænomener.



Ill. 46. Graf over data fra Ill. 45. Her bliver det tydeligt at en stor del af partiklerne er ladede fordi spændingspotentialet V kan sprede partikelstrålen fra en bredde på omkring 10mm til at de ladede partikler forsvinder ud af målevinduet ($-10\text{mm} \leq z \leq 10\text{mm}$) ved afbøjningspotentialer fra 510volt og opad.

Når vi konstruerer en graf ved at indsætte data bestående af to koordinater og ved at trække linjer mellem punkterne, konstruerer vi et fænomen. Det der før var enkelte data, bliver nu transformeret til en helhed, hvor kurvens form kan bedømmes: Er den en ret linje, en hyperbel, en parabel, eksponentielt stigende, osv. Man kan selvfølgelig nå frem til samme resultater som grafen viser, blot ved at studere tabelværdierne for sig selv grundigt nok, men det interessante er at hvor dette kræver en – i hvert fald for den utrænede – krævende kognitiv proces når kun tabellen er til rådighed, så gør grafen det grove arbejde og sætter os i stand til at nå frem til en tolkning af data nærmest intuitivt. Det har ingen betydning at vi til rådighed kun har diskrete data, dvs. at der er (store) kvantitative spring mellem datapunkterne som i Ill. 46, for øjet er fantastisk til at genkende prægnante former som de mest brugte matematiske kurver jo hurtigt bliver i løbet af et fysikstudium. Man kan se rette linjer eller parabler i selv de mest ujævne data, men nogle gange er en linje så tydelig at vi slet ikke overvejer den – som i Ill. 47 der i lignende udgaver optræder i utrolig mange lærebøger som eksempel på at netop flid og grundighed i laboratoriet kan "eftervise" teoretiske forudsigelser.

Ill. 47. Data fra Millikans berømte påvisning af Einsteins ligning for den fotoelektriske effekt, som næsten alle – også ellers ahistoriske – lærebøger har med. Når stoppotentialet V_0 vises som funktion af lysfrekvensen f , ligger data på en ret linje med hældningen h/e , i overensstemmelse med ligningen $eV_0 = hf - \phi$. Her fra Tipler, 1991, s. 1150.



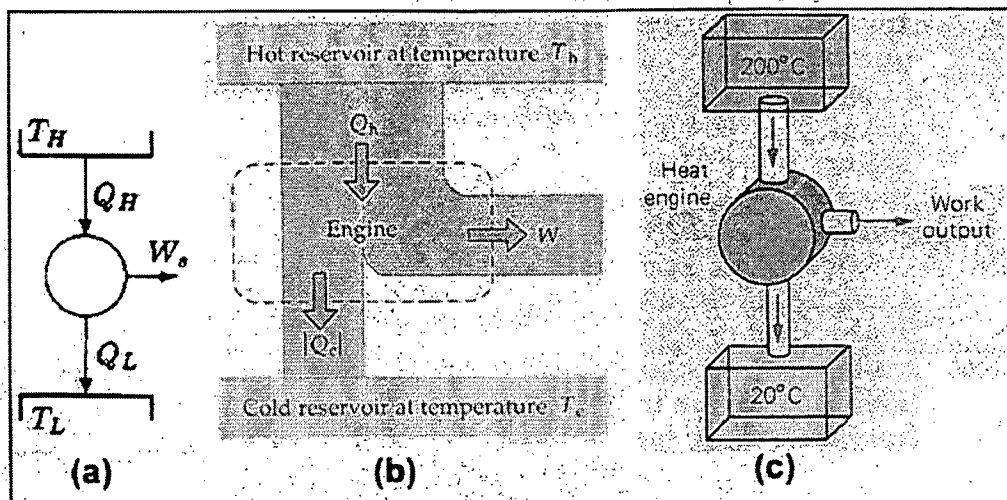
Eksemplet er Millikans resultater for den fotoelektriske effekt fra 1916 der med stor entydighed viste en lineær sammenhæng mellem stoppotentialet V_0 og frekvensen f af det indkomne lys, og at hældningen af en graf som Ill. 47 ud fra kendskab til elektronens ladning e kunne bruges til at udregne Plancks konstant h – en sammenhæng som Einstein allerede forudsagde i 1905. Denne historie bruges ofte i lærebøger som eksempel på det effektive samspil mellem teoretiske overvejelser og præcise eksperimenter, men den kunne lige så godt bruges som det modsatte.⁵⁷ Selvom Millikan i 1914-16 påviste den lineære sammenhæng, medførte det ikke umiddelbart at Einsteins argumentation for at nå frem til den blev accepteret af det videnskabelige samfund. Den almene accept kom først i 1924 med forklaringen på Compton-effekten.

Men hvad er en graf egentlig? Under afsnittet om tabeller ovenfor skrev jeg at en tabel er et net hvor hvert felt har et indhold (og hvis der ikke er noget indhold, er der noget at forske i...). I grafen er der ikke blot indhold de steder der er afsat datapunkter som i Ill. 47, for i og med at vi trækker en linje gennem datapunkterne, fastlægger vi også samhørende værdier for hele linjen. Det der før blot var 6 samhørende værdier af stoppotentialet og lysfrekvensen, bliver nu til et fænomen hvor der til en hvilken som helst værdi for stoppotentialet svarer én og kun én frekvens af lyset. At indsætte de 6 punkter i et koordinatsystem er at organisere data, men at trække en linje i gennem dem er at *fortolke* dem ved at knytte dem sammen til et fænomen. Grafen adskiller sig også fra tabellen ved at vi i billedfladen kan foretage en uendelig interpolation, dvs. vi kan blive ved med at forstørre og derved synliggøre nye værdier, eller rettere mindre intervaller i koordinatsystemet. I modsætning til tabeller som er diskontinuerte, er koordinatsystemer derfor kontinuerte, hvilket betyder at også "det tomme rum" har betydning. At et koordinatsystem er kontinuert, udelukker dog ikke at vi kan fremstille diskontinuerte data i det.

⁵⁷ Se Kragh, 1992 for en grundig diskussion af de videnskabshistoriske erfaringer vi kan drage af denne case.

Sekvens og mønster

Som vi så med Carnot-processen, kan en graf udmærket levere en beskrivelse af en proces, men vi har også andre illustrationer der anskueliggør processer. Et typisk eksempel i fysikken er Ill. 48 hvor vi på skematisk vis får fortalt hvordan vi kan vise et termodynamisk system som fx en varmekraftmaskine.



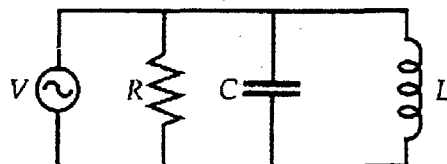
Ill. 48. Forskellige udgaver af et procesdiagram over et termodynamisk system. Fra henholdsvis (a) Both & Christiansen, 1990, s. 7-3, (b) Tipler, 1991, s. 567, og (c) Krauskopf & Beiser, 1997, s. 118.

I diagram (a) er cirklen i midten selve maskinen der modtager en varmemængde Q_H fra reservoiret med temperaturen T_H , udfører et arbejde W_s og afleverer en varmemængde Q_L til reservoiret med temperaturen T_L der er mindre end T_H . Pilene angiver altså hvilken vej der udveksles energi, mens de to åbne "kar" angiver i princippet ubegrænsede varmereservoirs. Denne fremstilling er enkel og derfor overskuelig at huske og nem at reproducere. Hvor dette diagram tager udgangspunkt i de tre dele i systemet, maskinen og de to reservoirs, tager diagram (b) udgangspunkt i systemets energibevarelse hvor summen af det udførte arbejde og varmemængden leveret til det kolde reservoir er lig med varmemængden fra det varme reservoir: Det brede bånd fra det varme reservoir spaltes op i to. Til gengæld er selve maskinen kun angivet med en stiplede streg, og diagrammet fortæller derfor mere om processen end om de objekter der indgår i den.

Det sidste diagram i Ill. 48, diagram (c), er i princippet magen til diagram (a), men her er objekterne tegnet som rumlige former, og samtidig er situationen konkretiseret ved at de to reservoirs har fået påsat en bestemt temperatur. Jeg har svært ved at se at illustrationen bliver bedre ved at objekterne bliver pseudo-realistiske på denne måde. Diagram (c) er og bliver en skematisk fremstilling af en proces, og så kan man lige så godt understrege det skematiske som i diagram (a). Samtidig mister man muligheden for på intuitiv vis at lade diagrammet illustrere sammenhængen mellem de tre energistrømme som i diagram (b), fordi man ved at lave kanalerne til "rør" ikke mere kan addere de to mindre diametre og få den store fra det varme reservoir – det skal i stedet være de to rørs tværsnitsarealer.

Selvom vi i Ill. 48 har at gøre med et simpelt diagram, er der altså forskellige måder at visualisere på som hver især har betydning for hvad man kan bruge diagrammet til. Men ikke alle diagrammer har en sådan valgfrihed. I en anden typisk diagramtype i fysikken, det elektriske kredsløbsdiagram, følges der som regel forholdsvis faste regler. Her har de enkelte objekter, dvs. de elektriske komponenter, hvert deres symbol, og disse symboler er forbundet med linjer der symboliserer elektriske ledninger som i Ill. 49. I denne fremstilling er det forbindelsen mellem symbolerne der har betydning. Komponenternes egenskaber kender vi enkeltvis, så sammenstillingen fortæller os ikke noget nyt om det enkelte objekt. Rummet imellem objekterne har heller ingen betydning – vi kan betragte billedfladen som transparent i modsætning til de førnævnte grafer hvor billedfladen har substans i sig selv.

Ill. 49. Elektrisk kredsløbsdiagram over en parallel LCR-kreds. Fra Tipler, s.919.



Elektriske diagrammer er desuden absolut 2-dimensionale: Der vil aldrig være elementer som overlapper hinanden, og hvis ledninger krydser hinanden, er de altid forbundne – medmindre den ene ledning laver en bue hvilket jo betyder at den "går oven over" den anden. Dette trick minder om hvordan man i virkeligheden ville lade en ledning krydse en anden ledning, men selvom dette og de fleste elektriske symboler på denne måde kan siges at ligne virkeligheden, kan de ikke betragtes som realobjekter som i figurerne. Selvom modstanden markeret med et R i Ill. 49 synes at ligne noget det er svært for strømmen at komme igennem, har det ingen betydning for den måde vi skal forstå symbolet på, men kun for den måde vi husker det på. En modstand kunne lige så vel være repræsenteret med en firkant – hvad den da også ofte er. De elektriske symbolers udseende skyldes konventioner der er udviklet gennem historien, og de ikoniske kvaliteter der i dag er til stede i dem, har kun mnemoteknisk betydning på en måde der minder om det ikoniske i piktogrammer. Dette gælder også andre diagrammer der benytter ikoniske ligheder mellem objekterne og det de repræsenterer.

Det betyder at vi udmærket kan stille spørgsmål til om de nu også har et fornuftigt udseende. For eksempel kunne man overveje hvad det betyder at spolen markeret med et L i Ill. 49 har stor lighed med en fjeder – den elektriske analogi til en fjeder er jo en kapacitor (hvor fjederkonstanten k svarer til kapacitansen C), mens spolens mekaniske analogi er en partikel (hvor selvinduktionen L svarer til massen M). Dette understreger fornuften i at betragte de elektriske symboler som konventionelle symboler. Samtidig er det ofte nødvendigt at opfatte de enkelte symboler som udtryk for bestemte *egenskaber* for kredsløbet: R-symbolet står ofte for kredsløbets samlede modstand, dvs. inklusiv modstanden i ledninger og de andre komponenter – i Ill. 49 er det dog kun modstanden i den pågældende gren. Men symbolerne henviser altså snarere til ideale komponenter end til virkelige komponenter.

Hvordan kan vi egentlig skabe mening i disse strukturer? Her kan vi bruge en skelnen mellem to forskellige hjerneprocesser:⁵⁸

1. *Successive* processer, hvor man skaber mening ud fra det foregående og det følgende element, men ikke behøver information om hele strukturen. Når man følger en algoritme foregår det hovedsageligt som en successiv proces.
2. *Simultane* processer, hvor mange informationer overskues samtidigt og netop derved danner mening. Det kender vi fra billedgenkendelse hvor det er helheden vi først og fremmest genkender ud fra.

De to processer skal ikke forstås således at man i alle situationer enten benytter den ene eller den anden, men som en måde at skelne mellem forskellige strategier for at udføre en bestemt opgave. Som eksempel kan vi se på kopiering af et objekt hvor man kan vælge at kopiere linje for linje og punkt for punkt, hvilket er en successiv proces. Eller man kan kode objektet som fx "firkant", "kvadrat", "Dannebrog", "bil", osv. og så tegne ud fra en sådan kode, hvilket er en simultan proces. For dette eksempel har det vist sig at den første strategi bliver mindre og mindre succesrig, jo mere indviklet objektet er.⁵⁹

Skelnen mellem successive og simultane processer kan bruges til at diskutere hvordan diagrammets elementer og relationerne i mellem dem danner visuelle argumenter ved hjælp af henholdsvis *sekvens* og *mønster*.⁶⁰ Sekvens handler om at det enkelte element danner mening i forhold til elementer der i en række er umiddelbart før og efter. Mønster handler om at elementer på billedfladen danner et mønster hvor "helheden er mere end summen af elementerne". I en graf er fremstillingen af kontinuerte variable altid sekventiel – hele definitionen af en kontinuert kurve hænger jo på sammenhængen mellem den aktuelle værdi og de foregående og de følgende. Det vil sige at konstruktionen af en graf bygger på en sekventiel proces. Men aflæsningen af den foregår netop som simultan proces, forstået på den måde at det er kurvens form eller mønster vi forholder os til og tolker, mere end det er det enkelte punkt i planen. Det simultane består altså i at overskue hele billedfladen og skabe mening ud fra det mønster vi iagttager.

Procesdiagrammerne i Ill. 48 over et termodynamisk system fungerer hovedsageligt ud fra mønster fordi det er helheden og samspillet mellem de indgående objekter der er afgørende, mens det ikke betyder så meget hvilket objekt vi først tager fat i hvis vi skal beskrive systemet. Det elektriske kredsløbsdiagram derimod giver mening både ud fra sekvens og mønster. I eksemplet i Ill. 49 kan vi følge rækken af elementer, hvilket vi ville gøre hvis vi fx selv skulle samle et tilsvarende kredsløb. Men vi kan også se på diagrammet som et mønster for at blive klogere på kredsløbets opførsel som helhed, hvilket vi fx kender fra udregningen af maskestrømme.

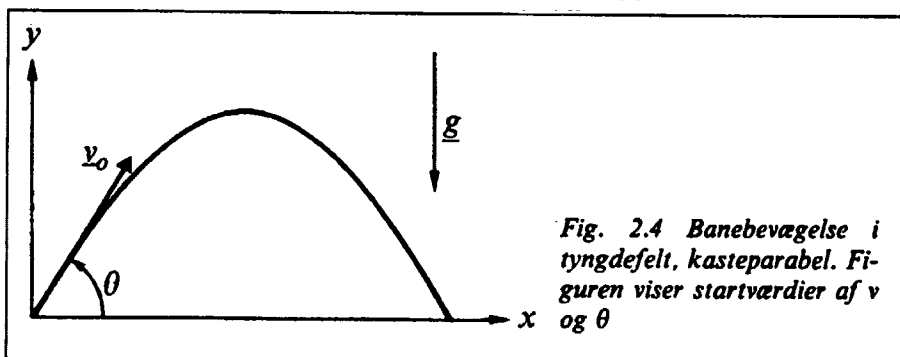
Opdelingen i sekvens og mønster kan vi bruge til at konstruere diagrammer mest hensigtsmæssigt ud fra overvejelser om hvad vi ønsker at formidle via diagrammet. Det er

⁵⁸ Das mfl., 1979.

⁵⁹ Das mfl., 1979, s. 52.

⁶⁰ Betegnelserne har jeg fra Winn, 1987, hvor de kaldes "Sequence" og "Pattern".

nemlig ikke altid muligt at kombinere sekvens og mønster så ukompliceret som i det elektriske kredsløbsdiagram. Fx kan man forsøge at understøtte mønsteret i en graf ved at tilføje en tredje dimension som bruges til at give kurverne dybde. Men dette vil "skygge" for aflæsningen af nøjagtige værdier på de bagvedliggende kurver. Forsøget på at tydeliggøre mønsteret gør altså sekvensaflæsningen mere usikker. Dette kan dog også være en pointe i den kvalitative graf (se Ill. 50), som ikke har kvantitative inddelinger på akserne. Her er det kun muligt at aflæse mønsteret, og det er jo en bedre fremstillingsform hvis intentionen med illustrationen netop kun er at anskueliggøre kvalitative sammenhæng.



Ill. 50. I den kvalitative graf kan vi ikke aflæse nøjagtige værdier, men iagttage et mønster, her af en kasteparabel. Fra Christiansen mfl., 1987, s. 2-5.

Et andet betydende aspekt er det faktum at vi pga. af vores tekstlæseretning typisk starter med at se på en illustration i øvre venstre hjørne og slutter i nedre højre hjørne.⁶¹ Dette har stor betydning for diagrammer der skal ses som sekvens, fordi man her må prøve at tilstræbe at indgangen til illustrationen netop er i øvre venstre hjørne. Andre aspekter i konstruktionen af diagrammer er betydningen af fundamentale billedskemaer som jeg beskrev i Kapitel 4 (jf. side 46), hvor de vigtigste er forskellen mellem (a) oppe og nede: objekter i toppen af diagrammet tillægges automatisk højere værdi end dem i bunden, hvilket vi fx ser i at det i Ill. 48 er naturligt at anbringe det varme reservoir oven på det kolde, og (b) tæt på og langt fra: elementer tæt på hinanden er stærkere korrelerede end elementer langt fra hinanden, som vi fx ser det i det periodiske system i Ill. 44. Betydningen af disse billedskemaer skal ikke undervurderes ved udformningen af diagrammer.

Visuelle beviser

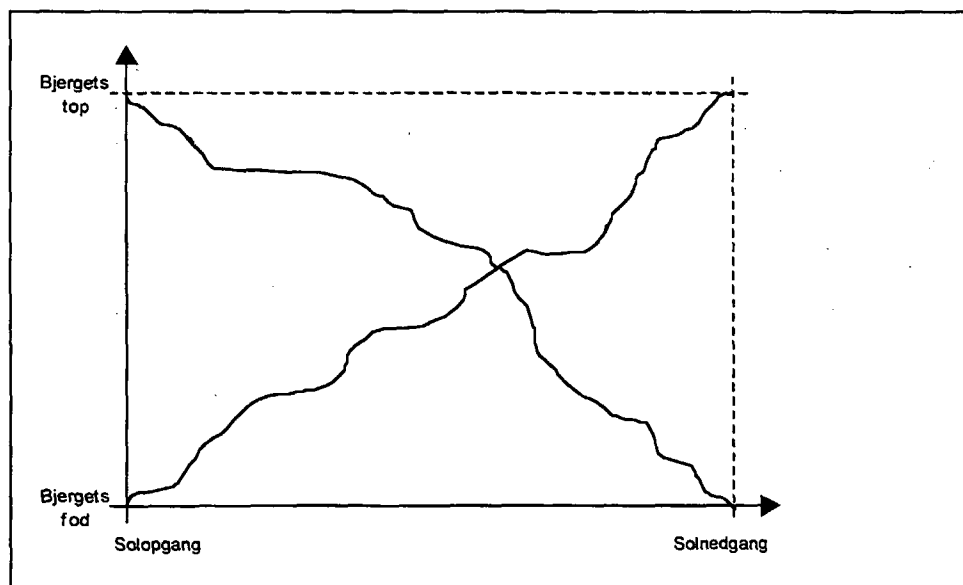
Vi har nu set hvordan vi med diagrammer kan organisere data, så det nemmere kan overskues hvad vi ved og ikke ved. Med bestemte typer diagrammer som fx en graf kan vi også postulere sammenhænge, dvs. vi ved hjælp af diagrammer anskueliggør hvordan vi opfatter sammenhænge mellem fysiske størrelser, som det fx sker i p-V-diagrammet over Carnot-processen, og vi kan fokusere på disse sammenhænge ved at se bort fra alt andet. Hvor retorisk overbevisende et diagram end kan være, må vi huske på at det som regel kun

⁶¹ Dette er bl.a. vist ud fra målinger af øjenbevægelserne hos studerende der så på diagrammer, jf. Winn, 1987 og Winn, 1983.

er en påstand og som for et hvert andet argument, må en påstand både have et gyldigt be- læg og en gyldig hjemmel, for at kunne finde plads i en videnskabelig diskussion.⁶² Belæg og hjemmel hentes som regel i teoretiske og formalistiske udredninger. Men der findes faktisk illustrationer der på en måde fungerer direkte som bevis – i den forstand vi kan tale om beviser i naturvidenskab. Vi kan fx forestille os følgende opgave:⁶³

En munk beslutter sig for at bestige et bjerg fordi der på toppen af bjerget ligger et tempel som han vil bede i. En tidlig morgen ved solopgang begiver munken sig af sted fra bjergets fod, men fordi vejen nogle steder er mere stejl og ufremkommelig end andre steder, og fordi mun- ken må holde pauser ind imellem, stiger han op i et uregelmæssigt tempo. Glad og udmattet når han dog bjergets top og templet om aftenen netop som solen går ned. Efter nogle dage med intensiv beder begiver han sig en morgen ved solopgang af sted nedad bjerget. Igen er det ujævne terræn årsag til et vekslende tempo, og han stopper tillige op indimellem for at nyde udsigten. Han når bjergets fod ved solnedgang, og spørgsmålet er nu om der – uanset munkens uregelmæssige gang – findes ét punkt på stien hvor munken på nedturen er på nøjagtig samme tid af dagen som på opturen?

En første strategi for at løse dette kunne være at forsøge at opstille et udtryk ved hjælp af ligninger, men pga. uregelmæssighederne i munkens tempo er dette formentlig en umulig fremgangsmåde. Langt nemmere er den grafiske strategi der går ud på at tegne to grafer for henholdsvis munkens optur og nedtur i samme koordinatsystem. Hvis vi lader de to linjer starte og slutte til de samme to tidspunkter – begge går jo fra solopgang til solnedgang – må de på ét eller andet sted krydse hinanden, jf. Ill. 51. Vi kan simpelthen "se" at der uanset munkens tempo altid vil være ét sted på turen op og ned ad bjerget som han var på samme tidspunkt.

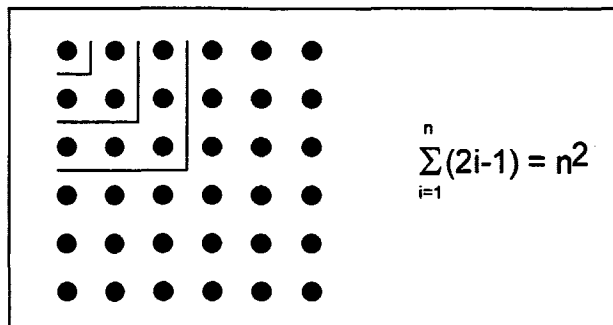


Ill. 51. Den grafiske løsning af munkeopgaven som beskrevet i teksten.

⁶² Min opfattelse af retorik bygger på Perelman & Olbrechts-Tyteca, 1969 og Jørgensen & Onsberg, 1987.

⁶³ Eksemplet har jeg fra Winn, 1987.

Et andet måske lidt mere udspekuleret bevis ser vi i Ill. 52 hvor et diagram argumenterer for gyldigheden af et teorem fra talteorien der siger at summen af en talrække af ulige tal, $1+3+5+\dots+(2n-1)$, er lig med tallet n^2 . Dette teorem har et matematisk standardbevis ved hjælp af induktion som slet ikke benytter sig af grafiske fremstillinger, men ikke desto mindre kan Ill. 52 klare sig alene ud fra simpel baggrundsviden som fx at et kvadrat med siden n har arealet n^2 .



Ill. 52. Illustrationen til venstre fungerer som bevis for teoremet til højre. I dette tilfælde stopper markeringen ved $n=3$, dvs. $(2n-1)=5$.

Der findes flere eksempler på sådanne visuelle beviser,⁶⁴ og det er givetvis muligt at fremstille mange andre. Men hvor fascinerende disse eksempler på visuelle beviser nu engang er, må vi huske at de nok er undtagelsen snarere end reglen hvad angår diagrammer – og i øvrigt illustrationer i det hele taget. Selvom diagrammer på mange måder virker overbevissende og besnærende, må vi fokusere på at deres formål som regel kun er at anskueliggøre vores opfattelse af sammenhænge, og at de sjældent kan tages som argument i en diskussion.

Diagrammet som sprog

Med de foregående eksempler på diagrammer har jeg ønsket at vise den mangfoldighed af diagrammer der kan benyttes i fysikken. Jeg kunne have valgt at diskutere andre lige så betydningsfulde diagrammer som fx energiniveaudiagrammer, henfaldskort og fasediagrammer, men forhåbentlig er det allerede nu tydeligt at mulighederne for formidling via diagrammer er utallige pga. de minimale begrænsninger der *á priori* ligger i de grafiske udtryk som et diagram kan benytte sig af. Her kan vi sammenligne med de utallige muligheder som skriftsproget giver os – og dér er vi oven i købet begrænset af "kun" 28 bogstaver. Alligevel kan vi sammensætte bogstaverne til i princippet uendeligt mange ord der kan danne uendeligt mange udsagn. Men ligesom vi i sproget klarer os fint, ja, måske bedre, med et meget begrænset antal, anvender vi egentlig også meget få grafiske udtryksmidler i diagrammer i fysikken. Denne analogi mellem sprog og diagrammer skal dog ikke tages for direkte, som Gunther Kress og Theo van Leeuwen også påpeger i deres bog *Reading Images*:

"The analogy with language does not imply, however, that visual structures are like linguistic structures... Visual structures realize meanings as linguistic structures do also, and thereby point to different interpretations of experience and different forms of social interaction... [S]ome things can be 'said' only visually, others only verbally. But even when something can be 'said' both visually and verbally the way in which it will be said is different."⁶⁵

⁶⁴ Se Brown, 1996, hvor også dette eksempel stammer fra.

⁶⁵ Kress & van Leeuwen, 1996, s. 2.

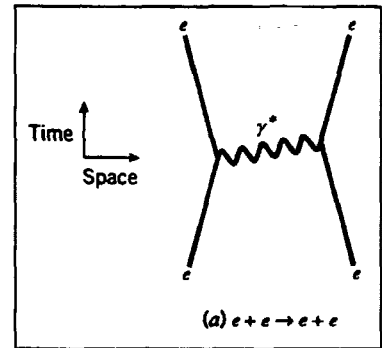
Deres bog leverer et meget grundigt forsøg på at opstille en "grammatik" for visuel kommunikation ud fra et imponerende materiale af billedkunst, reklamer, børnetegninger, lærebogsillustrationer og tredimensionale genstande som legetøj og skulpturer. Heraf fremkommer der mange ligheder mellem sprog og visuel kommunikation, men også en hel del væsentlige forskelle. I sproget vælges ud fra fx ordklasser og semantiske strukturer, mens der i visuel kommunikation vælges ud fra variable som komposition, synsvinkel, farve, perspektiv og objekternes visuelle karaktertræk. Jeg er ikke blevet overbevist om anvendeligheden i en så generel tilgang til analyse af visuel kommunikation, og har derfor ikke ønsket at inddrage bogens ellers meget systematiske terminologi i videre omfang.

Som dette kapitel bærer præg af, har jeg ikke forsøgt at systematisere de forskellige diagrammer og deres indhold på samme måde som det skete i kapitlet om figurer. En systematisering af fysikkens diagrammer er formentlig mulig, men for mig at se ikke et mål i sig selv. Når det er fornuftigt for figureerne, skyldes det at der ved konstruktionen af en figur som jeg har defineret den, ligger et vigtigt begrænsende aspekt, nemlig det at de geometriske forhold på billedfladen skal svare til forholdene i en virkelig situation. Denne begrænsning har den visuelle udtryksform jeg kalder diagram ikke, og man kunne derfor betragte illustrationstypen figur som en delmængde af diagramtypen. Dette vil svare til skriftsproget hvor der eksisterer genrestile som fx lyrik og drama med mere eller mindre faste spilleregler. Eller vi kunne sammenligne med sproglige discipliner i fysikken hvor fx en forsøgsbeskrivelse bør leve op til kriterier om kronologi og relevans, dvs. at beskrivelsen følger forsøgets gennemførelse kronologisk og kun medtager aspekter der er relevante for forsøget.

Man kunne påstå at det er at vende tingene på hovedet at sige at figurer er en delmængde af diagrammerne. Der kunne formentlig argumenteres overbevisende for at den mest grundlæggende måde at tegne eller på anden måde visualisere på er at benytte billedfladen i overensstemmelse med målforhold i virkeligheden, og at andre måder er abstraheret herudfra. Men her kan vi igen sammenligne med skriftsproget hvor den mest naturlige måde at bruge sproget på vel er ved kommunikation om konkrete emner der direkte handler om virkeligheden, fx i form af beskrivelser. Men skriftsproget kan jo også bruges til abstrakte udredninger hvor ordene ikke svarer til virkelige genstande, og en generel beskrivelse af sprog ville derfor ikke betinge sig at ord og udsagn absolut skal kunne overføres på virkelige genstande og situationer. Jeg vil dog holde fast i at betragte de to typer, figur og diagram, på samme niveau, da det især i undervisningssammenhænge virker upraktisk at tale om at figurer grundlæggende også er diagrammer. Min vigtigste pointe er netop at adskille figurer og diagrammer for at synliggøre forskellen mellem dem. At der så eksisterer grænsetilfælde som fx diagrammer der i høj grad benytter sig af ikoniske træk, eller figurer hvor objekterne er abstrakte i en sådan grad at det er svært at tale om ikonisk ligheder med virkeligheden, er muligvis en svaghed ved taksonomien. Men det er under alle omstændigheder en grund til at opfatte taksonomien pragmatisk og ikke som udtryk for leksikalske definitioner.

Et godt eksempel til at konkretisere forskellen mellem figur og diagram i praksis, er Feynman-diagrammer. Det er en praktisk visuel repræsentation af partikelvekselvirkninger som

Richard Feynman skabte da han i 1940'erne arbejdede med kvanteelektrodynamik, for at holde styr på de enorme regnestykker man ofte kommer ud for. Disse diagrammer kaldes ofte rum-tids-diagrammer fordi tid og rum afbildes ud af hver sin akse som i Ill. 53, hvor den elektromagnetiske vekselvirkning mellem to elektroner sker ved udvekslingen af en såkaldt virtuel foton (virtuel fordi den er bundet til elektronernes vekselvirkning).



Ill. 53. Feynman-diagram for elektronspredning. Fra Rohlf, 1994, s. 23.

Ofte kan en overgang fra én kvantetilstand til en anden ske på mere end en enkelt måde, og for at holde styr på alle disse måder kan man konstruere et Feynman-diagram for hver mulig overgang hvortil der så hører bestemte matematiske udtryk. Opgaven går så ud på at beregne den samlede sandsynlighed for en kvanteovergang ved at udregne sandsynlighederne for hvert diagram (eller måske blot de vigtigste af dem). Hvad fortæller det os om disse diagrammer? De er på ingen måde billeder af virkelige fysiske processer, og de er derfor netop diagrammer fremfor figurer. Hvert diagram repræsenterer sandsynligheder og har intet at gøre med virkelige partikelbaner, som fysikeren James Robert Brown påpeger:

"The argument for this is very simple. In quantum mechanics (as normally understood), the Heisenberg uncertainty relations imply that no particle could have a position and a momentum simultaneously, which means there are no such things as trajectories, paths, through space-time. So the lines in a Feynman diagram cannot be representations of particles and their actual paths through space-time.

So what, then, is being visualized? I think the answer is simply this: Feynman diagrams are geometric representations of probability functions."⁶⁶

Feynman-diagrammer viser det væsentlige i at skelne mellem illustrationer hvor billedfladens geometriske forhold svarer til forholdene i den virkelige verden, og illustrationer hvor man ikke kan danne denne kobling. Og nu er vi tilbage ved den indledende illustration i Kapitel 2 på side 13: Den visuelle repræsentation af Bohrs atommodel er netop et diagram og bør opfattes i forhold til hvad det indebærer. Illustrationen er ikke en afbildning af de geometriske forhold i et brintatom, men en praktisk skematisk repræsentation af afgørende forhold for elektronens tilstande. At man ved en beregning med den klassiske fysiks formler af radius for den inderste elektronbane i Bohrs atommodel får den mest sandsynlige afstand mellem proton og elektron, fortæller os ikke at diagrammet ligner et atoms geometriske opbygning, men bør først og fremmest bruges til at diskutere den historiske udvikling af teorien.

Diagrammet af atommodellen kan ligesom så mange andre diagrammer bruges til at holde styr på komplicerede forhold netop især i kraft af evnen til at fastholde et mønster. Diagrammet giver nemlig mulighed for som beskrevet side 75 både simultane og successive

⁶⁶ Brown, 1996, s. 265f.

tankeprocesser, hvor skriftsproget hovedsageligt indbyder til successive tankeprocesser: Bestemte rækkefølger af bogstaver skaber ord, og bestemte rækkefølger af ord skaber ud-sagn. Simultane overvejelser over sammenhæng og relationer sker ikke direkte ved at studere teksten, men ved kognitive processer i hjernen der er forholdsvis uafhængige af teksten. Efter at vi i de sidste tre kapitler har beskæftiget os med forskellige typer af illustrationer og deres funktioner og virkemidler, skal vi i næste kapitel se nærmere på illustrationernes forhold til netop disse tekster som de optræder i fysikkens lærebøger.

Kapitel 6

Formler, tekst og kontekst

Vi skal i dette kapitel undersøge hvordan illustrationer i fysikken spiller sammen med andre dele af fysikfaglige tekster, og hvilken rolle illustrationer kan spille i en undervisningskontekst. Men først en opsummering af de tre typer af illustrationer jeg har beskæftiget mig med.

Fotografiet er kendetegnet ved at være den illustrationstype hvor konnotationen i billedet er tydeligst. Men jeg vil dog stadig hævde at fotografier brugt i fysikken som regel er valgt ud fra deres denoterede meddelelse, hvilket betyder at den konnoterede meddelelse muligvis ikke tages alvorligt. Men her er pointen at blot fordi den fra afsenderside ikke tillægges vægt, så forsvinder den ikke ved modtagerens aflæsning af billedet. Fotografiets funktion er ofte en *tiltrækkende* funktion hvor scenen for behandlingen af et fænomen bliver sat, men ofte er der også noget *ekspressivt* i fotografiet, fx når det drejer sig om fotografier med en høj grad af aktivitet og bevægelse. Disse funktioner skal ikke undervurderes, men i en faglig kontekst er fotografiske forsøg på at *beskrive* fænomener ved at skildre bevægelse, fastholde flygtige fænomener eller gøre det usynlige synligt nok mere interessante og formentlig uundværlige i undervisning. Der ligger muligvis også et stort potentiale i at udvikle brugen af sådanne fotografier der primært er konstrueret til at indgå i en formidlingsmæssig kontekst.

De illustrationer som jeg med en samlet betegnelse kalder *figurer*, er meget forskellige, men de har alligevel flere fælles træk. En figurs udgangspunkt er fundamentalt set overensstemmelsen mellem brugen af billedfladen og de geometriske forhold i den virkelighed som figuren afspejler eller tager sit afsæt i. Det samme gælder de fleste objekter der indgår i figuren, nemlig både realobjekter og modelobjekter. Begge typer fungerer i kraft af deres ikoniske ligheder: de første som repræsentationer af virkelige genstande, og de sidste som repræsentationer af bestemte egenskaber hos genstande. Men der findes også objekter i figurer hvor udseendet spiller en mindre rolle. Det gælder symbolobjekterne hvis principielle kvaliteter fuldstændigt definerer objekternes betydning. Figurer i fysikken spiller oftest rollen at *beskrive* bestemte fænomener, men beskrivelsen foregår på en mere afgrænsende måde end i fotografiet fordi figuren i noget højere grad fastlægger hvad der i situationen har betydning, og hvad der ikke har. Alligevel er der, som vi har set, stadig mange muligheder for at misforstå figurer ved at tillægge betydning til noget der i fysikken er irrelevant. Det gælder nok især når figuren *fortolker* fysikteorien ved hjælp af modelobjekter.

Den sidste type illustrationer er *diagrammerne*, og de er også forskellige i deres opbygning og indhold. Overordnet gælder det at brugen af billedfladen i et diagram ikke nødvendigvis har nogen forbindelse til geometrien af det fænomen eller den proces som diagrammet beskriver. Diagrammet bruger i stedet fladen til at *organisere* data og *påstå* sammenhænge mellem begreber. Friheden til at bruge billedfladen uden overensstemmel-

se med den situation man ønsker at beskrive, giver afsenderen mulighed for kun at afbilde de aspekter der er relevante. Det gør et diagram til en præcis måde at visualisere på, men samtidig nødvendiggør det abstrakte i diagrammer mere grundige forklaringer i teksten – et diagram er sjældent selvindlysende. Når principperne imidlertid først er kendte, er diagrammet en kraftfuld måde at anskueliggøre sammenhænge og processer på. I specielle tilfælde kan diagrammer tilmed fungere som grafiske beviser hvilket viser diagrammets styrke.

Med denne viden om fysikillustrationens udtryksformer, styrker og svagheder kan vi se nærmere på konteksten. For som det før er bemærket, er det kendetegnende for illustrationer i fysikken at de ikke er konstrueret til at kunne stå alene, men altid indgår i en helhed der som regel består af både tekst og formler.

Disciplinens rolle

Jeg har i gennemgangen af de forskellige typer af illustrationer ikke talt om forskellen mellem fysikkens discipliner. En forskel som man med god ret kunne hævde også måtte kunne findes i illustrationerne, når nu den findes i teoribygninger og metoder. Det har jeg undladt fordi der alligevel lader til at være så få kendetegnende træk i fysikkens illustrationer at det er gavnligt at udvikle et analyseapparat under ét. Men når man undersøger illustrationerne og de emner de hører under, er det tydeligt at forskellige fysikemner bruger det visuelle forskelligt – der er meget stor forskel på teoriernes forhold til virkeligheden, og hvor godt virkeligheden i teorierne lader sig afbilde. Nogle emner bruger mange og forskellige figurer, mens andre holder sig til nogenlunde den samme type illustration. Jeg har fundet det hensigtsmæssigt at skelne mellem fem hovedemner i fysikken som hver især benytter sig af illustrationer med bestemte fremstillingsformer, virkemidler eller billedsprog. De fem hovedemner er mekanik, bølgelære, termodynamik, elektricitet og magnetisme samt atomfysik. Der er stor forskel i deres tekstomfang i en typisk universitetsgrundbog, men tillige er der også forskel på den måde de bruger illustrationer. Jeg vil i det følgende diskutere karakteristiske problemer ved illustrationerne i de fem emneområder.

Mekanikken handler om fysiske genstandes bevægelse og ligevægt og beskrivelsen af denne ud fra først og fremmest Newtons love. Mekanikken bruges bl.a. til at beskrive mange dagligdagsfænomener, men også astronomiske fænomener såsom planeternes bevægelser i Solsystemet. Teorierne tager udgangspunkt i verden "som den umiddelbart fremtræder for os", og mange illustrationer er derfor præget af realobjekter. Den typiske illustration er en figur der bruges til at beskrive en bestemt situation mht. hvilke objekter der betragtes, og hvordan de er placeret i forhold til hinanden.

Ofte er forskellige vektorer, dvs. symbolobjekter der repræsenterer hastighed, kraft, acceleration, afstand, osv., tegnet oven på realobjekterne, hvilket giver to abstraktionsniveauer: et realistisk og et symbolsk. Denne mulighed mener jeg er en af illustrationens største styrker, men det er vigtigt at modtageren også kan adskille disse niveauer, og det kan især være svært hvis der anvendes vektorer for flere forskellige begreber. Flere nyere lærebøger anvender farvekoder for vektorerne således at kræfter fx altid er røde, mens hastighe-

der altid er grønne,⁶⁷ og som udgangspunkt må det ses som en god idé at tydeliggøre forskellene mellem objekter der ellers benytter sig af det samme visuelle udtryk. Det kan formentlig gøres udmærket med farver, men det kan også overdrives som fx i Nolan, 1995 hvor der til de første seks kapitler om mekanik defineres og anvendes 25 farvekoder alene for forskellige vektorer – i alt er der gennem bogen mere end 100 farvekoder for forskellige objekter i figurerne. Bogen hævder side 3 at "as a pedagogical aid, color has been extensively used throughout the book." Jeg er ikke blevet overbevist om det pædagogisk rigtige i at anvende så mange forskellige koder, især fordi bogen ikke opererer med over 100 forskellige farver, faktisk er der ikke engang 25, og det betyder at flere farver skifter betydning fra kapitel til kapitel. Samtidig er der flere tilfælde hvor der ikke er overensstemmelse mellem en farve i en figur og den tilhørende farve i farvekoden. Jeg har svært ved at se at en figur bliver lettere at forstå (og huske) fordi man kan slå hvert enkelt objekt op i en liste og så se hvad objektet står for – og det bliver man jo nødt til, for hvem kan huske 25 farvekoder. Hvorfor ikke sigte på at gøre objekters betydning synlig allerede i figuren? Her kan en begrænset brug af farve være nyttig, men den kan lige så godt anvendes til at fokusere opmærksomheden på det vigtigste ved fx kun at lade få objekter være røde og så resten være sort/hvid. På denne måde kan man måske også bedre skelne mellem det realistiske og det symbolske niveau i figurerne, og som jeg nævnte i Kapitel 2, side 22, har dette også vist sig mest effektivt i en læringsituation.

Mekanikken har den umiddelbare fordel fremfor flere andre fysikdiscipliner at den ofte handler om situationer om hvilke modtageren har en vis forhåndsviden fra sit daglige liv. Men som det er påvist flere steder,⁶⁸ er det ikke altid en fordel i forhold til læring fordi denne forhåndsviden ofte er modstridende med den fysiske teori for situationen. Elever og studerende har svært ved at forbinde den fysikvirkelighed der læres i undervisningen med deres egen virkelighed og lader ofte de fysiske begreber blive i undervisningslokalet uden at kunne overføre dem på de situationer de møder i hverdagen. Et forsøg på at smelte disse to "virkeligheder" sammen kan være at fremstille illustrationerne så realistisk som muligt, dvs. med mange detaljer og farver. Men her mener jeg man som formidler gør modtageren en bjørnetjeneste. Som jeg også argumenterede for i Kapitel 2 og 4, er der ingen overbevissende grunde til at vælge detaljerede og farverige illustrationer ud fra overvejelser om perception, hukommelse eller tiltrækning. Tværtimod er der risiko for at den fysikstuderende ikke lærer det uundværlige redskab det er at kunne skitsere en fysisk situation og herved skelne det betydningsfulde fra det ligegyldige.

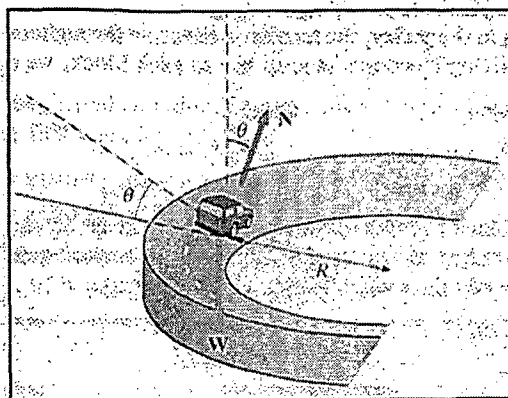
Både figurer og fotografier i mekanikken betragtes typisk med en synsvinkel fra siden eller fra oven. Synsvinklen fra siden har den fordel at op-ned-dikotomien kan udnyttes naturligt med et konservativt kraftfelt – tyngdekraften – pegende nedad. Synsvinklen fra oven har den fordel at man kan overskue en vandret bevægelse i to dimensioner. De to synsvinkler så vi i aktion samtidig i Kapitel 4 på side 39 hvor en godsvogn i kurve var vist både set fra siden og fra oven. Hvis man insisterer, kan man som i Ill. 54 bruge perspektiv

⁶⁷ Se fx Sanny & Moebis, 1996.

⁶⁸ Se fx Gentner & Stevens, 1983 eller Sjøberg, 1992.

til at anskueliggøre alle tre dimensioner i samme tegning, men det burde være indlysende at man herved ikke opnår meget andet end at komplicere situationen.

Ill. 54. Bil i kurve vist i perspektiv. Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 88.



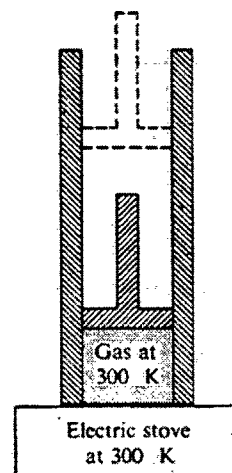
De problemstillinger der angår disciplinen mekanik kan stort set alle overføres til andre discipliner. Så hvis vi går videre og ser på den næste disciplin, *bølgelæren*, som i grundlæggende universitetsfysik omhandler forskellige fænomener der kan beskrives med en bølgemodel, gælder sådan set meget af det samme som i mekanikken. For når en situation med vandbølger, lydbølger eller elektromagnetiske bølger, skal beskrives, visualiseres de fleste objekter som realobjekter. Men den vigtige forskel fremkommer når vi skal beskrive selve bølgen, for den er ikke altid lige til at se i virkeligheden og kan derfor ikke vises med realobjekter. Vandbølger kan vi godt nok se, men det er kun havbølger med lav amplitude hvis form er godt tilnærmet med en sinusform. Denne form – dvs. en sinus- eller cosinus-kurve – er grundlæggende for forståelsen af bølgebeskrivelsen, og i mange illustrationer er det da også en sådan kurve der vises. Det sker i et diagram i form af et koordinatsystem med amplitude op ad y-aksen og enten tiden ud af x-aksen (dvs. amplituden som funktion af tiden for et enkelt punkt i rummet) eller udbredelsesretningen ud ad x-aksen (dvs. et øjebliksbillede af bølgen).

Den sidste måde bruges også i figurer, og her er det underforstået at et koordinatsystem kunne indtegnes og derved angive bølgens amplitude i hvert punkt på billedplanet. Men bølgerne kan også som vi så det i starten af Kapitel 4, vises som cirkler i figurer, hvor hver cirkel refererer til en bølgetop (eller -bund). For bølger der udbreder sig i tre dimensioner er der her tale om at udvælge de i situationen to vigtigste dimensioner, dvs. enten længde og bredde eller længde og højde. Det lettest forståelige er uden tvivl når man bruger længde og bredde fordi det svarer til det velkendte billede af ringe der breder sig i vandet efter at en sten har været kastet i. Men vi er nok mest vant til billeder der har en synsvinkel fra siden, så her må man vælge hvad der er vigtigst i den pågældende situation. Det svære ved at visualisere bølger minder om problemstillingen ved at visualisere bevægelse af væsker og gasser med strømningslinjer. Bølgebegrebet trækker på vores erfaringer med især vandbølger, men adskiller sig også herfra. Hvis man skal forestille sig en bølge, bliver man nødt til at gå ud fra den verden vi kender, fx vandbølger, men det betyder ikke at man skal nedtone de forskelle der er mellem bølgemodellen og så de virkelige bølger.

Den tredje disciplin, *termodynamikken*, beskæftiger sig med omdannelsen af forskellige typer energi til og fra varmeenergi på et makroskopisk niveau. På grundlæggende universitetsniveau indgår som regel også kinetisk gasteori hvor energiomdannelser undersøges på et mikroskopisk niveau. Den klassiske illustration som vi allerede så i aktion i Kapitel 4

består af en beholder med små prikker som partikler indeni og et stempel der kan udføre et arbejde på gaspartiklerne. Oftest anskues dette som i Ill. 55 i tværsnit.

Ill. 55. Et termodynamisk system bestående af en gas i en cylinderbeholder hvis hulrum er afgrænset af et stempel. Fra Sears mfl., 1976, part 1, s. 325.



Nogle gange bruges prikkernes tæthed til at angive tætheden af partikler kvalitativt – et virkemiddel som selvfølgelig bygger på en kraftig overdrivelse, men som ikke desto mindre nok er den lettest forståelige måde at anskueliggøre massetæthed. Denne illustration er et godt eksempel på hvordan fysikken kan arbejde med nogle for så vidt velkendte objekter og både afskrælle og tilføje betydning. Figuren er så anvendelig fordi den netop indeholder de egenskaber der skal anvendes af termodynamikken: Vi har et velafgrænset system (gassen afgrænset af væggene), der både kan udføre et arbejde (ved at ændre stemplets placering) og tilføres/aftappes varme (gennem bunden af beholderen). Men i forhold til en virkelig beholder med et stempel er der også forskelle, fx at væggene i beholderen – i modsætning til bunden – skal betragtes som adiabatiske skillevægge, hvilket her betyder at der ikke kan transporteres varme igennem. Stemplet er desuden et ideelt stempel uden gnidning med væggene. På denne måde er illustrationen måske et grænsetilfælde mellem diagram og figur, fordi den ikke skal forstås konkret: Illustrationen anskueliggør blot nogle bestemte egenskaber ved et system. Og fordi termodynamikken netop handler om disse egenskaber, anvendes illustrationer som Ill. 55 igen og igen i flere forskellige situationer. Jeg vil dog alligevel bruge betegnelsen figur fordi vi ofte møder den i en udformning hvor størrelsen af fx beholderen eller den længde stemplet har flyttet sig, direkte kan måles på illustrationen.

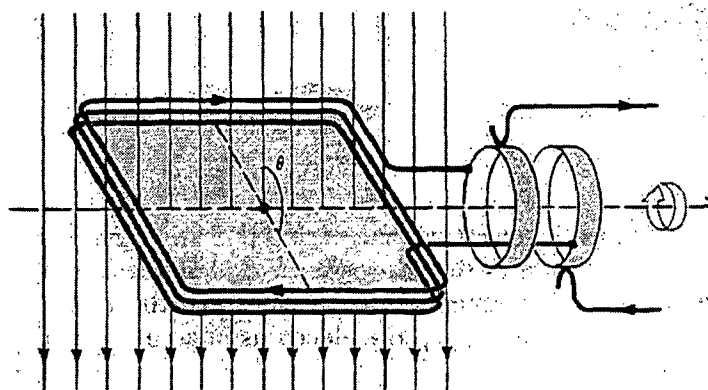
Termodynamikken er en af de discipliner der har færrest illustrationer. En optælling af illustrationerne i Ohanian, 1989 (se Tabel 2) viser at termodynamikken har ca. halvt så mange illustrationer som fx mekanikken. Og kigger man nøjere efter udgør illustrationer af beholder og stempel sammen med diagrammerne som jeg har vist eksempler på i Ill. 48 i Kapitel 5 side 73 samt grafer over tryk, volumen, temperatur osv., faktisk langt hovedparten af illustrationerne i termodynamikken. Men det er jo ikke så mærkeligt når nu disse så udmærket anskueliggør netop det nødvendige til den teoretiske gennemgang, og der er jo ingen grund til gang på gang at gentage den samme illustration. Dog kunne der måske være en pædagogisk pointe i at bruge flere forskellige figurer og for den sags skyld fotografier af systemer og processer som kan beskrives med termodynamik. Disciplinen, der jo har kraftige rødder i praktiske problemer, kunne muligvis blive mere virkelighedsnær hvis den også blev anskueliggjort med andre systemer end ét der har sin oprindelse i dampmaskiner.

Disciplin	Tekstsider	Ill. pr. side (eksl. fotografier)	Fotografier pr. side
Mekanik	333	1,0	0,2
Bølgelære	203	0,8	0,3
Termodynamik	76	0,5	0,1
Elektricitet og magnetisme	302	1,1	0,1
Atomfysik	100	0,4	0,2

Tabel 2. Opgørelse over antallet af illustrationer og særskilt fotografier i lærebogen Ohanian, 1989.

En disciplin hvor illustrationerne bliver mere abstrakte, er *elektricitet og magnetisme*. Her handler det om elektriske ladninger og magnetiske og elektriske felter og hvordan de opfører sig i interaktion med hinanden. I denne disciplin er der ikke meget tilbage i illustrationerne der direkte kan forbindes med virkelige genstande bortset fra elektriske komponenter. Ellers består det mest af geometriske former og pile og streger. Det gør selvfølgelig illustrationerne umiddelbart sværere tilgængelige, men når man først har forstået de typiske objekter så som punktladninger, uendelige plader og feltlinjer, er man til gengæld godt rustet fordi man næsten altid vil kunne finde hoved og hale i selv den mest sjukskede figur. Denne disciplin har dog, lige som andre, sine problemer når man ønsker at skildre rumlige situationer som vist i Ill. 56. Her anskueliggøres en elektromagnetisk generator med så stor grundighed at vi kan fornemme at spolen rent faktisk er i stand til at dreje rundt, og at dette vil ændre vinklen mellem spolen og det ydre magnetiske felt markeret med de lodrette feltlinjer. Problemet er her at dette felt kun er angivet i ét plan gennem generatorens omdrejningsaksel – formentlig for at kunne vise at feltlinjerne går ned gennem spolen og ud på den anden side. Men dermed ændres fluxen – dvs. antallet af feltlinjer – gennem spolen ikke kontinuert, den skifter blot retning for hver halve omdrejning. Illustrationen optræder i lærebogen i et eksempel der netop går ud på at regne på fluxen som funktion af vinklen θ , der altså ifølge illustrationen ikke ændrer størrelse! Her burde afsender nok have valgt at bruge to tegninger i stedet for blot en: Den første set fra siden for at vise generatorens opbygning og placering i forhold til magnetfeltet, og den anden set fra enden hvorved det ville blive tydeligt at fluxen ændrer sig når spolen roterer.

Ill. 56. Et forsøg på at skildre den rumlige struktur i en elektromagnetisk generator. Fra Ohanian, 1989, s. 788.



Selvom illustrationerne i elektricitet og magnetisme er forholdsvis abstrakte, mener jeg det er den disciplin i fysikken der er tættest på en form for standardnomenklatur for hvordan man bruger visuelle udtryk. Selv i en bog som Sanny & Moebis, 1996, der generelt har gjort meget ud af at gøre illustrationerne realistiske i deres fremtoning, ligner figurerne i kapitlerne om elektricitet og magnetisme bemærkelsesværdigt andre bøgers – lige bortset fra at afsenderen fremstiller punktladninger som kugler og anvender forskellige farve på stort set alle objekter. Måske skyldes det at figurer af både geometriske konfigurationer af elektriske ladninger og elektriske kredsløb uden tvivl er den mest klare og effektive måde beskrive disse på. Figurer bruges i stort tal, som det også fremgår af Tabel 2.

Den sidste disciplin, *atomfysik*, er til gengæld det område med færrest illustrationer – i hvert fald i lærebogen Ohanian, 1989. Og det er jo ikke underligt, vil mange nok sige, for atomfysik handler jo om et område som vi ikke har meget direkte sanseerfaring med, så her kan man ikke illustrere med realobjekter. Det er nok rigtigt at alle illustrationer her må bygge på model- og symbolobjekter, men det er efter min mening ikke nogen grund til at undlade at illustrere. Ligesom kvantemekanikken skal fortolkes i dagligsprog, bliver vi også nødt til at forestille os den atomare verden med billeder vi kender. At de som regel er utilstrækkelige og upræcise, er kun et argument for netop at bruge mere tid på disse forestillinger og undersøge som jeg gjorde i slutningen af forrige kapitel, hvad det egentlig er de kan bruges til, og dette vil jeg vende tilbage til i næste kapitel. Samtidig er atomfysikken og kvantemekanikken måske mere afhængige af visuelle materialer end man umiddelbart tror. Tænk blot på fotografier af spektrallinjer som er grundstoffernes visuelle underskrift, eller de allerede i Kapitel 3 omtalte fotografier fra boblekamre.

Samspil mellem tekst og illustration

Som vi har set, er der forskel på hvordan illustrationer optræder i forskellige discipliner, men der er også forskel på den måde illustrationer står i forbindelse med den tekst der altid optræder sammen med illustrationerne. Roland Barthes har som beskrevet i Kapitel 3 på side 28, argumenteret for en teksts to funktioner i forhold til billeder. Den første er forankring som vi kender den fra fx reklamer hvor et overraskende billede ofte er kombineret med en kort tekst som formidler reklamens pointe. Den anden funktion er afløsning som vi typisk kender fra tegneserier hvor tekst og billede bidrager med hver deres del af informationen og derved komplementerer hinanden. Denne funktion findes også i fysiktekster, men normalt kan vi betragte billedteksten til fysikillustrationen som forankringen af billedet. Vi kan sige at billedtekstens primære funktion er at forankre illustrationens denotative mening ved at svare på spørgsmålet "Hvad er det?".

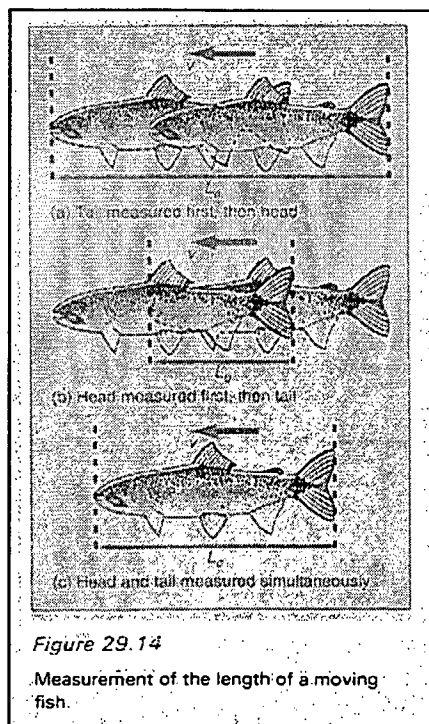
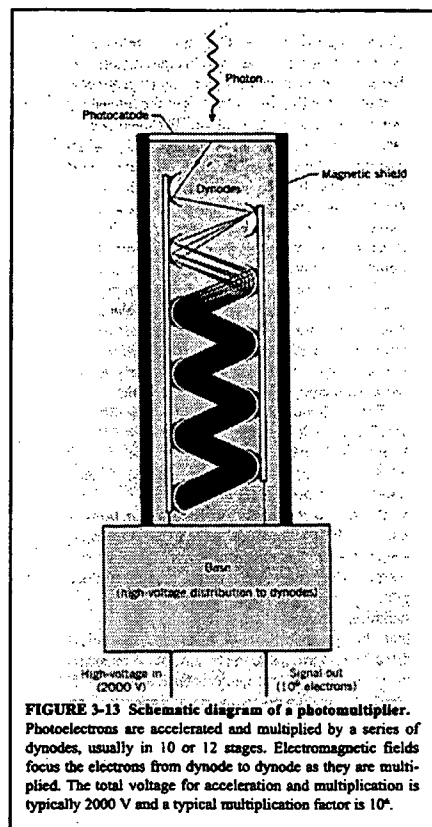
En måde at skelne mellem afløsning og forankring kunne i forbindelse med fysikillustrationer være at en tekst der forankrer, mister sin funktion når illustrationen bliver velkendt. Som i Ill. 57 hvor vi så snart vi kan genkende figuren som en fotomultiplikator og ved hvordan den fungerer, i princippet ikke længere behøver billedteksten. Billedteksten spiller kun en rolle som forankring så længe vi ikke har forhåndsviden om hvad illustrationen illustrerer – når vi har opnået den, behøver vi ikke læse billedteksten. Omvendt forholder

det sig med afløsningsfunktionen, som ikke drejer sig om blot at begrænse den denoterede mening i illustrationen. I Ill. 58 er de tre tekster der står umiddelbart under de tre tegninger af fisk, uundværlige når vi skal skabe mening i illustrationen. Situationen hører hjemme under den *specielle relativitetsteori* og handler om problemet med at måle en genstand der er i bevægelse i forhold til måleapparatet. Selvom vi kan identificere alle objekter der indgår, er teksten nødvendig for at figuren giver mening. Men hvis vi vil blive klogere på samspillet mellem tekst og billede i fysikken, kunne det måske være mere nyttigt at vende situationen om og tale om hvordan illustrationen forankrer eller komplementerer teksten. For der kan vel ikke være tvivl om at indholdet i de fleste lærebøger tager udgangspunkt i lærebogsteksten – ja, måske kan vi sige at der ofte tages udgangspunkt i formlerne. Fysik er jo et fag der er karakteriseret ved at vi ud fra forholdsvis lidt grundviden – dvs. grundlæggende lovmæssigheder og principper – kan nå frem til temmelig nøjagtige forudsigelser.

Ill. 57. Billedteksten forankrer illustrationen af fotomultiplikatoren ved at svare på det fundamentale spørgsmål "Hvad er det?". Fra Rohlf, 1994, s. 80.

Ill. 58. Figur og tekst afløser hinanden ved at formidle information som kun tilsammen skaber mening. Fra Nolan, s. 866.

De lærebøger jeg har undersøgt, synes da også i høj grad at være bygget op omkring de formler man i løbet af teksten skal beskæftige sig med. Det ser ud til at kun når det synes nødvendigt, inddrages illustrationer i fremstillingen. Det kan være hvis en bestemt situation skal beskrives mht. geometri og navngivning af variable, og det sker både i forbindelse med teorigennemgangen, opgaver og gennemregnede eksempler. I disse situationer kan illustrationen siges at afløse teksten fordi den bruges til at formidle information som i princippet kan fortælles med ord, men som mere effektivt kan fortælles med billeder. I andre situationer har illustrationen mere til formål at fastlægge hvad det egentlig er vi beskæftiger os med. For eksempel starter et



kapitel ofte med et fotografi af et centralt fænomen. Det kan være havbølger til et kapitel om bølgefænomener eller det kan være et atomkraftværk til et kapitel om atomfysik som det sker i kapitel 40 i Tipler, 1991.

Men for mig at se findes der også en tredje måde hvorpå samspillet mellem tekst og billede foregår. Eller rettere: En måde hvor illustrationen måske *både* er afløsning og forankring af teksten og faktisk uundværlig for fremstillingen. Jeg vil hævde at der er visse emner i fysikken som umuligt kan formidles uden brug af illustrationer - emner hvor illustration og tekst indgår i et gensidigt afhængighedsforhold, som ikke blot er en arbejdsdeling hvor hver kommunikerer sin del af informationen, men hvor begge forudsætter den anden for overhovedet at give mening. Vi kan kalde et sådant forhold mellem tekst og billede for *symbiose*. Tænk på emner som elektriske og magnetiske felter eller den geometriske optik - kan man overhovedet forestille sig tekster om disse emner uden brug af billeder? Det vil formentlig ikke bare være besværligt, men snarere umuligt. I andre emner som astronomien eller atomfysikken er billeder så afgørende for hvilke fænomener vi taler om, og hvordan forklaringer gives, at det egentlig er en underdrivelse at tale om billederne som illustrationer - de udgør snarere et grundlag for de teoretiske forklaringer.

Det vil nok være at gå for vidt at hævde at Barthes mente at begreberne afløsning og forankring var en fuldstændigt dækkende beskrivelse af forholdet mellem tekst og billede. De skal vel snarere ses som en påpegning af at der er *forskellige* forhold. Med en bred definition på begrebet afløsning kunne dette i princippet også bringes til at inkludere det forhold jeg kalder symbiose, men jeg mener det er fornuftigt at skelne mellem alle tre forhold - forankring, afløsning og symbiose - fordi vi så bedre er i stand til at beskrive hvordan tekst og billeder i en konkret situation forholder sig til hinanden. Jeg mener vi i fysiklærebøger - og formentlig også i andre lærebøger - i højere grad må se forholdet mellem illustration og tekst som symbiotisk, hvilket betyder at illustrationernes primære opgave ikke er at gøre teksten mere indbydende, motivere til forsat læsning eller spare på mængden af ord, men som en formidlingsform der er ligeværdig med både formler og tekst.

Formlers og illustrationers roller i fysiklæring

Netop forholdet mellem billeder og formler, dvs. matematisk formalisme, kan diskuteres yderligere. For der findes jo rent faktisk mange lærebøger med få billeder. Et godt eksempel er Callen, 1985, som ifølge forfatteren er "...now the thermodynamic reference most frequently cited in physics research literature."⁶⁹ Bogen er fattig på billeder, men af mange opfattet som den mest klare fremstilling af termodynamikken, og den bruges bl.a. derfor på overbygningskurset i termodynamik på fysikuddannelsen på RUC. Ligeledes gælder det for mange andre bøger på overbygningsniveau at de er mere koncentrerede og med færre illustrationer end bøger på lavere niveau. Der gælder åbenbart en sammenhæng at jo

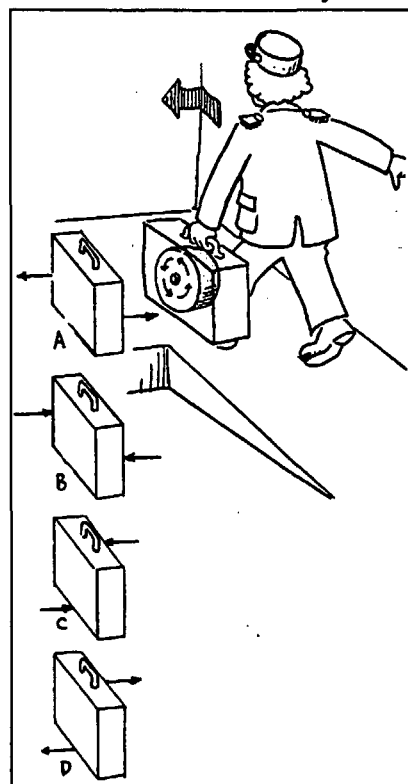
⁶⁹ Callen, 1985, s. vii. Dette er anden udgave af bogen, og citatet omhandler egentlig første udgave fra 1960, men denne udgave indeholder ikke flere illustrationer end anden udgave, så jeg tillader mig at se dem under ét.

højere niveau, jo færre billeder – hvilket dog ikke er underligt, for på overbygningen af en fysikuddannelse er man jo allerede bekendt med mange af omhandlede situationer og modeller. Og som studerende er man som regel i bogstaveligste forstand lettet over ikke at skulle slæbe rundt på de store og rigt illustrerede bøger. Dermed ikke sagt at også illustrationerne på grundlæggende universitetsniveau kan undværes til gengæld for mere matematik. Men der er jo ingen grund til at repetere det velkendte, ligesom man på overbygningsniveau heller ikke bruger meget tid på grundlæggende matematik som vektorregning eller cosinusrelationerne.

Det man på de højere niveauer skal være opmærksom på er at selvom man ikke anvender illustrationer i undervisningen – måske fordi man synes de er for lette at misforstå – så spiller disse illustrationer alligevel en rolle for de studerendes forståelse. For tidligere i deres uddannelse har alle været udsat for dem. Disse billeder som alle fysikstuderende har når de starter på uddannelsen, vil udgøre en del af den viden som den studerende bygger videre på. Det blandt fagdidaktikere i naturvidenskab i øjeblikket mest populære syn på læring – konstruktivismen – tager netop udgangspunkt i at ny viden konstrueres ud fra eksisterende viden, og ikke bare læres uafhængigt.⁷⁰ Når en fysikstuderende skal lære kvantemekanik, sidder modellen af atomet som et mini-planetsystem allerede godt fast i baghovedet, og her er det min tese at det er meget svært at udviske sådan en mental forestilling med ingenting. Man kan i bedste fald slette den ved at erstatte den med en ny forestilling. En lærer kan på samme måde ikke ved at håndhæve et billedforbud på de højeste undervisningsniveauer automatisk slette den billedlige forståelse af atomet som den studerende har opnået tidligere. Men man kan selvfølgelig gøre sit til at disse billeder undertrykkes, så det er matematikken de studerende griber til når de skal forklare en fysisk problemstilling. Her kan det være relevant at overveje hvad matematikken og billeder hver især kan bidrage til i fysikundervisning. Overvej fx følgende opgave:

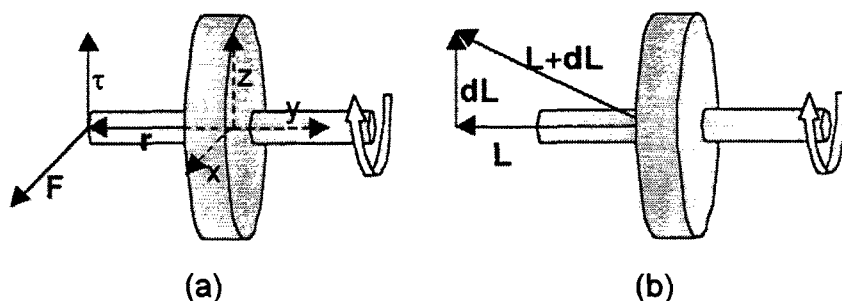
Ifølge en anekdote har en fysiker engang anbragt et stort roterende svinghjul skjult i sin kuffert. Hotelportieren tog kufferten og bar af sted med den. Hvad skete der da han drejede om hjørnet som vist i Ill. 59? Og hvorfor?

Ill. 59. Portier på vej til at dreje til venstre med et roterende svinghjul. Fra Epstein & Hewitt, 1981, s. 115.



⁷⁰ Se Nielsen & Paulsen, 1992 for en god introduktion til konstruktivismen som ramme for læring og undervisning af fysik.

Der findes to meget forskellige måder at besvare denne opgave på. Den første som er den typiske og den de fleste fysikstuderende vil lære, går ud på at tage fat i formlen $d\mathbf{L}=\boldsymbol{\tau}dt$, der forbinder en ændring af impulsmomentet \mathbf{L} (som er en vektor der beskriver rotationens størrelse og omdrejningsretning) med kraftmomentet $\boldsymbol{\tau}$ som også kan skrives som $\boldsymbol{\tau}=\mathbf{r}\times\mathbf{F}$, hvor \mathbf{r} er en positionsvektor gående fra svinghjulets tyngdepunkt ud til angrebspunktet for kraftvektoren \mathbf{F} . Nu går opgaveløsningen blot ud på at fastlægge vektorernes angrebspunkter og retninger rigtigt, for så kan en simpel udregning af formlen for $d\mathbf{L}$ fortælle hvordan kufferten vil vippe til den ene side. Det sker lettest med en illustration som Ill. 60, for selv her er den visuelle fremstilling et nødvendigt "sprog" for en forståelig besvarelse. Når portieren drejer til venstre, påvirkes svinghjulet med en kraft \mathbf{F} i x-aksens retning ved det venstre leje i kufferten, hvilket altså giver en positionsvektor \mathbf{r} i den negative retning af y-aksen, som vist i Ill. 60(a). Det giver jf. krydsproduktet $\mathbf{r}\times\mathbf{F}$ et kraftmoment $\boldsymbol{\tau}$ pegende i z-aksens positive retning. Det indsætter vi i formlen $d\mathbf{L}=\boldsymbol{\tau}dt$, hvilket betyder at impulsmomentet ændres fra at ligge langs y-aksen til at pege skråt opad som vist i Ill. 60(b). Kufferten vil derfor vippe på en sådan måde at bunden fjerner sig fra portieren jf. Ill. 59 D.



Ill. 60. Beskrivelse af situationen med svinghjul i kuffert til den første løsning. Koordinatsystemet med akserne x , y og z har origo i svinghjulets tyngdepunkt.

Denne løsning er en præcis besvarelse af hvad der sker med kufferten, og vi kan – hvis vi er interesserede i det – udregne hvor mange grader kufferten vil vippe hvis vi udover \mathbf{F} og \mathbf{r} også kender dimensioner og vægt af svinghjulet. Men *hvorfor* vipper kufferten? Det giver formlen $d\mathbf{L}=\boldsymbol{\tau}dt$ i sig selv ikke noget svar på. Her kommer den anden måde at besvare opgaven på ind i billedet. Den har jeg fra Epstein & Hewitt, 1981, som ud fra skitserne a-d i Ill. 61 giver følgende besvarelse:

"Gyroscopic motion is quite complicated, but we can simplify it if we picture the spinning flywheel as a round pipe or tire or doughnut in which some heavy liquid is circulating [a]. Next, picture the ring made into a square ring [b]. The liquid circulates by flowing up one side, then horizontally over the top, then vertically down the other side and then horizontally back on the bottom.

Next, picture the "square" flywheel pivoting from position I to position II as the porter goes around the corner [c]. The part of the liquid flowing up and down in the vertical arms of the pipe does not change its direction of flow as the square flywheel or loop pivots from position I to II – the vertical sides remain vertical. But the liquid flowing in the horizontal arms does

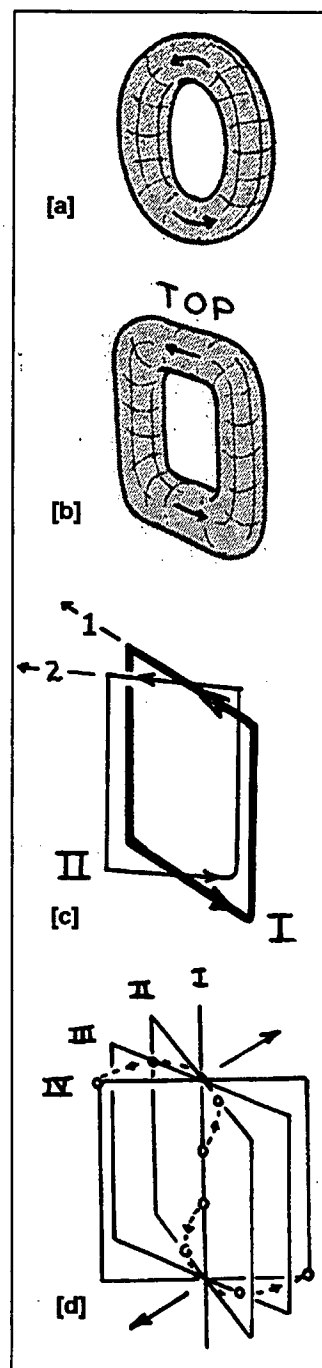
change its direction of flow. For example, the liquid in the top might begin flowing in direction 1 and finish in direction 2.

The last sketch shows how a portion of liquid flowing in the top pipe or bottom pipe is actually forced to travel in a curve as the porter turns the loop [d]. Now, when a thing goes through a pipe which is turning it exerts a force on the side of the pipe. [...] Why? Because the thing tends to go straight, but is forced to turn. The arrows in the last sketch show the direction of the force on the sides of the pipe. Their curves on the top and bottom are opposite and so the direction of the force on the top and bottom are opposite. The force on the pipe is the same as the force on the flywheel and that force is communicated to the suitcase. The top tilts to the right and the bottom to the left..."⁷¹

Ill. 61. Fire figurer til den konceptuelle besvarelse af svinghjulsoppgaven. Fra Epstein & Hewitt, 1981, s. 116f.

Hvad er forskellen mellem de to besvarelser? For mig at se er den sidste billedlige og konceptuelle besvarelse mere et svar på spørgsmålet "Hvorfor?" end den første, fordi argumentationen tager udgangspunkt i et konstituerende og grundlæggende princip, nemlig at bevægede masser yder modstand mod at få ændret bevægelsesretning (som formelt kan udtrykkes med Newtons love). Dette princip har vi et helt andet forhold til end formlerne $dL = \tau dt$ og $\tau = r \times F$ som er matematiske relationer mellem abstrakte begreber. Til gengæld giver den første besvarelse en uovertruffen mulighed for at forudsige lige nøjagtig hvordan og hvor meget kufferten vil tippe. Den første besvarelse er derfor et mere kvalificeret eller præcist svar på spørgsmål "Hvad?"

Fysik bliver først rigtig anvendelig når man besidder de matematiske færdigheder der gør faget til et fremragende redskab til kvantitative forudsigelser – en evne som muligvis ikke findes tilsvarende i noget andet fag. Men hvor matematikken i høj grad giver fysikken sin store anvendelighed, mener jeg billederne er afgørende for forståelsen. For mig at se er der ikke noget enten-eller mellem matematisk formalisme og visuelle fremstillinger – det er to sider af samme fag! En fysikuddannelsen hvor det visualiserende aspekt er nedtonet, kan give udmærkede ingeniørfærdigheder, dvs. evnen til at producere nøjagtige forudsigelser for velkendte problemstillinger. Men den kreative og nyskabende tanke er muligvis bedst tjent med at evnen til at visualisere trænes og prioriteres i langt højere grad end det har været tilfældet. I hvert fald har historiske analyser af videnskabens udvikling gentagne gange vist at analogidannelse,



⁷¹ Epstein & Hewitt, 1981, s. 116f.

visuelle repræsentationer og tankeeksperimenter har haft afgørende indflydelse på udviklingen af nye teorier.⁷²

Den visuelle tanke

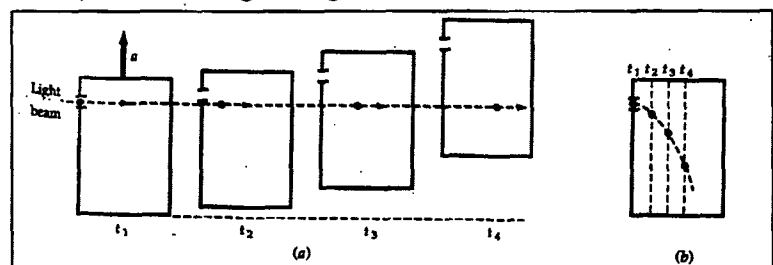
Netop tankeeksperimenter er et område af fysikken hvor forestillingsevner spiller en helt central rolle. Det er en hyppig anvendt tankeform i fysikken hvor man ved hjælp af den mentale forestillingsevne tænker sig situationer der på den ene eller anden måde tydeliggør paradokser eller komplicerede problemstillinger, og ofte kan tankeeksperimenterne i sig selv levere en løsning.⁷³ Tankeeksperimenter har fået en del opmærksomhed hos både videnskabsfilosoffer og -historikere. Blandt andet er det vist at tankeeksperimenter i forskeres notesbøger som regel er ledsaget af illustrationer i form af figurer og diagrammer over "eksperimenternes" indhold.⁷⁴ Dette er klare eksempler på visuel tænkning, og viser betydningen af billeder i forhold til videnskabeligt arbejde.

Tankeeksperimenter indeholder ingen data fra forsøg – det ligger i selve definitionen – og det man kan få ud af dem, er derfor en direkte forståelse af fænomener. Her er nemlig ligesom i mange andre illustrationer i fysikken udeladt irrelevante egenskaber og derved tydeliggjort de egenskaber der konstituerer fænomenerne. Ofte er det fænomener fremstillet på en måde som slet ikke kan føre til virkelige eksperimenter med deraf følgende data, som *Einsteins elevator*⁷⁵ der kan fremstilles således:

Lad os forestille os en elevator uden vinduer placeret i det ydre rum. I elevatoren befinder sig en person med noget måleapparat. Personen mærker en nedadrettet kraft, men er uden mulighed for at finde ud af om dette skyldes at elevatoren befinder sig i et gravitationsfelt eller bliver accelereret. Dette kaldes ækvivalensprincippet, og det siger at effekten af gravitation og effekten af en jævn accelereret bevægelse af en referenceramme er identiske.

Hvis nu vores person borer et lille bitte hul i væggen, så en lysstråle trænger ind gennem denne, og det viser sig at denne lysstråle beskriver en kurve på tværs af elevatoren som i Ill. 62, kan det skyldes at elevatoren accelereres. Men pga. ækvivalensprincippet kan afbøjningen lige så godt skyldes et gravitationsfelt. Lys må derfor lige som genstande med masse kunne afbøjes af et gravitationsfelt.

Ill. 62. Tankeeksperimentet *Einsteins elevator* her visualiseret til forskellige tider t_1 - t_4 . Fra Tipler, 1991, s. 1133.



⁷² Nersessian, 1998, s. 162.

⁷³ Se Brown, 1991 for en undersøgelse af tankeeksperimenter i naturvidenskab og Birkelund & Korremann, 1993 for en gennemgang af tankeeksperimenter specielt i fysikken.

⁷⁴ Topper, 1996.

⁷⁵ Tankeeksperimentet udviklede Einstein allerede i 1907, jf. Nersessian, 1992, s. 30.

Tankeeksperimenter følger de principper vi mener konstituerer den fysiske virkelighed, men er samtidig frigjort fra en række begrænsninger, som fx de teknologiske. I tanken kan vi forestille os forstørrelser og overdrivelser som ikke kan realiseres i virkeligheden, således at fænomenet ansues i en form der indlysende fører til en bestemt konklusion. Men er tankeeksperimenter så ikke bare sproglige udsagn der kun i pædagogisk øjemed ofte formidles med illustrationer? Her er jeg enig med Nancy Nersessian som argumenterer for at tankeeksperimenter ikke kan reduceres til ytringer.⁷⁶ Det oprindelige tankeeksperiment er en forskers konstruktion af en mentalt forestillet model der indeholder en række begivenheder. Forskere er sjældent blevet spurgt om hvordan de kom frem til og udviklede tankeeksperimenter, men det er meget muligt at den pågældende forsker rent faktisk udførte "eksperimentet" trin for trin i hovedet. Et andet eksempel hvor vi kan følge situationen trin for trin, og som også bruges i fysiklærebøger,⁷⁷ er *Schrödingers Kat Paradokset*, som Erwin Schrödinger udtænkte i 1935 for at vise det absurde i at opfatte kvantemekanikkens bølgefunktioner som egenskaber ved naturen. Det kan gengives på følgende måde:

En kat er placeret i en beholder der er uigennemsigtig, lyd- og lufttæt og indeholder udover katten et radioaktivt atom, en geigertæller, en ampul med giftgas og en mekanisme der når den udløses, smadrer ampullen. Efter et vist tidsrum er det muligt at det radioaktive atom er henfaldet. Sker der et henfald, registreres det af geigertælleren, mekanismen udløses, giftgassen fordeler sig i beholderen, og katten dør. Om der er sket et henfald eller ej, beskriver man ud fra kvantemekanikken på den måde at det radioaktive atom er i en superposition af to tilstande; henfaldet og ikke-henfaldet. En beskrivelse som vel at mærke ikke blot er udtryk for uvidenhed, men som skal tages bogstaveligt hvis teorien skal passe med resultaterne fra kvantemekaniske eksperimenter.

Men hvad nu med katten? Hvis atomet er henfaldet, er katten død – hvis ikke, lever den. Vi kan ikke afgøre denne sag før vi åbner kassen og ser efter. Indtil da må katten ligeledes befinde sig i en superposition af de to mulige tilstande – død og levende – da den jo grundlæggende også består af atomer. Men hvem har nogensinde hørt om en kat, der både er levende og død på samme tid? Vores fornuft siger os at enten er katten død eller også er den levende.



Ill. 63. Superposition af to tilstande i Schrödingers Kat Paradokset. Fra Brown, 1991, s. 24.

⁷⁶ Nersessian, 1992.

⁷⁷ Se fx Keller mfl., 1993, s. 1012f.

Løsningen af dette paradoks ligger i en erkendelse af at katten – og for den sags skyld også geigertælleren – ikke opfylder de nødvendige krav til at blive beskrevet som et kvantemekanisk system, bl.a. fordi muligheden for at afsætte makroskopiske spor, dvs. registreringen af henfaldet, ødelægger muligheden for superposition af makroskopisk forskellige tilstande.⁷⁸

Man kan hævde at Ill. 63 slet ikke er nødvendig for at forstå tankeeksperimentet. Men at den kan undværes, har ikke noget at gøre med at der ikke indgår en visualisering, det skyldes simpelthen sprogets evne til at skabe mentale forestillinger. Dette gælder også for mange virkelige situationer som i en hel del tilfælde udmærket kan nøjes med at "blive illustreret af teksten", fordi teksten her kan gøres præcis nok til at indeholde lige nøjagtig de elementer der skaber den rette mentale forestilling. På nogle områder er mentale forestillinger faktisk konkrete illustrationer overlegne. For mens billeder nødvendigvis er bundet af den 2-dimensionale billedflade, kan mentale forestillinger sagtens være 3-dimensionale. Ikke blot kan vi forestille os 3-dimensionelle objekter – vi kan også udføre operationer på dem som fx dreje dem og se situationen fra andre synsvinkler.⁷⁹ På denne måde kan vi faktisk sige at mentale forestillinger skal opfattes på samme måde som perceptioner af virkelige genstande. Min forestilling om et Möbius-bånd kan jeg i princippet undersøge på samme måde som hvis jeg havde en virkelig udgave i hånden.

Her nærmer vi os måske en mulig forklaring på hvordan et tankeeksperiment som jo er et "eksperiment" der kun udføres i tanken, kan være så kraftfuld til at anskueliggøre og overbevise. En forklaring som vel at mærke også forklarer hvorfor "almindelige" illustrationer er effektive, kan findes hvis man accepterer at der er flere ligheder mellem det at forestille sig en situation – enten på papir eller i hovedet – og så virkelige perceptioner:

"The Main idea centers on the fact that perceptual inferences are easy for humans to make. By clustering connected information and making visual a chain of interconnected inferences the imagistic representations support a large number of immediate perceptual inferences. The representations on paper are presented in a form that already focuses on and abstracts specific aspects of phenomena. A great deal of mathematical information is implicit in such representations. By embodying structural relations thought to underlie phenomena they could facilitate access to the quantifiable aspect of the phenomena. As such, they provide an intermediate level of abstraction between phenomena and mathematical forms of representation (formulae). Additionally, they stabilize the image for the reasoner and make various versions accessible for direct comparison, in a way not available for internal images, and may thus take some of the load off memory in problem solving. Finally, they potentially play an important role in communicating new representations by providing a stable embodiment that is public. The imagistic representation could make it easier for others to grasp parts of the new representation than text and formulae alone."⁸⁰

⁷⁸ Paradokset er dog interessant nok alligevel, se fx Hermannsson mfl., 1995 som med dette udgangspunkt diskuterer fortolkninger af kvantemekanikken og leverer en formel løsning af paradokset.

⁷⁹ Se Shepard & Cooper, 1982 for undersøgelser af mentale forestillinger og de operationer vi kan udføre på dem.

⁸⁰ Nersessian, 1992, s. 24-5.

Hvis vi virkelig kan sammenligne mange af de aspekter der gælder for perceptioner af virkelige begivenheder, med aspekter ved perception af billeder, er det ikke underligt at illustrationer har en kraft der på nogle områder overgår formler og tekst. Men denne idé er ifølge Nersessian endnu ikke blevet undersøgt i tilstrækkeligt omfang, og det fører mig til sigtet med næste kapitel der er at se ud over dette projekt og mod relevant fremtidigt arbejde.

Kapitel 7

Mod en bedre brug af illustrationer

Hvordan bliver man en god fysiker? Det kan der heldigvis eksistere mange forskellige opfattelser af. Jeg tror dog følgende citat fra et interview med en universitetslærer rammer noget af det der er karakteristisk for faget fysik:

"De fleste fysikere synes jo nok at det er fysikkens adelsmærke at man har meget lidt grundviden, og at man så ud fra det med nogle ligninger kan føre argumentation. Man gider ikke huske resultater.[...] Det at have kendskab til mange eksempler, er jo vigtigt for at have den rigtige fysiske intuition. Fysisk intuition får man ikke ved at kende "basic principles". Newtons anden lov eller Maxwells ligninger kan du jo godt formulere og forstå formuleringen af. Men det at man har set hvordan de virker i en hel masse sammenhænge, det er det der gør at man har en indsigt i og er god til at håndtere en eller anden fysisk situation. [...] En god tegning kan få en til at huske, men det kan jo altså også få en på et vildspor. Men altså til gengæld kan den også være god til at huske."

Visualiseringer er ikke nogen patentløsning på formidlingsproblemer. Men de er for mig at se en fantastisk mulighed for at omsætte fysikkens grundlæggende principper til situationer hvor man kan sætte sin dagligdagsopfattelse i spil. Når man skal forklare et billede, er det svært at dække sig ind under formelle standardformuleringer. At give den korrekte beskrivelse og fortolkning af en fysikillustration må næsten uundgåeligt forudsætte en korrekt forståelse – i hvert fald i højere grad end der kræves for at kunne beregne et korrekt resultat, hvad enten det er en ligning eller et tal.

Men for at kunne beskrive og fortolke illustrationer må man besidde en forståelse for hvordan illustrationer kan formidle fysikfaglig viden. Dette har jeg forsøgt at nå frem til i de foregående kapitler. I Kapitel 2 overvejede jeg funktion og formål med at illustrere set i forhold til eksisterende viden inden for kognitionspsykologien og fagpædagogikken. Dette førte mig til en inddeling af fysikillustrationer i tre typer: Fotografi, figur og diagram. Den gav mulighed for at strukturere undersøgelsen af formidlingen gennem illustrationer i konkrete illustrationer i de følgende tre kapitler. Men denne inddeling skal ikke tages for mere end en pragmatisk taksonomi, for som jeg også diskuterede i Kapitel 5, vil diagrammer i flere tilfælde anvende ikoniske virkemidler som jo i forhold til mine definitioner i Kapitel 2 egentlig hører hjemme i en figur. Tredelingen skal altså ikke forstås sådan at man først vælger om det er et diagram eller en figur man vil lave, og så derefter bestemmer sig for udseendet, men som en understregning af at de forskellige visuelle udtryksmåder har både muligheder og begrænsninger.

Som det forhåbentlig blev klart gennem disse kapitler, har illustrationer mange strenge at spille på, men også vise retningslinjer der må overholdes. Dette diskuterede jeg videre i Kapitel 6 hvor konteksten blev inddraget. Jeg argumenterede her for at den enkelte illustration hænger uløseligt sammen med både det emne den handler om, de formler der skal læres, og den tekst der i øvrigt optræder lærebogen. Især forholdet mellem formler og illustrationer er værd at diskutere fordi man ofte møder en opfattelse af at de udelukker hinanden således at man må vælge mellem det ene eller det andet. En mere konstruktiv

opfattelse vil være at se disse to som komplementerende størrelser der på hver sin måde bidrager til forståelse af fysik.

Vejen frem

Hvilke konsekvenser kan man drage af alle disse forholdsvis teoretiske overvejelser over et emne som normalt kun diskuteres i praktiske sammenhænge? En hel del er næsten banale indsigter, for i bund og grund handler det om at tage formidling gennem illustrationer seriøst. Illustrationer skal italesættes før de for alvor kan bidrage til forståelse. Det gælder især for områder hvor vi ikke umiddelbart kan sanse de fænomener der søges forklaret, fx i atomfysikken. At det måske især dér er vigtigt med visuelle fremstillinger, demonstreres af følgende citat fra et interview med en forsker:

"Jeg kan jo godt lide at have meget konkrete billeder som jeg henter fra den makroskopiske verden, til forståelse af sådan nogle mikroskopiske fænomener – men det kan jo være farligt!... Jeg vil tro man så langt som muligt skal bruge sådan nogle billeder, men på et eller andet tidspunkt bliver de farlige... Der er nogle der er skruet mærkeligt sammen og i stand til at abstrahere og frigøre sig fra den verden de umiddelbart ser og føler – jeg er meget, meget afhængig af og hængt op på den verden jeg ser og føler, jeg skal – jeg vil hele tiden prøve at forstå verden i termer af det mine sanser siger mig."

At illustrationer på denne måde kan være farlige, svarer til et dilemma der flere gange er opstået i mit arbejde: Jo mere jeg undersøger en specifik illustration, jo flere "fejl" finder jeg, dvs. jo flere uoverensstemmelser finder jeg med teorien som illustrationen skal illustrere, og det gælder også for illustrationer som jeg mener er gode. Det kunne komme i konflikt med opfattelsen at illustrationer er vigtige, hvis det ikke var fordi illustrationer ikke bør bedømmes på om de kan misforstås. Alle billeder kan misforstås – og det kan alle tekster måske også. Men vi har mange muligheder for at begrænse misforståelsen og fremme forståelsen. Mange af disse muligheder som en afsender af illustrationer kan gøre brug af, har jeg samlet i Bilag B, som en inspiration til at gøre mere ud af det visuelle aspekt i fysiktekster.

Man kan selvfølgelig ikke bare forlange at nu må alle illustrationer laves om så de er fuldstændigt videnskabeligt korrekte – det er slet ikke muligt, og måske heller ikke ønskeligt. En hel del illustrationer har som vi har set, været brugt i mange år og indgår i fysikken som forbilleder eller eksemplarer i den videnskabelige matrix som konstituerer faget. Et eksempel er modellen der bruges til at forklare magnetisering i prologen til denne rapport. Selvom den bestemt ikke er en dækkende forklaring af fænomenet, så er den alligevel stadig vigtig som eksempel på en bestemt metode til at forklare fysiske fænomener ud fra.

Jeg har forsøgt at nå frem til et overblik over et område i fysikken som hidtil ikke har været genstand for nærmere undersøgelse. Jeg mener at være kommet til et punkt som kan være afsæt for to typer af problemstillinger. *For det første* kan man undersøge hvilken fysikforståelse billeder kan føre til – fx i forhold til en matematisk fremstilling. Her kunne konkrete undersøgelser af læringssituationer hvori indgår forskellige fremstillinger af fysik, bidrage til en større forståelse af det grundlæggende spørgsmål om hvad det vil sige at forstå fysik. Man kunne undersøge illustrationers mulighed for at sætte fysiske problem-

stillinger i tale hos studerende, og selvfølgelig evnen til at huske bestemte sammenhænge. Disse problemstillinger har tidligere været genstand for undersøgelser, men slet ikke i en grad så man kan give generelle konklusioner. *For det andet* vil det være fornuftigt at lave regulære undersøgelser af forskelle mellem illustrationer i varierende udgaver, dvs. problemstillinger der sigter mod hvordan man kan gøre den visuelle formidling bedre. For bedre kvalitet af illustrationer er ikke blot mere farve og realistiske gengivelser, lige som man ikke nødvendigvis forbedrer en fagtekst ved at tilføje flere tillægsord. Det kunne her være interessant at forsøge om det var muligt at nå frem til en slags standard for hvordan man bør illustrere i fysikken. Et sådant projekt ville bestemt ikke ligge et fag som fysik fremmed, som nedenstående citat fra en fysiker illustrerer:

"Jeg er meget tilhænger af at man har en standardnomenklatur. Fx bruger man jo bogstaver til at beskrive fysiske parametre som masser. Hvis man pludselig lod masser være betegnet med et λ fx, det ville sinke, hele begrebet ligger jo i det lille bogstav... Selvom det hele jo handler om abstraktioner og ikke om det hedder a eller b, så er det nok vigtigt at man ikke skal begynde forfra hver gang man læser en tekst eller hver gang man ser et billede... Så det er nok meget vigtigt at holde en fast linje med billeder i bogen, lige som det er med bogstaver – jeg er jo ikke i tvivl om at man ikke skifter rundt på bogstaverne. Lige så vigtigt er det selvfølgelig at man har opbygget en standard inden for figur-nomenklaturen, så de har samme betydning."

Ud over disse to problemstillinger kunne der ligge et spændende arbejde i at følge fysik-illustrationerne tilbage i historien for nærmere at undersøge hvor mange der har sin oprindelse i enten videnskabelige tekster eller pædagogiske tekster. Som jeg tidligere har nævnt har videnskabshistorikere i flere tilfælde vist at analogier i form af visuelle repræsentationer som vi også kender og anvender i dag, har haft betydning for udviklingen af bestemte teorier, men i hvor stort et omfang dette gælder illustrationer i fysiklærebøger er stadig et åbent spørgsmål.

Det visuelle i fysikundervisning

Muligvis vil mange fysikere erklære sig enige i de her beskrevne opfattelser af billeders betydning for forståelse af fysik. Men det er ikke nok at vi er enige om billeders betydning, vi må også tage konsekvenserne af det i undervisning og formidling af fysik. Fysik er et meget visuelt fag. Næsten enhver bog, videnskabelig artikel, undervisning, ja endog samtale om fysik indeholder visuelle forestillinger af den ene eller anden art. Men ikke desto mindre indeholder en fysikuddannelse sjældent elementer der direkte sigter på at den studerende opnår færdigheder i at udtrykke sig visuelt. Der er kurser i matematik der skal træne den studerende i anvendelsen af matematik som redskabsfag til at formalisere fysiske problemstillinger. Men der gøres sjældent seriøse forsøg på at træne studerende i at anskueliggøre fysiske problemstillinger og de principper vi bruger til at forklare dem med, med andet end formler. For mig at se er det en alvorlig mangel ved en uddannelse hvor hovedparten bliver undervisere i gymnasiet med kraftige begrænsninger i muligheden for anvendelsen af matematik til at forklare selv de mest almindelige fænomener.

Det er på ingen måde en umulig opgave at ændre dette. En start kunne fx være at gøre en bog som *Thinking Physics* af Epstein & Hewitt (1981) til obligatorisk pensum på første år af fysikuddannelserne på universitet. Bogen viser overbevisende hvor langt man kan nå i

fysikforståelse ved hjælp af anskueliggørende modeller, forestillinger og konceptuelle forklaringer uden brug af matematisk formalisme på universitetsniveau. At den også er fuld af humor og pudsige problemstillinger gør jo ingen skade.

Man kunne også forsøge at inddrage det visuelle i undervisning af kommende lærere mere end blot som lærebogsillustrationer og udforske hvordan visuelle metoder og materialer kan bruges i formidlingssituationer. Et lærerigt forsøg på dette findes i bogen *Visual Communication in Science* af Barlex & Carré (1985), der tager det alvorligt at elever behøver hjælp for at lære hvad de skal se og hvad de ikke skal se. Interessen går ikke på at minimere brugen af tekst, men at komplementere tekstens brug med de rette visuelle materialer så læringen forøges. Og med visuelle materialer menes som sagt ikke blot illustrationer i tekster, men også det visuelle aspekt i hele undervisningen, fx på tavlen, ved demonstrationsforsøg og hjemmeopgaver.

Naturvidenskab og især fysik oplever i disse år en tilbagegang i interessen hos studiestøgende. Efter min mening kan det visuelle bruges til at modvirke denne tendens. Ikke ved at narre mennesker til at tro at fysik er sjovere og lettere end det er, men ved at vise aspekter af faget som er essentielle for den måde det erkender og opnår ny viden på. Jeg mener det visuelle er en ikke fuldt ud udnyttet ressource i fysikken i både undervisning og forskning. Men at visualisere er en kunst der må læres før den kan udnyttes. Hvis jeg med dette speciale kan medvirke til at øge interessen for at arbejde med visuelle fremstillinger af fysik, er jeg fuldt ud tilfreds.

Litteraturfortegnelse

I listen er medtaget kilder som der henvises til i rapporten og desuden materiale der har været væsentlig inspiration for arbejdet med illustrationer i fysikken.

Lærebøger og anden fysiklitteratur der har indgået som eksempelmateriale:

- Alonso, M. & Finn, E.J., 1980: *Fundamental University Physics*. 2.ed. Vol. I-II. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Atkins, P.W., 1994: *Physical Chemistry*. Oxford: Oxford University Press.
- Both, E. & Christiansen, G., 1990: *Termodynamik*. Lyngby: Den private Ingeniørfond, DTH.
- Callen, H.B., 1985: *Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics*. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Christiansen, G., Both, E. & Sørensen P.Ø., 1987: *Mekanik*. Lyngby: Laboratoriet for Teknisk Fysik II og III, Danmarks Tekniske Højskole.
- Elbek, B., 1992: *Bølger*. København: Niels Bohr Institutet.
- Elbek, B., 1995: *Optik*. København: Niels Bohr Institutet.
- Elvekjær F. & Nielsen, B.D., 1997: *Fysikkens verden 3*. København: Gjellerup & Gad.
- Epstein, L. & Hewitt, P.G., 1981: *Thinking Physics: Questions with Conceptual Explanations*. San Francisco: Insight Press.
- Gasiorowicz, S., 1996: *Quantum Physics*. 2.ed. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Goldstein, H., 1980: *Classical Mechanics*. 2.ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.
- Kaufmann, W.J., 1994: *Universe*. New York: W.H. Freeman and Company.
- Keller, F.J., Gettys, W.E. & Skove, M.J., 1993: *Physics – Classical and Modern*. 2.ed. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Knudsen, J.M. & Hjorth, P.G., 1995: *Elements of Newtonian Mechanics*. New York: Springer Verlag.
- Krauskopf, K.B. & Beiser, A., 1997: *The Physical Universe*. Boston: WCB/McGraw-Hill.
- Ohanian, H.C., 1989: *Physics*. 2.ed. New York: W W Norton & Company.
- Nolan, P.J., 1995: *Fundamentals of College Physics*. 2.ed. Dubuque, IA, USA: Wm. C. Brown Publishers.
- Rohlf, J.W., 1994: *Modern Physics from α to Z^0* . New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Sanny, J. & Moebis, W., 1996: *University Physics*. Dubuque, IA, USA: Wm. C. Brown Publishers.
- Sears, F.W., Zemansky, M.W. & Young, H.D., 1976: *University Physics*. 5.ed. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley Publishing Company.
- Tipler, P.A., 1991: *Physics – For Scientists and Engineers*. 3.ed., Extended Version. New York: Worth Publishers, Inc.
- Walker, J., 1975: *The Flying Circus of Physics*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Warren, M.L., 1979: *Introductory Physics*. San Francisco: W.H. Freeman and Company.

Anden litteratur:

- Arnheim, R., 1969: *Visual Thinking*. Berkeley: University of California Press.
- Arnheim, R., 1974: *Art and Visual Perception. The New Version*. Los Angeles: University of California Press.
- Arnheim, R., 1986: *New Essays on the Psychology of Art*. Berkeley: University of California Press.
- Baigrie, B.S. (ed.), 1996: *Picturing Knowledge*. Toronto: University of Toronto Press.
- Barlex, D. & Carré, C., 1985: *Visual Communication in Science*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barlow, H., Blakemore, C. & Weston-Smith, M. (ed.), 1990: *Images and understanding*. New York: Cambridge University Press.
- Barnes, B., Bloor, D. & Henry, J., 1996: *Scientific Knowledge. A Sociological Analysis*. London: Athlone.
- Barthes, R., 1980: "Billedets retorik" I: Fausing, B. & Larsen, P. (red.), 1980: *Visuel kommunikation*. København: Medusa.
- Bechtel, W. & Graham, G. (ed.), 1998: *A Companion to Cognitive Science*. Malden, Massachusetts: Blackwell Publishers Ltd.
- Biederman, I., 1987: "Recognition-by-components: A Theory of Human Image Interpretation." *Psychological Review* 94, s.115-147.
- Biederman, I., 1995: "Visual Object Recognition." I: Kosslyn & Osherson, 1995.
- Birkelund, K & Korremann, S.S., 1993: *Tankeeksperimenter i fysikken*. Tekster fra IMFUFA, nr. 243. Roskilde Universitetscenter.
- Bjerregaard, M.W., Christiansen, F.V., Hansen, J.S., Jensen, K.D. & Schmidt, O, 1995: *Metaforer i fysikken*. Tekster fra IMFUFA, nr. 308. Roskilde Universitetscenter.
- Brown, J.R., 1991: *The Laboratory of the Mind. Thought Experiments in the Natural Sciences*. London: Routledge.
- Brown, J.R., 1994: *Smoke and Mirrors. How Science reflects Reality*. London: Routledge.
- Brown, J.R., 1996: "Illustration and Inference." I: Baigrie, 1996.
- Cleveland, W.S., 1993: *Visualizing Data*. New Jersey: AT&T Bell Laboratories.
- Crowe, M.A., 1967: *History of Vector Analysis*. London: University of Notre Dame Press.
- Das, J.P., Kirby, R.F. & Jarman, R.F., 1979: *Simultaneous and Successive Cognitive Processes*. New York: Academic Press.
- Dwyer, F.M., 1972: *A Guide to Improving Visualized Instruction*. University Park, PA: State College, Pennsylvania State University, Learning Services Division.
- Fischbein, E., 1987: *Intuition in Science and Mathematics. An Educational Approach*. Dordrecht, Holland: D. Reidel Publishing Company.
- Ford, B.J., 1992: *Images of Science*. London: The British Library.
- Gentner, D. & Gentner, D., 1983: "Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity." I: Gentner & Stevens, 1983.
- Gentner D. & Stevens A.L., 1983: *Mental Models*. Hillsdale, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Giere, R.N., 1984: *Understanding Scientific Reasoning*. 2.ed. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Giere, R.N., 1988: *Explaining Science*. Chicago: The University of Chicago Press.

- Giere, R.N. (ed.), 1992: *Cognitive Models of Science*. Minnesota Studies in the Philosophy of Science, vol. XV. Minneapolis: University of Minnesota Press.
- Goldsmith, E., 1984: *Research into Illustration*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Gombrich, E.H., 1951: "Meditation on a Hobby Horse or the Roots of Artistic Form." I: *Aspects of Form: A Symposium on Form in Nature and Art*. London: L.L. Whyte, 1951. (Artiklen findes oversat i Gombrich, 1979)
- Gombrich, E.H., 1960: *Art and Illusion*. New York: Pantheon Books.
- Gombrich, E.H., 1972: "The Visual Image." *Scientific American*, vol. 227, september 1972.
- Gombrich, E.H., 1979: *Kunst og billedsprog. Udvalgte essays*. København: Nyt Nordisk Forlag Arnold Busck A/S.
- Gombrich, E.H., 1990: "Pictorial Instructions." I: Balow et al., 1990.
- Gooding, D., 1992: "The Procedural Turn; or, Why Do Thought Experiments Work?" I: Giere, 1992.
- Goodman, N., 1969: *Languages of Art*. London: Oxford University Press.
- Hayes, N., 1996: *Foundations of Psychology*. London: Nelson.
- Heck, J.G., 1988: *The Complete Encyclopedia of illustration*. London: Merehurst Press.
- Hermannsson, M., Horst, S. & Specht, C., 1995: *Mordet på Schrödingers kat – et metaprojekt om to fortolkninger af kvantemekanikken*. Tekster fra IMFUFA, nr. 298. Roskilde Universitetscenter.
- Horst, S., 1998: *Klyngedannelse i en hulkatodeforstøvningsproces*. Tekster fra IMFUFA, nr. 346. Roskilde Universitetscenter.
- Jørgensen, C. & Onsberg, M., 1987: *Praktisk argumentation*. Viby J: Teknisk forlag A/S.
- Kosslyn, S.M. & Osherson, D.N. (ed.), 1995: *Visual Cognition. An Invitation to Cognitive Science*. 2.ed. Vol. 2. Massachusetts: The MIT Press.
- Kjørup, S., 1995: *Hvorfor smiler Mona Lisa? – en bog om billeder og deres brug*. 2.udg. København: Roskilde Universitetsforlag.
- Kragh, H., 1992: *Sense of History: History of Science and the Teaching of introductory Quantum Theory*. Science and Education 1. Holland: Kluwer Academic Publishers.
- Kress, G. & van Leeuwen, T., 1996: *Reading Images – The Grammar of Visual Design*. London: Routledge.
- Lakoff, G., 1987: *Women, Fire, and Dangerous Things. What Categories Reveal about the Mind*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Lakoff, G., 1993: "The Contemporary Theory of Metaphor." I: Ortony, 1993.
- Lakoff, G. & Johnson M., 1980: *Metaphors We Live By*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Leatherdale, W.H., 1974: *The Role of Analogy, Model and Metaphor in Science*. Amsterdam: North-Holland Publishing Company.
- Levie, W.H., 1987: "Research on Pictures: A Guide to the Literature." I: Houghton & Willows, 1987.
- Levin, J.R., 1981: "On the Functions of Pictures in Prose." I: Pirozzolo, F.J. & Wittrock, M.C.: *Neuropsychological and Cognitive Processes in Reading*. New York: Academic Press, 1981.
- Levin, J.R., Anglin, G.J. & Carney, R.N., 1987: "On Empirically Validating Functions of Pictures in Prose." I: Willows & Houghton, 1987.

- Lidman, S. & A. Lund., 1973: *Fortæl med billeder*. Odense: Erhvervsskolernes Forlag.
- Lynch, M., 1985: "Disciplin and the Material Form of Images: An Analysis of Scientific Visibility." *Social Studies of Science*, Vol. 15.
- MacCormac, E.R., 1976: *Metaphor and Myth in Science and Religion*. Durham, North Carolina: Duke University Press.
- Nersessian, N.J., 1992: "How Do Scientists Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science." I: Giere, 1992.
- Nersessian, N.J., 1995: "Should Physicists Preach What They Practice? Constructive Modeling in Doing and Learning Physics." *Science & Education* 4:203-226.
- Nersessian, N.J., 1998: "Conceptual Change." I: Bechtel & Graham, 1998.
- Nielsen, H. & Paulsen A.C. (red.), 1992: *Undervisning i fysik – den konstruktivistiske idé*. København: Gyldendal.
- Novak, J.D., 1998: *Learning, Creating and Using Knowledge: Concept Maps as Facilitative Tools in Schools and Corporations*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Ortony, A. (ed.), 1993: *Metaphor and Thought*. 2. udg. USA: Cambridge University Press.
- Panofsky, E., 1983: "Ikonografi og ikonologi." I: Panofsky, E. 1983: *Billedkunst og billedtolkning. Udvalgte artikler*. Odense: Nyt Nordisk Forlag.
- Pedersen, J.B., 1987: *Illustrationer i faglige tekster – Teori, empiri og sund fornuft*. Papirer om faglig formidling nr. 14/87. Kommunikationsuddannelsen, RUC.
- Peeck, J., 1987: "The Role of Illustrations in Processing and Remembering Illustrated Text." I: Willows & Houghton, 1987.
- Perelman, C. & Olbrechts-Tyteca, L., 1969: *The New Rhetoric. A Treatise on Argumentation*. London: University of Notre Dame Press.
- Pettersson, R., 1986: *Bildet som informasjon*. Fredrikstad: Institutt for journalistikk.
- Shepard, R.N. & Cooper, L.A., 1982: *Mental Images and Their Transformations*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Sjøberg, S., 1992: "Når virkeligheden konstrueres – læringspsykologi". I: Nielsen & Paulsen, 1992.
- Spelke, E.S., Gutheil, G. & Van de Walle, G., 1995: "The Development of Object Perception." I: Kosslyn & Osherson, 1995.
- Topper, D., 1996: "Towards an Epistemology of Scientific Illustration." I: Baigrie, 1996.
- Willows, D.M. & Houghton, H.A. (ed.), 1987: *The Psychology of Illustration*. Vol. 1. Basic Research. New York: Springer-Verlag, Inc.
- Winn, B., 1983: "Perceptual Strategies Used With Flow Diagrams having normal and unanticipated formats." *Perceptual and Motor Skills* 57, s. 751-762.
- Winn, B., 1987: "Charts, Graphs, and Diagrams in Educational Materials." I: Willows & Houghton, 1987.
- Yates, F., 1966: *The Art of Memory*. London.

Illustrationsfortegnelse

III. 1. Bohr-modellen af et hydrogenatom som den ser ud i mange universitetslærebøger. Fra Sears mfl., 1976, s. 762.	13
III. 2. Velkendte eksempler på tegninger der fører til visuelle illusioner.	16
III. 3. Eksempler på forskellige organiseringsprincipper. Med forlæg i Arnheim, 1974, s.80-82.	17
III. 4. Vase eller kvinde? Kanin eller and? Rotte eller mand? Eksempler på at perceptioner er gestaltede. Fra henholdsvis Kosslyn & Osherson, 1995, s. 304, Gombrich, 1960, s. 5 og Hayes, 1996, s. 38.	17
III. 5. (Til højre) Øverst Dürers træsnit fra 1515, i midten Heaths kobberstik fra 1789 og nederst Schulthess' fotografi fra 1957. Læg mærke til hvor mange elementer der går igen fra Dürer til Heath som ikke kan genfindes i fotografiet. Fra Gombrich, 1960, s. 81.	19
III. 6. Færdelstavlen "Ubevogtet jernbaneoverkørsel".	19
III. 7. Når vi skal genkende et objekt, spiller visse dele af objektet en større rolle end andre. Søjle (b) viser genkendelige versioner af søjle (a), mens søjle (c) mangler afgørende træk til at styre genkendelsen. Fra Biederman, 1995, s.153.	20
III. 8. Forskellige illustrationer af 3-dimensionelle molekylemodeller der viser hvordan dybde i billedet kan indikeres på fire måder i en stregtegning - og også hvordan man kan distrahere forståelsen. Fra Goldsmith, 1984, s. 223.	22
III. 9. Fotografi af Niels Bohr ved tavlen. Fra Ohanian, s. 1058.	27
III. 10. C.A. Jensens portræt af H.C. Ørsted til venstre og fotografi af Ørsteds noter til højre. Fra Elvekjær & Nielsen, 1997, s. 200-201.	29
III. 11. Er dette den virkelige Einstein? Fra Rohlf, 1994, s, 133.	30
III. 12. Fotografi af en eksperimentel opstilling som en mand er meget optaget af. Fra Elvekjær & Nielsen, 1997, s. 149.	31
III. 13. Demonstration af inducering af strøm i et kredsløb ved at bevæge en magnet op og ned. Fra Keller mfl., 1993, s. 701.	32
III. 14. Teleskop som Galilei brugte til at studere Jordens og Jupiters måner med. Fra Sanny & Moebis, s. 687.	33
III. 15. Fotografi af et lynnedslag. Fra Krauskopf & Beiser, 1997, s. 143.	33
III. 16. Tacoma Narrows Bridges endeligt – en begivenhed som er repræsenteret i enhver fysikbog med respekt for sig selv. Her fra Tipler, 1991, s. 424, men tilsvarende billeder findes også i Ohanian, 1989, s. 431 og Sanny & Moebis, 1996, s. 251 og Krauskopf & Beiser, 1997, s. 179.	34
III. 17. Fotografi af hængebro påtegnet en parabel. Fra Ohanian, s. 360.	35
III. 18. Et fotografi fra et boblekammer til venstre er blevet transformeret til tegningen til højre. Fra Elvekjær & Nielsen, 1997, s. 103.	35
III. 19. Et eksempel på en "fotografisk" illustration af et neonatom. Fra Ohanian, 1989, s. 571.	36
III. 20. Doppler-effekten som den er illustreret i Ohanian, 1989, s. 448.	37

Ill. 21. Billedteksten til figuren i Ill. 20. Fra Ohanian, 1989, s.448.....	38
Ill. 22. Godsvogn i kurve. Fra Alonso & Finn, 1980, vol. I, s. 165.....	39
Ill. 23. Example 7.11. Fra Alonso & Finn, 1980, vol. I, s. 165.....	40
Ill. 24. Bil i kurve. Fra Ohanian, 1989, s. 148.....	41
Ill. 25. Diatomisk molekyle – eller er det? Fra Ohanian, 1989, s. 1082.....	43
Ill. 26. De tre typer objekter vi møder i figurer, og deres forhold til hinanden og virkeligheden.....	44
Ill. 27. Slæbebåd og to pramme foran storby-skyline. Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 83.....	49
Ill. 28. Sammenstilling af figur og fotografi i forbindelse med gennemgang af Doppler-effekten. Se også Bilag C. Fra Nolan, 1995, s. 351.....	49
Ill. 29. Figur med overdrevent forvrængede størrelsesforhold. Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 295.....	50
Ill. 30. Forskellige grafiske udgaver af objektet "en vogn". Øverst fra Knudsen & Hjorth, 1995, s. 163, og nederst fra Nolan, 1995, s. 192.....	50
Ill. 31. En analogi er forbindelsen mellem en model (eller enkelte model- objekter) og et fænomen (eller enkelte entiteter) gennem fælles kvaliteter.....	53
Ill. 32. Fremstilling af elektronens magnetiske og elektriske felt. Fra Ohanian, 1989, s.744.....	55
Ill. 33. Et af de tidligste eksempler på brugen af pile til at indikere retning og bevægelse. Tegningen er fra Bernard Forest de Bélidor: "Architecture Hydraulic" fra 1737. Fra Gombrich, 1990, s. 28.....	56
Ill. 34. Opdrift på en flyvinge – eller er det? Fra Alonso & Finn, 1980, vol. I, s. 254.....	57
Ill. 35. Hastighedsvektorer og strømningslinjer. Fra Ohanian, 1989, s. 469.....	57
Ill. 36. Flow'et af røgfaner omkring en flyvinge. Fra Keller mfl., 1993, s. 374.....	58
Ill. 37. Doppler-effekten udtryk med både fotografi og figur. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 298.....	59
Ill. 38. Sammenligning af mønstret af jernfilspåner og magnetfeltet omkring en stangmagnet. Fra Ohanian, 1989, s. 814.....	60
Ill. 39. Forskellige udgaver af fjedre angiver forskellige fjederkonstanter. Fra Nolan, 1995, s. 312.....	61
Ill. 40. God illustration til forklaring af fænomenet regnbue. Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 649.....	63
Ill. 41. Konstruktionen af parallelle lysstråler der rammer en sfærisk vanddråbe. Stråler der rammer i nærheden af nummer 7, vil blive koncentreret og dermed give anledning til en forøgelse af en bestemt farves lysstyrke. Fra Tipler, 1991, s. 992.....	64
Ill. 42. Carnot-kredsproces visualiseret med enkle midler. Fra Ohanian, s. 550.....	66
Ill. 43. Carnot-kredsproces vist i et p-V-diagram. Fra Ohanian, s. 550.....	67
Ill. 44. Det periodiske system. Fra Rohlf, 1994.....	69
Ill. 45. Tabel over typiske forsøgsdata fra Horst. 1997. Tallene stammer fra forsøg med en partikelstråle med centrum i $z=0$ mm som indeholder både elektrisk ladede og neutrale partikler. Ved at påsætte en potentialforskel V på tværs af partikelstrålen vil de ladede partikler afbøjes. Men hvor tydeligt er det i tabellen i forhold til den følgende graf?	70

- III. 46. Graf over data fra Ill. 45. Her bliver det tydeligt at en stor del af partiklerne er ladede fordi spændingspotentialet V kan sprede partikelstrålen fra en bredde på omkring 10mm til at de ladede partikler forsvinder ud af målevinduet ($-10\text{mm} \leq z \leq 10\text{mm}$) ved afbøjningspotentialer fra 510volt og opad. 71
- III. 47. Data fra Millikans berømte påvisning af Einsteins ligning for den fotoelektriske effekt, som næsten alle – også ellers ahistoriske – lærebøger har med. Når stoppotentialet V_0 vises som funktion af lysfrekvensen f , ligger data på en ret linje med hældningen h/e , i overensstemmelse med ligningen $eV_0 = hf - \phi$. Her fra Tipler, 1991, s. 1150. 72
- III. 48. Forskellige udgaver af et procesdiagram over et termodynamisk system. Fra henholdsvis (a) Both & Christiansen, 1990, s. 7-3, (b) Tipler, 1991, s. 567, og (c) Krauskopf & Beiser, 1997, s. 118. 73
- III. 49. Elektrisk kredsløbsdiagram over en parallel LCR-kreds. Fra Tipler, s.919. 74
- III. 50. I den kvalitative graf kan vi ikke aflæse nøjagtige værdier, men iagttage et mønster, her af en kasteparabel. Fra Christiansen mfl., 1987, s. 2-5. 76
- III. 51. Den grafiske løsning af munkeopgaven som beskrevet i teksten. 77
- III. 52. Illustrationen til venstre fungerer som bevis for teoremet til højre. I dette tilfælde stopper markeringen ved $n=3$, dvs. $(2n-1)=5$ 78
- III. 53. Feynman diagram for elektronspredning. Fra Rohlf, 1994, s. 23. 80
- III. 54. Bil i kurve vist i perspektiv. Se også Bilag C. Fra Sanny & Moebis, 1996, s. 88. .. 85
- III. 55. Et termodynamisk system bestående af en gas i en cylinderbeholder hvis hulrum er afgrænset af et stempel. Fra Sears mfl., 1976, part 1, s. 325. 86
- III. 56. Et forsøg på at skildre den rumlige struktur i en elektromagnetisk generator. Fra Ohanian, 1989, s. 788. 87
- III. 57. Billedteksten forankrer illustrationen af foto- multiplikatoren ved at svare på det fundamentale spørgsmål "Hvad er det?". Fra Rohlf, 1994, s. 80. 89
- III. 58. Figur og tekst afløser hinanden ved at formidle information som kun tilsammen skaber mening. Fra Nolan, s. 866. 89
- III. 59. Portier på vej til at dreje til venstre med et roterende svinghjul. Fra Epstein & Hewitt, 1981, s. 115. 91
- III. 60. Beskrivelse af situationen med svinghjul i kuffert til den første løsning. Koordinatsystemet med akserne x , y og z har origo i svinghjulets tyngdepunkt. 92
- III. 61. Fire figurer til den konceptuelle besvarelse af svinghjulsopgaven. Fra Epstein & Hewitt, 1981, s. 116f. 93
- III. 62. Tankeeksperimentet *Einsteins elevator* her visualiseret til forskellige tider t_1 - t_4 . Fra Tipler, 1991, s. 1133. 94
- III. 63. Superposition af to tilstande i Schrödingers Kat Paradokset. Fra Brown, 1991, s. 24. 95

Summary

The present thesis, titled *The Power of Illustration – Visual Communication in Physics*, is submitted as the fulfilment of the requirements for the master degree in Physics and Communication Studies at Roskilde University. The work is dedicated to the question of how physical knowledge is communicated through illustrations, and has its point of departure in visualization – and this includes pictures as well as mental models – taken as crucial to the way we understand science. The study of illustrations concentrates on textbooks intended for general physics courses at university level. The basis for theoretical considerations in the thesis is found in studies of perception, picture analysis and the role of illustration in teaching and learning.

After introducing the aims of the project and choice of methods in chapter 1, the thesis proceeds in chapter 2 examining functions and purposes of illustrating in relation to existing knowledge in areas of cognitive psychology and pedagogics. This leads to a pragmatic classification of three types of illustrations in physics: the photograph, the figure and the diagram ("fotografi", "figur" and "diagram"). This classification forms the basis of the following three chapters which examines the structure, content and intended communication in a range of examples taken from textbooks.

Generally, *photographs* in physics is used in order to communicate denotative messages. But photographs also have very strong connotations and together this often implies an underestimation of connotative messages in the picture. The important lesson to be drawn from this, is for the sender never to forget the existence of connotations, even though he or she does not use it directly in the context. Usually, the role of photographs in textbooks is to *describe* an unknown or uncommon phenomenon and to *attract* and *sustain attention*. But often there is also an *expressive* component of photographic messages, e.g. in photographs of scenes characterized by high activity or by rapid movements. Some newer textbooks use photographs directly designed for physics teaching in a very creative way and this shows a potential for higher integration of photographs in teaching.

The type of illustration called *figure* covers a range of rather different pictures, but still they have a lot in common. First and foremost it is essential how they exploit spatial layout in a way that resembles the spatial configuration of the part of reality described. This also goes for two out of the three kinds of objects present in figures: *real objects* and *model objects* ("realobjekter" and "modelobjekter"). Both communicate through iconic similarities with real things: The former as *representations* of real things and the latter through analogies as *representations of properties* belonging to certain real things. The third kind of objects present in figures rely on *theoretical principles*, e.g. vectors and field-lines, and is called *symbol objects* ("symbolobjekter"). These three kinds of objects is the "ingredients" in figures, and in teaching it is very important to keep them distinguishable. The role of figures in physics is, as the role of photographs, usually a description of certain phenomena, but in a much more confining way because the content of a figure is selected premeditatedly and thereby determines what matters and what does not. Still, there

is many risks of misunderstanding a figure, for example by taking irrelevant aspects literally. This is especially the case when a figure *interprets* physical theory through the use of model objects.

The third type of illustrations in physics, *diagrams*, are, like figures, very diverse in structure and content. Contrary to figures, diagrams exploit spatial layout in a way *different* from the spatial configuration of the part of reality described – or, as is often the case, they describe phenomena, processes and relations that as a matter of principle cannot be seen in reality or observed in a way similar to the diagram. Instead diagrams concentrate on *organizing* data and *claiming* coherence and connections between often rather abstract notions. The freedom to use spatial layout as one desire, gives the sender full ability to choose objects and elements and their visual appearance. This makes diagrams the most exact way to visualize physical knowledge, but it also often makes interpretation of diagrams rather hard and complex – diagrams seldom works by intuition. All though the examples are rather rare and special, the possibility of actually *proving* things with diagrams is another convincing argument for the power of using visualizations.

The three chapters dealing with the three types of illustrations show the variety of opportunities, but at the same time they insist on the existence of guidelines one has to follow in order to communicate successfully. In chapter 6 this discussion proceeds to consider context. It is discussed how to characterize the strong relations between illustrations, text and formulas. Especially differences between pictures and mathematics in education is considered, partly because of the typical opinion that textbook writers has to choose the one or the other. It is argued that a more constructive and promising attitude can be obtained if we see pictures and mathematics as complementary parts both contributing in an essential way to the understanding of physical knowledge: Formulas and mathematics by quantitative and practicable predictions, and illustrations by forming the basis of conceptual understanding of physical phenomena.

The last chapter considers consequences of the present thesis. A better and deliberate use of illustrations in physics is no revolutionary solution to communication problems or the decreasing number of students choosing physics at higher levels of education. But illustrations is a strong instrument in the process of transforming basic principles in physics to explicit cases showing relations and differences between these principles and everyday concepts. This, on the other hand, requires a serious attitude to visualization in education and communication of physics, and possibly also a more direct effort in teaching the students how to decode and use pictorial information.

The field of research dealt with in the present thesis is by no means covered by this work and futher investigations of the use of illustrations in education, e.g. in practical situations, is recommended. Also the effect on the remembering and the verbalization of physical knowledge through illustrations is an obvious subject for future studies.

Bilag A: Definitioner af begreber

Mange af de begreber jeg i rapporten bruger med en specifik betydning i forhold til illustrationer i fysikken, har almindeligvis et bredere eller mangetydigt indhold. Jeg giver derfor i dette bilag definitioner af disse begreber i forhold til den måde hvorpå jeg anvender dem i diskussionen af fysikillustrationer. Det er vel at mærke ikke forslag til definitioner der kan dække alle andre betydninger af begreberne, men et ønske om at specificere sprogbruget for at gøre analysen og diskussionen af illustrationerne konsistent.

Begreber brugt om den virkelige verden:

Egenskab	Karakteristika ved virkelige genstande og fænomener. Fx en fjeders <i>elasticitet, hvilelængde, farve og vægt</i> .
Fænomen	Forekomst der ikke nødvendigvis har genstandskarakter, men som er noget reelt eksisterende som vi foretrækker at beskrive under ét. Fx <i>regnbue, atom og elektron</i> .
Genstand	De virkelige udgaver af de objekter som vi møder i illustrationer, og som kan sanses. Fx en <i>virkelig fjeder</i> (der i en illustration fx vil være repræsenteret af realobjektet en fjeder).

Begreber brugt om illustrationer i fysikken:

Analogi	Kobling mellem en struktur og et indhold i et kildeområde (<i>modellen</i>) og en struktur og et indhold i et målområde (<i>fænomenet</i> der ønskes forklaret) gennem fælles kvaliteter.
Billede	Afgrænset materiale der på en flade benytter grafiske udtryksformer ud over tekst i form af bogstaver.
Diagram	Illustrationer der er tegnet uden hensyntagen til objekternes ikoniske og placeringsmæssige lighedstræk med de genstande eller begreber de repræsenterer, men for at visualisere relationer mellem objekterne. Fx <i>graf over tryk og rumfang af en gas i en beholder</i> .
Element	Den mindste betydningsbærende enhed i en illustration. Fx en <i>spiral</i> eller et <i>hjul</i> .
Figur	Illustrationer der er tegnet så de grundlæggende objekter har ikoniske og placeringsmæssige lighedstræk med de genstande de forestiller. Fx <i>gas i beholder med stempel</i> .
Fotografi	Illustrationer der er fremstillet ved fotografiske eller lign. teknikker. Fx <i>fotografi af dampkedel</i> .
Illustration	Billede i fagbogmateriale eller billede som kan tillægges en funktion i undervisning, og som ikke er beregnet til at stå alene. Kan inddeles i de tre typer <i>fotografi, figur og diagram</i> .

Kvalitet	De egenskaber der for objekter i den enkelte illustration har en fysikfaglig betydning. Kan både være målelig (fx en fjeders <i>hvilelængde</i>) eller blot af kvalitativ art (fx at en fjeder er <i>elastisk</i>).
Model	Et eller flere modelobjekter der i en illustration kan bruges i en analogi for et fænomen. Fx <i>solsystem</i> som model for atomet eller <i>fjeder</i> som model for elastisk sammenkobling.
Modelobjekt	Objekt i figurer der skal forstås ud fra analogiske kvaliteter. Fx <i>fjeder for elastisk binding mellem atomer</i> eller <i>pil for retlinjet bevægelse</i> .
Objekt	De dele i en illustration som vi mest hensigtsmæssigt kan opdele den i for at kunne analysere og diskutere den. Objekter kan bestå af kun ét element som fx en <i>fjeder</i> , eller flere som fx en <i>bil</i> . Kan i figurer inddeles i de tre typer <i>real-</i> , <i>model-</i> og <i>symbolobjekter</i> .
Realobjekt	Objekt i figurer der skal forstås ud fra de ikoniske egenskaber eller kvaliteter der er fælles med den genstand det repræsenterer. Fx en <i>fjeder i mekanisk opstilling</i> .
Symbolobjekt	Objekt i figurer der skal forstås ud fra principielle kvaliteter der er defineret eksplicit i fysikken med baggrund i fx matematik, modelobjekter og konventioner. Fx en <i>pil som en vektor</i> med kvaliteterne længde, retning og angrebspunkt.

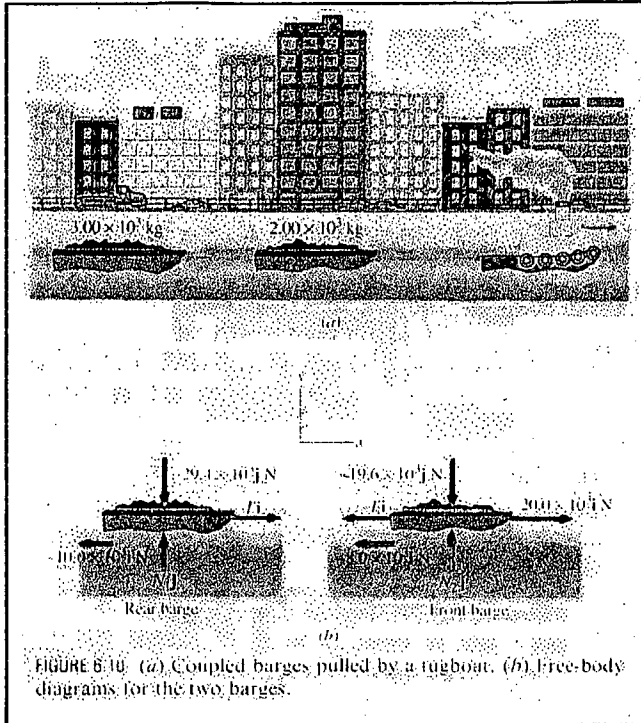
Bilag B: anbefalinger til afsendere af fysikillustrationer

Der kan ikke gives præcise opskrifter på hvordan man fremstiller en god fysikillustration – hvilket også gælder illustrationer i andre sammenhænge. Men der kan gives mange gode praktiske råd som kan hjælpe i arbejdet med at fremstille illustrationer der har en positiv indvirkning på læring. I dette bilag vil jeg videregive de umiddelbare praktiske konsekvenser af mine egne konklusioner. Jeg giver disse råd som en inspiration på baggrund af erfaringer som jeg mener det ville være ærgerligt ikke at videregive. Jeg vil i øvrigt henvise til Pedersen, 1987, der er fyldt med gode råd og tommelfingerregler til produktion af illustrationer i faglige tekster. Er man i tvivl, så spørg en erfaren praktiker til råds. De fleste empiriske undersøgelser bekræfter praktiske eksperters anbefalinger.

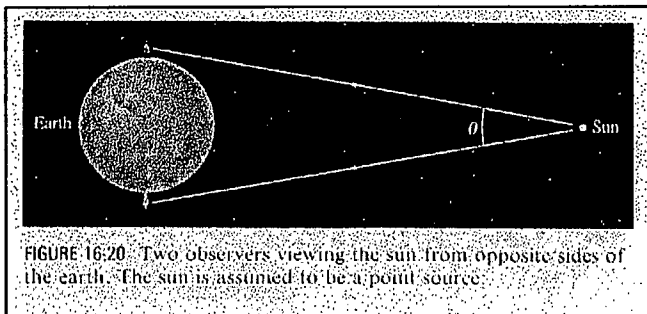
1. Vær seriøs med illustrationerne. Den første forudsætning for at andre kan forstå en illustration, er at den kan klare afsenderens egen kritiske analyse. Studér egne illustrationer grundigt fra ende til anden og prøv at følge argumentationen i illustrationen.
2. Vælg formål før form. Ved produktionen af en illustration må der tages udgangspunkt i budskabet. Hvis ikke det står lysende klart for afsenderen, kan man meget let komme til at indsætte modstridende signaler i illustrationen.
3. Tag hensyn til målgruppen. Det handler i høj grad om at tage udgangspunkt i målgruppen når man skal illustrere: Hvilket kendskab har de i forvejen til de fænomener man skal beskæftige sig med, hvilke erfaringer har de med lignende fænomener eller apparater, og hvilke visualiseringsformer er de vant til. Hvis man ikke kender målgruppen så godt, er det meget tilrådeligt at vise illustrationerne til repræsentanter herfra, på samme måde som man lader sin tekst læse af andre inden produktionen.
4. Vær opmærksom på reproduktion. Bare fordi andre har benyttet en bestemt illustration, er det på ingen måde sikkert at den er hensigtsmæssig. På den anden side er der fornuft i at genbruge fordi modtageren herved lettere opnår at blive velkendt med fysikkens emneområder.
5. Integrér illustrationen med konteksten. Illustrationer i fagtekster bør være en del af en helhed og bør derfor hænge tæt sammen med den omgivende tekst.
6. Vær konsekvent med brugen af illustrationer. De forskellige illustrationer i en tekst bør være konsistente, og det er derfor ofte fornuftigt at genbruge objekterne i samme udseende, hvilket svarer til at vi er konsekvente med anvendelsen af bogstavs- og symbolbetegnelser i teksten.
7. Brug rækker af illustrationer. Tidslige forløb formidles tydeligst med flere illustrationer efter hinanden. I visse tilfælde kan flere eksponeringer i det samme fotografi dog også give en tydelig fornemmelse af den tidslige udvikling.
8. Brug fotografier med et formidlingsformål. Fotografier kan sagtens vælges så de er med til at illustrere den faglige tekst, og skal derfor ikke blot ses som et middel til at gøre materialet mere indbydende. Brug fantasien og overvej om det er muligt at fremstille fotografier svarende til de visualiseringer der ville bruges i en undervisningssituation.

9. Vær bevidst om fotografiers medbetydning. Et fotografi er ingen objektiv formidling af virkeligheden og kan derfor ikke renses for ikke-faglige signaler. Overvej derfor altid hvad fotografiet fortæller *om* fysikken og forsøg at bruge dette konstruktivt.
10. Udskift evt. figurer med fotografier. Hvis det er meget vigtigt at en figur viser en situation realistisk, så overvej om det ikke bedre kunne gøres med et fotografi. Med lidt kreativitet kan mange situationer faktisk fotograferes så de svarer til den måde vi normalt tegner dem. Man kan også vælge at anvende både et fotografi og en figur af en situation, hvilket ofte er en udmærket løsning.
11. Adskil figurer og diagrammer. Hvis billedfladen bruges i overensstemmelse med virkelige forhold, bør dette ske konsekvent, og der bør gøres opmærksom på afvigelser og overdrivelser. Omvendt hvis billedfladen *ikke* bruges i overensstemmelse med virkelige forhold, må det være tydeligt at de geometriske forhold og størrelsesforhold ikke kan overføres på virkeligheden.
12. Undgå overflødig information i illustrationerne. Der er grænser for vores hukommelseskapacitet, og figurer og diagrammer er oftest mest effektfulde når de netop kun medtager den nødvendige information. Brug derfor enkle skitser frem for komplekse.
13. Objekterne skal være genkendelige, men ikke kopier. I udformningen af det enkelte objekt skal man naturligvis tilstræbe genkendelighed, men for objekter der repræsenterer uspecificerede genstande bør man undgå detaljer der blot bidrager til det æstetiske udtryk. Brug hellere tekst og symboler til at fastlægge betydningen af objekterne hvis det er svært at formidle et objekt med et simpelt udtryk.
14. Vær varsom med farvebrug. Det er de færreste illustrationer der bliver bedre af at være farvelagte. Farver er dog enestående til at rette modtagerens opmærksomhed mod bestemte områder eller objekter i illustrationen, men denne effekt forsvinder ved brug af flere farver. Ved brug af farvekoder bør man være sikker på at kunne anvende dem konsekvent – ellers forsvinder pointen. Fotografier af naturlige fænomener, så som regnbuen, er dog ikke overraskende at foretrække i farver.
15. Undgå 3-dimensionale figurer. Brugen af dybde og perspektiv kommer som regel i konflikt med faglige forhold. Lav hellere to eller flere figurer set fra forskellige synsvinkler.
16. Vælg modeller med omhu. Ved brugen af analogier og modeller kan modtageren let komme til at overføre forkerte egenskaber fra modellen til det fysiske fænomen. Forsøg derfor at visualisere modellerne så de er i størst mulig overensstemmelse med det de er modeller for, og brug kræfter på at fortælle hvad der ikke kan overføres.
17. Brug diagrammer til abstrakte emner. Diagrammer er enestående til at give modtageren mulighed for at overskue og fastholde et mønster mellem abstrakte begreber. Samtidig huskes billeder af objekter bedre end deres navne.

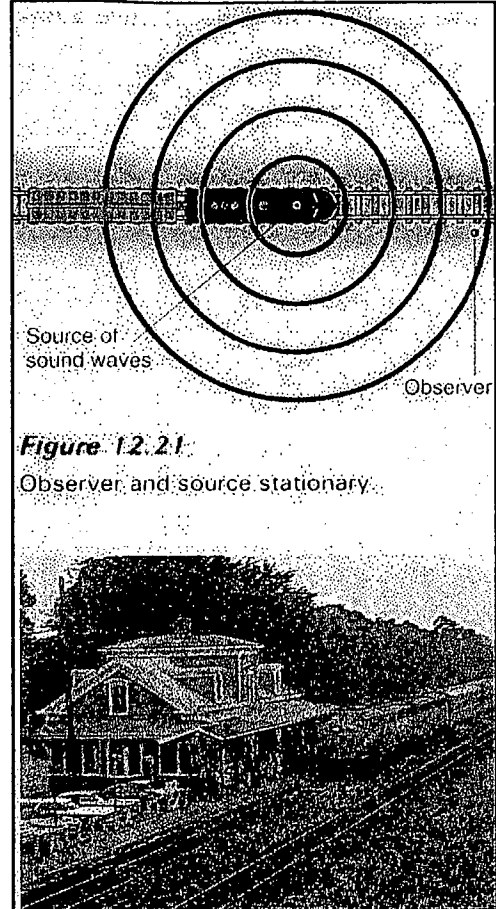
Bilag C: Farveillustrationer



III. 27.



III. 29



III. 28

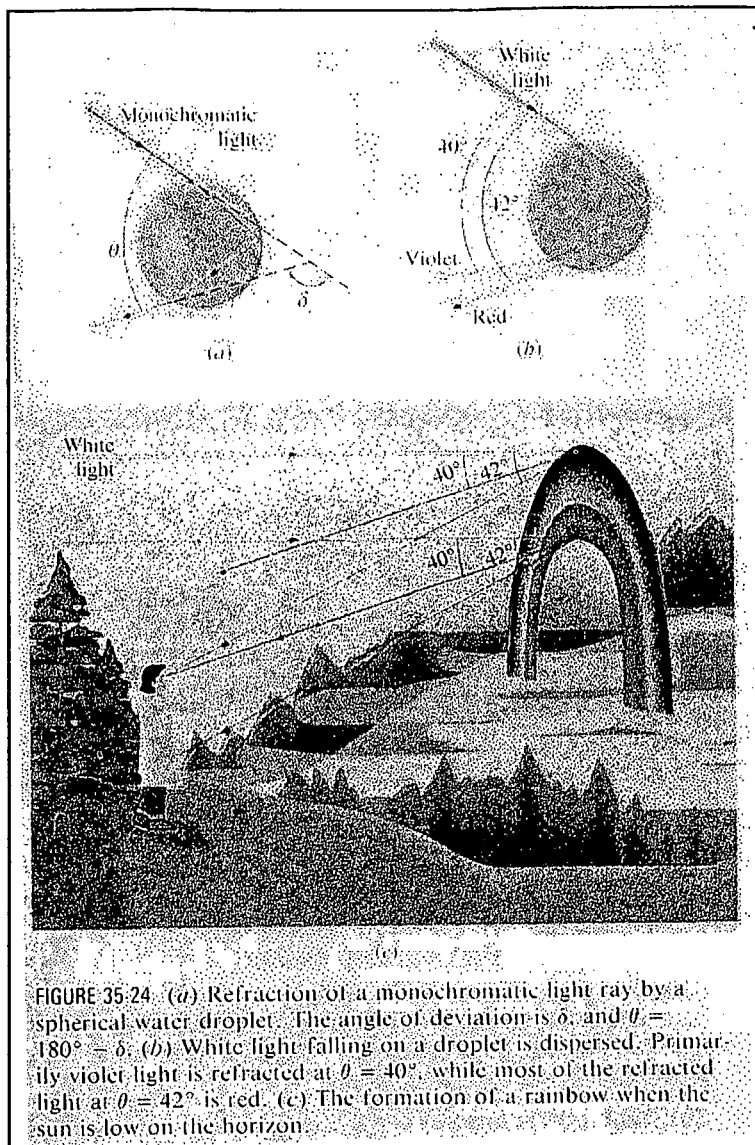
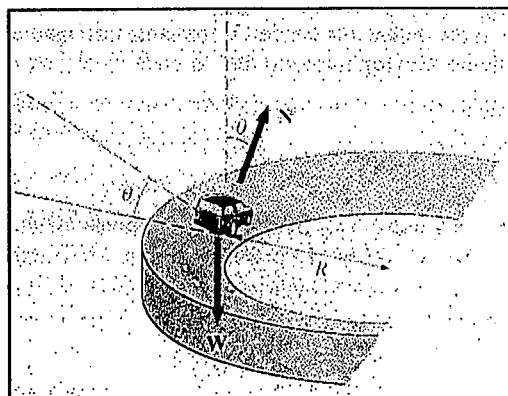


FIGURE 35-24 (a) Refraction of a monochromatic light ray by a spherical water droplet. The angle of deviation is δ , and $\theta = 180^\circ - \delta$. (b) White light falling on a droplet is dispersed. Primarily violet light is refracted at $\theta = 40^\circ$, while most of the refracted light at $\theta = 42^\circ$ is red. (c) The formation of a rainbow when the sun is low on the horizon.

III. 40.



III. 54.

Liste over tidligere udkomne tekster
tilsendes gerne. Henvendelse herom kan
ske til IMFUFA's sekretariat
tlf. 46 74 22 63

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 236a/93 INTRODUKTION TIL KVANTE HALL EFFEKTEN
af: Anja Boisen, Peter Bøggild
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
Erland Brun Hansen
- 236b/93 STRØMSSAMMENBRUD AF KVANTE HALL EFFEKTEN
af: Anja Boisen, Peter Bøggild
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
Erland Brun Hansen
- 237/93 The Wedderburn principal theorem and Shukla cohomology
af: Lars Kadison
- 238/93 SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (2)
Vektorbånd og tensorer
af: Peder Voetmann Christiansen
- 239/93 Valgsystemer - Modelbygning og analyse Matematik 2. modul
af: Charlotte Gjerrild, Jane Hansen, Maria Hermannsson, Allan Jørgensen, Ragna Clauson-Kaas, Poul Lützen
Vejleder: Mogens Niss
- 240/93 Patologiske eksempler. Om sære matematiske fisks betydning for den matematiske udvikling
af: Claus Dråby, Jørn Skov Hansen, Runa Ulsøe Johansen, Peter Meibom, Johannes Kristoffer Nielsen
Vejleder: Mogens Niss
- 241/93 FOTOVOLTAISK STATUSNOTAT 1
af: Bent Sørensen
- 242/93 Brovedligholdelse - bevar mig vel
Analyse af Vejdirektoratets model for optimering af broreparationer
af: Linda Kyndlev, Kare Fundal, Kamma Tulinius, Ivar Zeck
Vejleder: Jesper Larsen
- 243/93 TANKEEKSPERIMENTER I FYSIKKEN
Et 1.modul fysikprojekt
af: Karen Birkelund, Stine Sofia Korremann
Vejleder: Dorthe Posselt
- 244/93 RADONTRANSFORMATIONEN og dens anvendelse i CT-scanning
Projektrapport
af: Trine Andreasen, Tine Guldager Christiansen, Nina Skov Hansen og Christine Iversen
Vejledere: Gestur Olafsson og Jesper Larsen
- 245a+b /93 Time-Of-Flight målinger på krystallinske halvledere
Specialerapport
af: Linda Szkotak Jensen og Lise Odgaard Gade
Vejledere: Petr Viscor og Niels Boye Olsen
- 246/93 HVERDAGSVIDEN OG MATEMATIK - LÆREPROCESSER I SKOLEN
af: Lena Lindenskov, Statens Humanistiske Forskningsråd, RUC, IMFUFA
- 247/93 UNIVERSAL LOW TEMPERATURE AC CONDUCTIVITY OF MACROSCOPICALLY DISORDERED NON-METALS
by: Jeppe C. Dyre
- 248/93 DIRAC OPERATORS AND MANIFOLDS WITH BOUNDARY
by: B. Booss-Bavnbek, K.P.Wojciechowski
- 249/93 Perspectives on Teichmüller and the Jahresbericht Addendum to Schappacher, Scholz, et al.
by: B. Booss-Bavnbek
With comments by W.Abikoff, L.Ahlfors, J.Cerf, P.J.Davis, W.Fuchs, F.P.Gardiner, J.Fost, J.-P.Kahane, R.Lohan, L.Lorch, J.Radkau and T.Söderqvist
- 250/93 EULER OG BOLZANO - MATEMATISK ANALYSE SET I ET VIDENSKABSTEORETISK PERSPEKTIV
Projektrapport af: Anja Juul, Lone Michelsen, Tomas Højgård Jensen
Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 251/93 Genotypic Proportions in Hybrid Zones
by: Freddy Bugge Christiansen, Viggo Andreasen and Ebbe Thue Poulsen
- 252/93 MODELLERING AF TILFÆLDIGE FÆNOMENER
Projektrapport af: Birthe Friis, Lisbeth Helmsgaard Kristina Charlotte Jakobsen, Marina Mosbæk Johannessen, Lotte Ludvigsen, Mette Hass Nielsen
- 253/93 Kuglepakning
Teori og model
af: Lise Arleth, Kåre Fundal, Nils Kruse
Vejleder: Mogens Niss
- 254/93 Regressionsanalyse
Materiale til et statistikkursus
af: Jørgen Larsen
- 255/93 TID & BETINGET UAFHÆNGIGHED
af: Peter Harremoës
- 256/93 Determination of the Frequency Dependent Bulk Modulus of Liquids Using a Piezo-electric Spherical Shell (Preprint)
by: T. Christensen and N.B.Olsen
- 257/93 Modellering af dispersion i piezoelektriske keramikker
af: Pernille Postgaard, Jannik Rasmussen, Christina Specht, Mikko Østergård
Vejleder: Tage Christensen
- 258/93 Supplerende kursmateriale til "Lineære strukturer fra algebra og analyse"
af: Mogens Brun Beefelt
- 259/93 STUDIES OF AC HOPPING CONDUCTION AT LOW TEMPERATURES
by: Jeppe C. Dyre
- 260/93 PARTITIONED MANIFOLDS AND INVARIANTS IN DIMENSIONS 2, 3, AND 4
by: B. Booss-Bavnbek, K.P.Wojciechowski

- 261/93 OPGAVESAMLING
Bredde-kursus i Fysik
Eksamensopgaver fra 1976-93
- 262/93 Separability and the Jones
Polynomial
by: Lars Kadison
- 263/93 Supplerende kursusmateriale til
"Lineære strukturer fra algebra
og analyse" II
af: Mogens Brun Heefelt
- 264/93 FOTOVOLTAISK STATUSNOTAT 2
af: Bent Sørensen
-
- 265/94 SPHERICAL FUNCTIONS ON ORDERED
SYMMETRIC SPACES
To Sigurdur Helgason on his
sixtyfifth birthday
by: Jacques Faraut, Joachim Hilgert
and Gestur Olafsson
- 266/94 Kommensurabilitets-oscillationer i
laterale supergitre
Fysikspeciale af: Anja Boisen,
Peter Bøggild, Karen Birkelund
Vejledere: Rafael Taboryski, Poul Erik
Lindelof, Peder Voetmann Christiansen
- 267/94 Kom til kort med matematik på
Eksperimentarium - Et forslag til en
opstilling
af: Charlotte Gjerrild, Jane Hansen
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek
- 268/94 Life is like a sewer ...
Et projekt om modellering af aorta via
en model for strømning i kloakrør
af: Anders Marcussen, Anne C. Nilsson,
Lone Michelsen, Per M. Hansen
Vejleder: Jesper Larsen
- 269/94 Dimensionsanalyse en introduktion
metaprojekt, fysik
af: Tine Guldager Christiansen,
Ken Andersen, Nikolaj Hermann,
Jannik Rasmussen
Vejleder: Jens Højgaard Jensen
- 270/94 THE IMAGE OF THE ENVELOPING ALGEBRA
AND IRREDUCIBILITY OF INDUCED REPRESENTATIONS OF EXPONENTIAL LIE GROUPS
by: Jacob Jacobsen
- 271/94 Matematikken i Fysikken.
Opdaget eller opfundet
NAT-BAS-projekt
vejleder: Jens Højgaard Jensen
- 272/94 Tradition og fornyelse
Det praktiske elevarbejde i gymnasiets
fysikundervisning, 1907-1988
af: Kristian Hoppe og Jeppe Guldager
Vejledning: Karin Beyer og Nils Hybel
- 273/94 Model for kort- og mellemdistanceløb
Verifikation af model
af: Lise Fabricius Christensen, Helle Pilemann,
Bettina Sørensen
Vejleder: Mette Olufsen
- 274/94 MODEL 10 - en matematisk model af intravenøse
anæstetikas farmakokinetik
3. modul matematik, forår 1994
af: Trine Andreasen, Bjørn Christensen, Christine
Green, Anja Skjoldborg Hansen, Lisbeth
Helmgaard
Vejledere: Viggo Andreasen & Jesper Larsen
- 275/94 Perspectives on Teichmüller and the Jahresbericht
2nd Edition
by: Bernhelm Booss-Bavnbek
- 276/94 Dispersionsmodellering
Projektrapport 1. modul
af: Gitte Andersen, Rehannah Borup, Lisbeth Friis,
Per Gregersen, Kristina Vejre
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek
- 277/94 PROJEKTARBEJDSPÆDAGOGIK - Om tre tolkninger af
problemorienteret projektarbejde
af: Claus Flensted Behrens, Frederik Voetmann
Christiansen, Jørn Skov Hansen, Thomas
Thingstrup
Vejleder: Jens Højgaard Jensen
- 278/94 The Models Underlying the Anaesthesia
Simulator Sophus
by: Mette Olufsen(Math-Tech), Finn Nielsen
(RISØ National Laboratory), Per Føge Jensen
(Herlev University Hospital), Stig Andur
Pedersen (Roskilde University)
- 279/94 Description of a method of measuring the shear
modulus of supercooled liquids and a comparison
of their thermal and mechanical response
functions.
af: Tage Christensen
- 280/94 A Course in Projective Geometry
by Lars Kadison and Matthias T. Kromann
- 281/94 Modellering af Det Cardiovasculære System med
Neural Puls kontrol
Projektrapport udarbejdet af:
Stefan Frello, Runa Ulsø Johansen,
Michael Poul Curt Hansen, Klaus Dahl Jensen
Vejleder: Viggo Andreasen
- 282/94 Parallele algoritmer
af: Erwin Dan Nielsen, Jan Danielsen,
Niels Bo Johansen

- 283/94 Grænser for tilfældighed
(en kaotisk talgenerator)
af: Erwin Dan Nielsen og Niels Bo Johansen
- 284/94 Det er ikke til at se det, hvis man ikke
lige ve' det!
Gymnasie matematikkens begrundelsesproblem
En specialerapport af Peter Hauge Jensen
og Linda Kyndlev
Veileder: Mogens Niss
- 285/94 Slow coevolution of a viral pathogen and
its diploid host
by: Viggo Andreassen and
Freddy B. Christiansen
- 286/94 The energy master equation: A low-temperature
approximation to Bässler's random walk model
by: Jeppe C. Dyre
- 287/94 A Statistical Mechanical Approximation for the
Calculation of Time Auto-Correlation Functions
by: Jeppe C. Dyre
- 288/95 PROGRESS IN WIND ENERGY UTILIZATION
by: Bent Sørensen
- 289/95 Universal Time-Dependence of the Mean-Square
Displacement in Extremely Rugged Energy
Landscapes with Equal Minima
by: Jeppe C. Dyre and Jacob Jacobsen
- 290/95 Modellering af uregelmæssige bølger
Et 3.modul matematik projekt
af: Anders Marcussen, Anne Charlotte Nilsson,
Lone Michelsen, Per Mørkegaard Hansen
Veileder: Jesper Larsen
- 291/95 1st Annual Report from the project
LIFE-CYCLE ANALYSIS OF THE TOTAL DANISH
ENERGY SYSTEM
an example of using methods developed for the
OECD/IEA and the US/EU fuel cycle externality study
by: Bent Sørensen
- 292/95 Fotovoltaisk Statusnotat 3
af: Bent Sørensen
- 293/95 Geometridiskussionen - hvor blev den af?
af: Lotte Ludvigsen & Jens Frandsen
Veileder: Anders Madsen
- 294/95 Universets udvidelse -
et metaprojekt
Af: Jesper Duelund og Birthe Friis
Veileder: Ib Lundgaard Rasmussen
- 295/95 A Review of Mathematical Modeling of the
Controlled Cardiovascular System
By: Johnny T. Ottesen
- 296/95 RETIKULER den klassiske mekanik
af: Peder Voetmann Christiansen
- 297/95 A fluid-dynamical model of the aorta with
bifurcations
by: Mette Olufsen and Johnny Ottesen
- 298/95 Mordet på Schrödingers kat - et metaprojekt om
to fortolkninger af kvantemekanikken
af: Maria Hermannsson, Sebastian Horst,
Christina Specht
Veiledere: Jeppe Dyre og Peder Voetmann Christiansen
- 299/95 ADAM under figenbladet - et kig på en samfunds-
videnskabelig matematisk model
Et matematisk modelprojekt
af: Claus Dræby, Michael Hansen, Tomas Højgård Jensen
Veileder: Jørgen Larsen
- 300/95 Scenarios for Greenhouse Warming Mitigation
by: Bent Sørensen
- 301/95 TOK Modellering af træers vækst under påvirkning
af ozon
af: Glenn Møller-Holst, Marina Johannessen, Birthe
Nielsen og Bettina Sørensen
Veileder: Jesper Larsen
- 302/95 KOMPRESSORER - Analyse af en matematisk model for
aksialkompressorer
Projekt rapport af: Stine Bøggild, Jakob Hilmer,
Pernille Postgaard
Veileder: Viggo Andreassen
- 303/95 Masterlignings-modeller af Glasovergangen
Termisk-Mekanisk Relaksation
Specialerapport udarbejdet af:
Johannes K. Nielsen, Klaus Dahl Jensen
Veiledere: Jeppe C. Dyre, Jørgen Larsen
- 304a/95 STATISTIKNOTER Simple binomialfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen
- 304b/95 STATISTIKNOTER Simple normalfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen
- 304c/95 STATISTIKNOTER Simple Poissonfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen
- 304d/95 STATISTIKNOTER Simple multinomialfordelingsmodeller
af: Jørgen Larsen
- 304e/95 STATISTIKNOTER Mindre matematisk-statistisk opslagsværk
indeholdende bl.a. ordforklaringer, resuméer og
tabeller
af: Jørgen Larsen

- 305/95 The Maslov Index:
A Functional Analytical Definition
And The Spectral Flow Formula
By: B. Booss-Bavnbek, K. Furutani
- 306/95 Goals of mathematics teaching
Preprint of a chapter for the forthcoming International Handbook of Mathematics Education (Alan J. Bishop, ed)
By: Mogens Niss
- 307/95 Habit Formation and the Thirdness of Signs
Presented at the semiotic symposium
The Emergence of Codes and Intensions as a Basis of Sign Processes
By: Peder Voetmann Christiansen
- 308/95 Metaforer i Fysikken
af: Marianne Wilcken Bjerregaard, Frederik Voetmann Christiansen, Jørn Skov Hansen, Klaus Dahl Jensen, Ole Schmidt
Vejledere: Peder Voetmann Christiansen og Petr Viscor
- 309/95 Tiden og Tanken
En undersøgelse af begrebsverdenen Matematik udført ved hjælp af en analogi med tid
af: Anita Stark og Randi Petersen
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek
-
- 310/96 Kursusmateriale til "Lineære strukturer fra algebra og analyse" (E1)
af: Mogens Brun Heefelt
- 311/96 2nd Annual Report from the project
LIFE-CYCLE ANALYSIS OF THE TOTAL DANISH ENERGY SYSTEM
by: Hélène Connor-Lajambe, Bernd Kuemmel, Stefan Krüger Nielsen, Bent Sørensen
- 312/96 Grassmannian and Chiral Anomaly
by: B. Booss-Bavnbek, K.P. Wojciechowski
- 313/96 THE IRREDUCIBILITY OF CHANCE AND THE OPENNESS OF THE FUTURE
The Logical Function of Idealism in Peirce's Philosophy of Nature
By: Helmut Pape, University of Hannover
- 314/95 Feedback Regulation of Mammalian Cardiovascular System
By: Johnny T. Ottesen
- 315/96 "Rejsen til tidens indre" - Udarbejdelse af et manuskript til en fjernsynsudsendelse + manuskript
af: Gunhild Hune og Karina Goyle
Vejledere: Peder Voetmann Christiansen og Bruno Ingemann
- 316/96 Plasmaoscillation i natriumklynger
Specialerapport af: Peter Meibom, Mikko Østergård
Vejledere: Jeppe Dyre & Jørn Borggreen
- 317/96 Poincaré og symplektiske algoritmer
af: Ulla Rasmussen
Vejleder: Anders Madsen
- 318/96 Modelling the Respiratory System
by: Tine Guldager Christiansen, Claus Dræby
Supervisors: Viggo Andreasen, Michael Danielsen
- 319/96 Externality Estimation of Greenhouse Warming Impacts
by: Bent Sørensen
- 320/96 Grassmannian and Boundary Contribution to the -Determinant
by: K.P. Wojciechowski et al.
- 321/96 Modelkompetencer - udvikling og afprøvning af et begrebsapparat
Specialerapport af: Nina Skov Hansen, Christine Iversen, Kristin Troels-Smith
Vejleder: Morten Blomhøj
- 322/96 OPGAVESAMLING
Bredde-Kursus i Fysik 1976 - 1996
- 323/96 Structure and Dynamics of Symmetric Diblock Copolymers
PhD Thesis
by: Christine Maria Papadakis
- 324/96 Non-linearity of Baroreceptor Nerves
by: Johnny T. Ottesen
- 325/96 Retorik eller realitet ?
Anvendelser af matematik i det danske Gymnasiums matematikundervisning i perioden 1903 - 88
Specialerapport af Helle Pilemann
Vejleder: Mogens Niss
- 326/96 Bevisteori
Eksemplificeret ved Gentzens bevis for konsistensen af teorien om de naturlige tal
af: Gitte Andersen, Lise Mariane Jeppesen, Klaus Frovin Jørgensen, Ivar Peter Zeck
Vejledere: Bernhelm Booss-Bavnbek og Stig Andur Pedersen
- 327/96 NON-LINEAR MODELLING OF INTEGRATED ENERGY SUPPLY AND DEMAND MATCHING SYSTEMS
by: Bent Sørensen
- 328/96 Calculating Fuel Transport Emissions
by: Bernd Kuemmel

- 329/96 The dynamics of cocirculating influenza strains conferring partial cross-immunity and
A model of influenza A drift evolution
by: Viggo Andreasen, Juan Lin and Simon Levin
- 330/96 LONG-TERM INTEGRATION OF PHOTOVOLTAICS INTO THE GLOBAL ENERGY SYSTEM
by: Bent Sørensen
- 331/96 Viskøse fingre
Specialerapport af:
Vibeke Orlien og Christina Specht
Vejledere: Jacob M. Jacobsen og Jesper Larsen
-
- 332/97 ANOMAL SWELLING AF LIPIDE DOBBELTLAG
Specialerapport af:
Stine Sofia Korremann
Vejleder: Dorthe 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
Vejleder: Jørgen Larsen
- 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 LONG-TERM SCENARIOS FOR GLOBAL ENERGY DEMAND AND SUPPLY
A global clean fossil scenario discussion paper prepared by Bernd Kuemmel
Project leader: Bent Sørensen
- 343/97 IMPORT/EKSPORT-POLITIK SOM REDSKAB TIL OPTIMERET UDNYTTELSE AF EL PRODUCERET PÅ VE-ANLÆG
af: Peter Meibom, Torben Svendsen, Bent Sørensen
- 344/97 Puzzles and Siegel disks
by Carsten Lunde Petersen
-
- 345/98 Modeling the Arterial System with Reference to an Anesthesia Simulator
Ph.D. Thesis
by: Mette Sofie Olufsen
- 346/98 Klyngedannelse i en hulkatode-forstøvningsproces
af: Sebastian Horst
Vejledere: Jørn Borggren, NBI, Niels Boye Olsen
- 347/98 Verificering af Matematiske Modeller - en analyse af Den Danske Eulerske Model
af: Jonas Blomqvist, Tom Pedersen, Karen Timmermann, Lisbet Øhlenschläger
Vejleder: Bernhelm Booss-Bavnbek
- 348/98 Case study of the environmental permission procedure and the environmental impact assessment for power plants in Denmark
by: Stefan Krüger Nielsen
Project leader: Bent Sørensen
- 349/98 Tre rapporter fra FAGMAT - et projekt om tal og faglig matematik i arbejdsmarkedsuddannelserne
af: Lena Lindenskov og Tine Wedege
- 350/98 OPGAVERSAMLING - 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 almindelig matematikundervisning
Specialerapport af: Per Gregersen og Tomas Højgaard Jensen
Vejleder: Morten Blomhøj
- 354/98 A GLOBAL RENEWABLE ENERGY SCENARIO
by: Bent Sørensen and Peter Meibom
- 355/98 Convergence of rational rays in parameter spaces
by: Carsten Lunde Petersen and Gustav Ryd
- 356/98 Terrænmodellering
Analyse af en matematisk model til konstruktion af terrænmodeller
Modelprojekt af: Thomas Frommelt, Hans Ravnkjær Larsen og Arnold Skimminge
Vejleder: Johnny Ottesen
- 357/98 Cayleys Problem
En historisk analyse af arbejdet med Cayley 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
- 360/99 **SYMMETRI I FYSIK**
En Meta-projektrapport af: Martin Niss.
Bo Jakobsen & Tune Bjarke Bonné
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen
- 361/99 *Symplectic Functional Analysis and Spectral Invariants*
by: Bernhelm Booss-Bavnbek, Kenro Furutani
- 362/99 *Er matematik en naturvidenskab? - en udspænding af diskussionen*
En videnskabsfagsprojekt-rapport af Martin Niss
Vejleder: Mogens Nørgaard Olesen