

TEKST NR 423

2003

Fysikkens historie i en almendannende fysikundervisning

- Eksemplificeret med Millikan Ehrenhaft kontroversen

Specialerapport af: Marianne Wilcken Bjerregaard

Vejleder: Albert Chr. Paulsen

TEKSTER fra

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

IMFUFA – Roskilde Universitetscenter – Postboks 260 – DK 4000 Roskilde

Tlf.: 46742263 – Fax: 46743020 – Mail: imfufa@ruc.dk

Marianne Wilcken Bjerregaard

“Fysikkens historie i en almendannende fysikundervisning – Eksemplificeret med Millikan
Ehrenhaft kontroversen”

IMFUFA tekst nr. 423 – 80 sider – ISBN 0106-6242

Abstract

Specialet handler om, hvordan historisk fysik kan bruges i fysikundervisningen, så undervisningen bliver mere relevant for eleverne. Det gennemgår forskellige konstruktivistiske læringsteorier, og forskellige syn på hvad en almendannende fysikundervisning bør indeholde. Millikan Ehrenhaft kontroversen om bestemmelsen af elementarladningen bruges som et eksemplarisk eksempel på, hvordan undervisningen kan tage udgangspunkt i en historisk situation. Kontroversen kan bruges til at undervise i videnskabshistoriske, videnskabsfilosofiske og metakognitive aspekter af faget.

1. Indledning

Dette speciale handler om, hvordan man kan bruge historisk i fysikundervisningen, til at sætte fokus på det almendannende aspekt i undervisningen. Jeg vil i indledningen beskrive hvilke betingelser, der er for at bruge historisk fysik i dag og opstille min problemformulering. Specialet omhandler undervisning i gymnasiet.

Da man reformerede gymnasiet i 1988, var fysik et af de fag, der ændrede sig meget. Undervisningen af faget skulle ikke længere kun være videnskabscentreret, da fysik skulle præsenteres som en menneskelig aktivitet, og fysikken skulle ikke læres for sin egen skyld, men skulle bruges som et redskab til at forstå verden. Derfor blev der reduceret i kernestoffet, og man indførte fem dimensioner, der netop fokuserer på forholdet mellem fysikken og verden.¹ De fem dimensioner, der alle lægger vægt på forskellige metaperspektiver af videnskabsfaget fysik er: Den nære omverden, Fysikkens verdensbillede, Teknik, Fysikken i historisk og filosofisk betydning og Teknologi og samfund.

Formålene for undervisningen er beskrevet i fagbilagene og i undervisningsvejledningerne. I fysikfagbilaget står der:

"Formålet med undervisningen er,

- at eleverne opnår omverdensforståelse og viden om det naturvidenskabelige verdensbillede,*
- at eleverne opnår indsigt i fysiske principper og metoder, der danner grundlag for vor tids teknik, og*
- at eleverne opnår fortrolighed med fysisk tankegang og metode."²*

Dette udtrykker, at eleverne selvfølgelig skal lære fysisk teori og metode, men at formålet med undervisningen er også, at de skal få en bedre forståelse af omverden både før og nu.

I undervisningsvejledningen er undervisningens formål beskrevet mere detaljeret.

"Fysik er en nøgle til forståelse af det moderne verdensbillede Den teknologiske og sociale udvikling i det højteknologiske samfund er nært forbundet med udviklingen indenfor fysik og andre naturvidenskaber. Fysikkens tankegang og metode er en væsentlig del af vort kulturgrundlag. Det er centrale begrundelser for indholdet af fysik som undervisningsfag i gymnasiet Undervisningen skal give eleverne viden om centrale begreber, teorier og metoder fra videnskabsfaget fysik. Denne viden skal formidles i en sammenhæng, der belyser aspekter af det moderne samfund og det moderne verdensbillede. Undervisningen skal endvi-

¹ Nielsen og Thomsen, 1989, s.27

² Undervisningsministeriet 1988, s.14

dere kvalificere eleverne til at deltage i kultur- og samfundslivet, den skal give eleverne grundlag for videre uddannelse, og den skal udvikle elevernes selvstændighed og kreativitet.”³

Denne beskrivelse af formålet og selve begrundelsen for at faget findes i gymnasiet giver et tydeligt signal om, at sammenhænge og perspektiver skal have en høj prioritet i fysikundervisningen.

Inddragelsen af metaperspektivet i undervisningen skal ses som en del af en udvikling, der foregik i det meste af Europa, hvor man især diskuterede, hvordan videnskabshistorie skulle inddrages i fysikundervisningen. I Danmark fokuserede man ikke kun på brugen af videnskabshistorie i undervisningen. Man ønskede generelt at gøre faget mindre abstrakt ved at forholde teori og metode til ”virkeligheden”, da en undersøgelse lavet af Henry Nielsen og Poul Thomsen i 80’erne viste, at det især var abstraktionsniveauet i fysikundervisningen, der afholdte gymnasieeleverne fra at vælge fysik⁴.

I bekendtgørelse for gymnasiet fra 1999 beskriver formålsparagraffen gymnasiets almindelige og forberedende formål

”§1 Undervisningen i gymnasiet skal udgøre en helhed og skal sikre, at eleverne får både almindelse og generel studiekompetence med henblik på at gennemføre videregående uddannelse. Som et led i dette skal både skolen som helhed, de enkelte fag og undervisningen

- 1) fremme elevernes lyst og evne til at deltage i den demokratiske debat og engagere sig i forhold af betydning for demokratiet,*
- 2) fremme elevernes forståelse af ligheder og forskelle mellem deres egen forestillingsverden og den verden, de møder i undervisningen,*
- 3) fremme elevernes ansvarlighed, selvstændighed, kreativitet og samarbejdsevne, samtidig med at elevernes beredskab til at håndtere forandringer styrkes og*
- 4) inddrage aspekter, der styrker elevernes internationale forståelse og bidrager til at øge elevernes miljøbevidsthed.”⁵*

Disse formål for undervisningen er i sagens natur meget overordnede, men de beskriver, at undervisningen ikke kun skal tilrettelægges sådan, at eleverne lærer en vis mængde teori, men de skal også få en forståelse for deres rolle i samfundet og en fornemmelse af fagenes kulturelle betydning. Det almindelige aspekt af undervisningen er svært at få defineret præcist, da det dækker over mange forskellige forhold og bruges i mange sammenhænge. Svein Sjø-

³ Undervisningsministeriet 1988, s.218

⁴ Thomsen og Poulsen, 1989, s.27

⁵ Undervisningsministeriet, 1999a, s. 3

berg (1998) giver en beskrivelse af nogle af de betydninger, der kan lægges i en almindelig fysikundervisning ved at dele det op i fire argumenter:⁶

"...de to første punktene har vekt på det instrumentelle, mens de to siste er mer orientert mot dannelsesaspektet.

1. Økonomiargumentet: *Naturfag som lønnsom forberedelse til yrke og utdanning i et høy-teknologisk og vitenskapsbesert samfunn.*
2. Nytteargumentet: *Naturfag for praktisk mestring av dagliglivet i et moderne samfunn.*
3. Demokratiargumentet: *Naturvitenskapelig kunnskap er viktig for informert eningsdannelse og ansvarlig deltakning i demokratiet.*
4. Kulturargumentet: *Naturvitenskapen er en viktig del av menneskets kultur."*⁷

Økonomiargumentet kan både betragtes ud fra et samfundsmæssigt perspektiv og et individuelt. For at samfundet kan udvikle sig, er det vigtigt, at befolkningen har et højt uddannelsesniveau, og da samfundet bliver mere og mere afhængig af teknologi, er det også vigtigt, at en stor del af befolkningen har en vis viden om de naturvidenskabelige fag. Det skal dog nævnes, at der er stor forskel på den viden, der er nødvendig for at bruge teknologien, og den der er nødvendig for at udvikle den og at sammenhængen mellem teknologi og naturvidenskab ikke længere er så indlysende, som den var tidligere. Set fra den enkeltes side kan det være ønsket om et godt job, der er formålet med at lære naturvidenskab, selv om faggruppen ikke er den, der ligger øverst i samfundet, eller har et særligt godt image blandt eleverne.

Naturvidenskabelige færdigheder kan være en nyttig hjælp til at forstå omverden, og fysik kan måske være med til at mindske fremmedgørelsen overfor den stigende brug af teknologi. Det er nødvendigt at understrege, at fysikken giver et idealiseret billede af naturen og derfor kun er anvendelig, hvis eleverne kan håndtere forskellen mellem den virkelige verden og den idealiserede verden.

En undervisning, der er baseret på økonomi- og nytteargumenterne, vægter de instrumentelle færdigheder og kunne i vid udstrækning baseres på teknologiundervisning i stedet for fysikundervisning. Det er åbenbart, at samfundet er afhængigt af teknologi, men ikke nær så klart, hvordan teknologien forholder sig til fysikundervisningen, og dermed hvordan samfundet forholder sig til fysikundervisningen.

Demokratiargumentet ses i punkt 1 i formålsparagraffen i bekendtgørelsen fra 1999, og for at man kan deltage kvalificeret i samfundsdebatter, er det ofte nødvendigt at kende til naturvidenskabelige forhold, det gælder ikke kun miljødebatten, men også f.eks. sundhedsdebatten og IT-debatten. Man kan dog ikke bruge demokratiargumentet for en fysikundervisning, der

⁶ Han bruger en opdeling fra Millar 1989, men da gennemgangen af argumenterne afhænger af samfundet, man befinder sig i, synes jeg, at Sjøbergs gennemgang, der er skrevet ud fra det norske samfund, passer bedst på det danske uddannelsessystem.

⁷ Sjøberg, 1998, s.162

ikke perspektiveres, da det først er, når den naturvidenskabelige viden kobles sammen med etiske overvejelser, at viden kan bruges i en debat.⁸

Kulturargumentet siger, at naturvidenskab er en vigtig del af vores kultur, og at den er grundlæggende for vores verdensbillede og en del af vores fælles virkelighedsforståelse. For at det kan komme frem i undervisningen, understreger Sjøberg, at det ikke kun er de videnskabelige produkter, der skal undervises i. Den naturvidenskabelige metode, troen på rationalitet, fornuft og en kritisk diskussion er vigtige elementer, når naturvidenskabens plads i kulturarven skal beskrives.⁹ Disse fire argumenter, mener Svein Sjøberg, dækker de almindennende formål med fysikundervisningen.

I Danmark er diskussionen om det almindennende formål i gymnasiet delvist afløst af en kompetencediskussion. Artiklen *Kompetencer og uddannelsesbeskrivelse* af Mogens Niss¹⁰ beskriver, hvordan man kan definere fagenes indhold ved hjælp af en række kompetencer og derved gøre de forskellige undervisningsniveauer sammenlignelige. Den generelle diskussion om gymnasiets stigende almindennende rolle, og om hvordan kompetencebegrebet kan bruges til at udvikle gymnasiet, bliver videreudviklet i artiklen Niss' artikel: *Gymnasiets opgave, almen dannelse og kompetencer*.¹¹ Han beskriver, hvordan nogle af fagene tidligere kun havde et forberedende formål (f.eks. fysik), mens andre kun var almindennende (f.eks. oldtidskundskab), men da gymnasiet ændrede status fra at være en eliteskole til at være en skole for en stor del af ungdommen, blev begge formål lagt ind i hvert fag. Det almindennende formål fik generelt en større betydning i gymnasiet. I artiklen deles det almindennende formål op i to; formal dannelsen, hvor det er dannelsen og træningen af intellektet og identiteten og ikke indholdet af undervisningen, der er central, og materiel dannelse, hvor indholdet er det centrale, da denne del af det almindennende formål består af nyttig viden og kunnen, der skal anvendes af eleven i det samfundsmæssige liv, på arbejdspladsen, i demokratiet eller skal give en fornemmelse for nationalitet og kulturarv.¹² Man kan sige at formal dannelse består af at mestre metoden, mens materiel dannelse består af at mestre produktet. Niss mener, at der skal lægges størst vægt på materiel dannelse, da gymnasiets vigtigste rolle er at udstyre almenheden med dømmekraft, så de kan begå sig i alle dele af samfundet.

"I centrum står altså det, som er essentielt, karakteristisk, gennemgående og almengyldigt for tilstandene og udviklingen både af hver af de tre overlappende sfærer, natur (inklusive den af menneskelig aktivitet påvirkede natur), samfund (inklusive materiel og immateriel produktion og teknologi) og kultur (inklusive den af naturen og samfundsorganisationen påvirkede kultur og den enkeltes liv heri), og af den videnskabelige og kunstneriske be-

⁸ Sjøberg, 1998, s.170-75

⁹ Sjøberg, 1998, s.178

¹⁰ Niss, 1999

¹¹ Niss, 2000

¹² Niss, 2000, s.4-5

skæftigelse med hver af disse sfærer. (Hvad ved vi om hvad? På hvilket grundlag ved vi det? Hvordan beskriver, forstår og fortolker vi fænomener og processer i hver af de tre sfærer og på hvilket grundlag?)”¹³

Niss mener ikke, at gymnasiet lever op til at være almindennende indenfor alle tre sfærer, da man f.eks. kan blive sproglig student næsten uden at være i kontakt med naturvidenskab, og da de samfundsmæssige videnskaber fylder meget lidt i gymnasiet. Han mener, for at det almindennende formål virkelig skulle kunne komme til sin ret, så burde man tænke gymnasiet forfra og lave et helhedsgymnasium, hvor retningslinierne for fagene var lagt, efter hvilken kompetence man kunne udvikle i dem.

Der blev i kølvandet af disse artikler nedsat en arbejdsgruppe i august 2000, der skulle undersøge matematikfaget i hele uddannelsessystemet med henblik på at overføre begrebsapparatet på andre fag. Arbejdsgruppen skulle belyse om matematikfaget trængte til fornyelse, hvordan man kunne opbygge indholdet af faget omkring kompetencer, og hvilke ændringer den tilgang vil give. Jeg vil ikke komme nærmere ind på rapporten her, da den ikke umiddelbart kan overføres til fysikundervisning, men jeg henviser til www.mmf.ruc.dk/~thj/kom.¹⁴

I januar 2001 blev der afholdt et netværksseminar om kompetenceudvikling og pædagogisk praksis, og oplæggene fra seminaret er samlet i hæftet *Kompetenceudvikling og pædagogisk praksis*,¹⁵ hvor forskellige tiltag mod kompetenceudvikling hos eleverne er beskrevet. Der fokuseres især på elevens læring og progression i elevens personlige kompetencer. Personlige kompetencer beskrives som lederskab, evnen til at udvikle forhold til andre, evnen til at løse konflikter og til social analyse.¹⁶ På Viborg Amtsgymnasium og på Helsingør Gymnasium har man gennemført forløb, hvor der blev fokuseret på udvikling af eleverne personlige kompetencer for at kvalificere dem i undervisningssituationen.¹⁷ Beskrivelserne af disse forløb viser, at kompetencebegrebet i praksis kommer til at handle om personlige kompetencer, der primært beskriver, hvordan eleven forholder sig til de arbejdsbetingelser, der er i gymnasiet. Den kompetencebaserede undervisningen fokuserer ikke på at udvikle eleven til en bevidst borger, der både kan tage kritisk stilling til relevante diskussioner i et demokratisk samfund og kender ophavet af sin kultur. Dette til trods for, at der i *Kompetence og pædagogisk praksis* sættes lighedstegn imellem kompetence og almindennelse,¹⁸ derfor mener jeg, at sammenkædningen af det almindennende formål og kompetencebegrebet både er interessant og lidt farligt. Det er interessant, da en af begrundelserne for ikke at fokusere mere på det almindennende formål

¹³ Niss, 2000, s.7

¹⁴ Rapporten er desuden udkommet som hæfte fra undervisningsministeriet efteråret 2002.

¹⁵ Undervisningsministeriet, 2001

¹⁶ Undervisningsministeriet, 2001, se f.eks. s.33-34, s.39-40, s.50-51

¹⁷ Undervisningsministeriet, 2001 s.40 og s.50-51

¹⁸ Undervisningsministeriet, 2001, s.10

er, at man ikke kan eksaminere og vurdere elevens evner i disse sammenhænge, og det giver kompetencebegrebet i en vis grad mulighed for. En fare kan for mig at se ligge i de to eksempler på at virkeliggøre en kompetencefokuseret undervisning, hvor det primært er formal dannelsen, der fokuseres på, nemlig udvikling af elevernes personlige kompetencer i forhold til læring og dermed overses de generelle faglige kompetencer, der oprindeligt lå til grund for begrebets anden side – material dannelsen.¹⁹

1.1 Fysikundervisningen

Danmarks Evalueringsinstitut evaluerede fysikundervisningen i år 2000, og den viser, at der stadig er et behov for at fokusere på fysiks forhold til virkeligheden.²⁰ Evalueringen bygger både på ledelses-, lærer- og elevudsagn, og man kan generelt sige, at det ikke er de personlige kompetencer eller det almindelige fokus, der har den højeste prioritet i fysikundervisningen. Da fysiklærerne blev stillet spørgsmålet, om hvordan fysik levede op til formålsparagrafens almindelige indhold, svarede de, at eleverne lærer at forholde sig til naturvidenskabelige problemstillinger, så de kan opfylde punkt 1 (demokrati-formålet), at de lærer at kende forskel på deres egne forestillinger om naturvidenskabelige fænomener og den etablerede videnskabs fænomener, så de kan opfylde punkt 2 (eleven i forhold til omverden). Lærerne mente, at undervisning i naturvidenskabelig metode opfylder punkt 3 (elevers ansvarlighed...), og at fysik er internationalt, da man har dannet en kultur på tværs af landegrænser og at miljøbevidsthed er en naturlig del af undervisningen som beskrevet i punkt 4.²¹ Disse udsagn tyder på, at der generelt undervises efter en lærerfaglighed, der er defineret ud fra lærernes universitetsstudier, hvor der ikke skelnes mellem videnskabsfaget fysik og skolefaget fysik. Fysiklærerne giver udtryk for at "perspektiverne" kun behandles overfladisk i undervisningen, hvis en elev eller en lærer har set noget interessant i aviser eller lignende, og lærerne bruger ikke "perspektiverne" til at svare spørgsmålet om den almindelige del af fysikundervisningen.

I undervisningsvejledningen fra 1999 bliver dimensionerne afløst af perspektiver, der har de samme overskrifter og næsten det samme indhold, men kravet til gennemførelsen af dem er meget mindre. Hvor det i de tidligere vejledninger blev fremhævet, at man kunne inddrage kernestoffet i gennemgangen af dimensionerne, er forholdet nu blevet omvendt. (Denne ændring er sket for at tilpasse vejledningen til praksis) Videnskabsfaget fysik præsenteres dertil ud fra et videnskabssyn, som ikke virker troværdig.

¹⁹ Niss, 1999, s.4-6

²⁰ Danmarks Evalueringsinstitut, 2001.

²¹ Danmarks Evalueringsinstitut, 2001, s.214

*"Fysik giver mulighed for at opnå præcise svar på en række spørgsmål, hvilket sker ved at anvende mange forskellige metoder til at undersøge og løse problemer. Det kontrollerede eksperiment er særlig karakteristisk. Planlægning og gennemførelse af eksperimenter, kendskab til dannelse af hypoteser, opstilling af modeller og kendskab til hvordan de kan styrkes, modificeres eller forkastes gennem blandt andet eksperimentel afprøvning, er et vigtigt grundlag for fagets tankegange og arbejdsmetoder. Også andre metoder som for eksempel logiske tankekæder eller tankeeksperimenter kan medvirke til at udvikle et fagligt begrebsapparat og en fysisk teori. De videnskabelige resultater kan efterprøves og diskuteres på et fagligt-metodisk grundlag, der ikke er præget af bestemte kulturelle, religiøse eller politiske indstillinger."*²²

Det nævnes dog at arbejdsmetoder og tankegange fra videnskabsfaget ikke ubearbejdet kan overføres til undervisningen, da den også skal være

*"...præget af pædagogiske mål, der giver eleverne gode muligheder for at tilegne sig fagstof og arbejdsmetoder. Undervisningen i begreber og teorier står derfor ikke alene, men formidles i en sammenhæng, hvor eleverne får lejlighed til at reflektere over den opnåede viden og erkendelse, og samtidig for mulighed for at se hvordan fysikken er opstået, udviklet og kan anvendes."*²³

Jeg mener, at denne forenklede beskrivelse af fysikfaget sender mange forkerte signaler. Videnskabsfagets resultater præsenteres, som om de er endegyldige, og det er i sig selv i strid med fagets historie. Det er dertil ikke klart, om det er en beskrivelse af gymnasiefaget fysik eller af videnskabsfaget og det kan bestyrke lærernes opfattelse af, at skolefaget er et neddroppet videnskabsfag. Udsagnet om, at videnskabelige diskussioner ikke er præget af kulturelle, religiøse eller politiske indstillinger, virker naivt. Naturvidenskaben er unikt for den vestlige verden, det er der, den har udviklet sig og f.eks. Matthews (1994) beskriver netop det forhold at lærere i naturfagene tager for givet, at den naturvidenskabelige kultur er tilgængelig for alle elever, som en af de største begrundelse for, at elever ikke tilegner sig faget. Aikenhead har undersøgt, hvilke barrierer elever oplever, når de undervises i naturvidenskabelige skolefag i Australien. Han beskriver, at begrebsforståelsen er anderledes for elever med en ikke-vestlig kultur end for det vestligt orienterede elever. Der er et stort forskningsområde, der netop tager udgangspunkt i elever med ikke-vestlig kultur og deres problemer med at lære naturvidenskab, fordi det strider imod deres egen kulturs opfattelse af verden. Disse forskere påpeger også, at i selve sprogets opbygning ligger en stor del af erkendelsen, og dette kan også medvirke til at besværliggøre læring af vestligt præget naturvidenskab.²⁴ Udsagnet fra undervis-

²² Undervisningsministeriet, 1999b, s.2

²³ Undervisningsministeriet, 1999b, s.2

²⁴ se f.eks. Aikenhead 1996, Cobern 1996, Sjøberg 1995

ningsvejledningen er forkert, uanset om der hentydes til videnskabsfaget eller til gymnasiefaget, men det største problem er, at der ikke skelnes klart imellem dem.

Det problematiske i formuleringen som præsentation af videnskabsfaget fysik er, at det fremstår, som om viden udvikler sig automatisk, når man som fysiker bruger de mange forskellige metoder, der er til rådighed, til at løse problemer. Det er en meget simplificeret forståelse af den naturvidenskabelige metode og fagets natur. Dette problem afspejler sig også undervisningsmaterialet. Det teoretiske indhold (det videnskabelige produkt) bør fremstilles logisk progressivt, så eleverne har mulighed for at lære det, men af fremstille metoden til udvikling af videnskabsfaget fysik på den samme forsimplede måde er virker misvisende. Det bliver undervisningsvejledningen også, når det er sætninger som: *De videnskabelige resultater kan efterprøves og diskuteres på et fagligt-metodisk grundlag, der ikke er præget af bestemte kulturelle, religiøse eller politiske indstillinger*, der skal repræsentere den naturvidenskabelige metode. Det kan virke, som om den naturvidenskabelige metodes eksistensgrundlag bliver truet, hvis ikke man hævdede, at her var en videnskab, der var uafhængig af kulturelle, religiøse og politiske indstillinger. Jeg mener, at det lige præcis er en del af den naturvidenskabelige metodes eksistensgrundlag, at man har dannet en kultur, hvor man kan diskutere de videnskabelige resultater, og gennem den diskussion finder man (ofte efter mange år) frem til det resultat, der er konsistent med kulturen og giver tilfredsstillende resultater, i forhold til den "virkelighed" man forholder sig til.

En af mine hypoteser for min problemstilling er, at hvis man underviste eleverne i, hvordan viden skabes og erkendes indenfor den naturvidenskabelige kultur, ville de få en bedre forståelse af fagenes natur og derved få en bedre forståelse af deres indhold.²⁵

Da undervisningsmaterialet til fysikundervisningen i gymnasiet beskriver det teoretiske indhold som endegyldige sandheder og videnskabsfaget fysiks udvikling som retlinet, hvor teorierne har udviklet sig uden fejltrin, kan læreren komme til at simplificere fysikkens udvikling.²⁶ Der er intet galt i at præsentere de fysiske teorier i logisk rækkefølge for eleverne, men det er forkert, at give dem indtrykket af, at videnskabsfaget fysik også udviklede sig på den måde. Derfor er det meget vigtigt at adskille de to ting, og dette mener jeg ikke sker hverken i undervisningsvejledningen fra ministeriet eller i undervisningsmaterialet. Det er gennemgående for undervisningsvejledningen, at kernestoffet er beskrevet grundigt, mens det kun sporadisk bliver beskrevet, hvordan perspektiverne kan inddrages i det. Den prioritering opfatter jeg som en fremhævnning af fysikfagets studieforberegende rolle i forhold til den almindelige.

²⁵ Matthews, 1994, s.8

²⁶ Se f.eks. introduktionen i Fysikkens Verden bd.1, s.25-33, Orbit 3, 207

1.2 Historie i fysikundervisningen

På baggrund af det undervisningsmateriale, der blev udarbejdet til at dække den historiske og filosofiske dimension i gymnasiet, der blev indført i 1988, mener jeg, at det største problem ved inddragelsen af historisk fysik er, at der er fare for, at den lineære historiske beskrivelse, som den ses i lærebøgerne, bliver gentaget i stedet for at blive udfordret af en mere historisk gengivelse. Lærerne er ikke uddannet til at undervise fagets udvikling og dets påvirkning af vores kultur, og derfor er der risiko for, at den kulturelle og historiske del af undervisningen ikke får den centrale plads, der er nødvendig for, at det giver mening af inddrage en historisk dimension i fysikundervisningen.

Det fremstår i undervisningsmaterialet, der er skrevet for at dække den historiske og filosofiske dimension, at det fysiske indhold i den historiske case er meget central. To af bøgerne *Manhattan projektet*²⁷ og *Atommodellerne*²⁸ bruger de historiske kendsgerninger til at forklare, hvordan og hvorfor fysikken udviklede sig, og ikke hvorfor historien udviklede sig, som den gjorde. I *Manhattan Projektet* redegøres der for myter, der opstod i forbindelse med projektet, der skulle fremstille en atombombe for USA under 2. verdenskrig, men i stedet for bruge redegørelsen til at lære eleverne om fysikkens stilling i samfundet, forestillinger om fysik som fag og især om fysikere, så bliver myterne bare aflivet, og eleverne får ikke nogen chance for selv at tage stilling til forholdet mellem myter og virkelighed – bogen giver svaret, som en almindelig lærebog ville gøre.²⁹ *Atommodellerne* tager især i starten godt afsæt i Madame Curies betingelser for at forske i fysik og får fortalt en spændende historie, hvor fysikken er med, hvor den er relevant. Da bogen derefter forklarer Bohrs udvikling af sin atommodel, drukner de historiske aspekter i fysisk teori om modellen. Udledningen minder om en almindelig fysikbog, men man bruger kildetekster fra Bohr til at forklare overgangede mellem de forskellige trin. Det gør materialet unødigt svært. Det kunne have været spændende, hvis materialet havde fokuseret på forskellene mellem Bohrs og Madame Curies arbejdsbetingelser og havde nøjes med inddrage de fysiske forklaringer, hvor de var relevante for historien.³⁰ Fælles for disse to bøger er, at de ønsker, at teksten skal fremstille et historisk forløb for eleven. Da forfatterne er meget bevidste om kernestoffet, som materialet også dækker så skifter fokus fra det historiske aspekt til det fysiske. En anden måde, at lave undervisningsmateriale til den historiske og filosofiske dimension på, er, at basere undervisningsmaterialet på forskellige historiske kilder, der samlet kan belyse fysikkens udvikling i samspil med andre dele af samfundet. Henry Nielsens *Fysikken og den industrielle revolution* og Hansen et.al's *Fysikkens verdensbillede*, er eksempler på dette. Bøgerne består af en introduktion til emnet, en række

²⁷ Christensen og Meyer, 1989

²⁸ Thorsen, 1990

²⁹ Christensen og Meyer, 1989, s.53-55

³⁰ Thorsen, 1990, s.75-77

historiske kilder og forslag til undervisningsforløb. Disse bøger fremstår mere troværdige rent historisk, da de er kildebaseret og ikke forsøger at skrive en historisk tekst. Dette giver en større frihed til gennemførelse af undervisningsforløb, men også et større ansvar for læreren. Det er sværere at gennemskue, om disse bøger også forbigår nogle muligheder i det historiske materiale i forhold fysikundervisningen

Roger H. Stuewer har i sin artikel *History and Physics*³¹ påpeget, at fysikundervisningen skader sig selv mere, end den gavner, hvis det historiske perspektiv i undervisningen bliver en lineær beskrivelse af udviklingen. Han mener, at en sådan undervisning ville give elever mindst to forkerte opfattelser af fysik og fysikere.

*“Such a linear history implicitly conveys at least two messages to students. First, it suggests that physics progresses in an almost programmed fashion: start the machine at any time, and in the near future it will have produced a new discovery; nothing can stop or impede it. Second, such linear history suggest that physicist are people – mostly white males, of course – of superhuman intellectual capacities; physics is not a discipline for ordinary mortals such as young and inexperienced students.”*³²

Hvis fysiklærerens hensigt med at inddrage et historisk aspekt er at bløde faget op, så det ikke virker så fjernt, kan det medføre, at elever føler, at faget er endnu længere væk fra deres verden, hvis præsentationen giver en beskrivelse af et ufejlbarligt forskningsfelt. Stuewer giver fem gode grunde til at eleverne ville få et større udbytte af den historiske gennemgang, hvis ”hele historien” bliver fortalt. Han beskriver, hvordan et eksempel fra fysikhistorien, om Albert Einsteins lyskvantehypotese, beskrives historisk lineært i lærebøger, og hvordan det burde beskrives for gøre historien retfærdighed. Dette eksempel vil jeg gengive, for at eksemplificere hvilke aspekter af fysik som videnskabsfag eleverne kan lære, hvis de præsenteres for en mere historisk korrekt beskrivelse af forløbet.

Af den lineære beskrivelse i undervisningsmaterialet fremgår det, at Einsteins lys-kvante hypotese bliver fremsat i 1905 som en forklaring på den fotoelektriske effekt. Den blev understøttet af Robert A. Millikans eksperiment af den fotoelektriske effekt og endeligt bevist af Comptons eksperiment i 1922, der bestemte bølgelængden af spredt røntgenstråling som funktion af spredningsvinklen. Selv om de historiske data for hændelserne er korrekte, giver denne udlægning ikke det korrekte billede af, hvordan de tre fysikere var påvirket af hinandens arbejde. Einstein fremlagde sin hypotese på baggrund af teoretiske overvejelser af termodynamikkens 2. lov, og eksperimentet om den fotoelektriske effekt var kun et af tre mulige, der kunne understøtte hypotesen. Selv om Millikan og hans studenter fandt, at der var den forudsagte lineære afhængighed mellem frekvensen af indstrålingen og maksimumenergien af

³¹ Stuewer, 1997/98

³² Stuewer, 1997/98, s.5

de udsendte fotoelektroner, afviste Millikan konsekvent Einsteins lyskvante hypotese. I Millikans selvbiografi giver han dog udtryk for det modsatte. Compton, der startede sit arbejde med en udbredt skeptisme overfor Einsteins lyskvantehypotese, fejlfortolkede først sine resultater. Da han fik fortolket sine resultater korrekt, arbejdede han stadig uden inspiration fra Einstein, som han ikke nævner i sine publikationer.³³ Hvis eleverne fik præsenteret den historiske (mere) korrekte gennemgang af udviklingen, så ville de ifølge Stuewer lære disse fem ting.

*"First, they would learn that the relationship between theory and experiment in physics is far from simple and depends upon the particular historical circumstances at a given time... Second, students would see that even an experimental physicist as great as Millikan could be dead wrong in his theoretical views – and then could try to mask his error much later in life by presenting a patently false historical account in his autobiography. Third, students would learn that progress in physics depends upon a great many people, and not simply upon the giants of a particular age. Fourth, they would see that even Compton, one of the greatest experimentalist of this century, could misread his experimental data and could propose incorrect theoretical interpretations of it – an insight that has come as a great relief to students when I have talked about this story. Finally, students would come to understand that research in physics is highly competitive, and consequently that simultaneous discoveries are not so uncommon and do not imply, for example, any unethical behavior such as plagiarism."*³⁴

Stuewer kommer med flere eksempler på videnskabshistoriske forløb, der bliver så simplificeret når de bruges til fysikundervisning, at deres potentiale ikke udnyttes. Denne gennemgang kan belyse, at bekendtgørelsens beskrivelsen af naturvidenskab ikke er fyldestgørende, og hvordan beskrivelserne af fysikken, fysikerne og den historiske udvikling bliver meget mere interessant og relevant, hvis de har et andet formål, end bare at skulle opløde faget.

1.3 Problemformulering

Jeg vil i dette speciale beskrive hvordan videnskabshistorien kan bruges i fysikundervisningen, så den bliver mere relevant for eleverne, og så de elever, der ønsker det, bliver bedre fysikere. I kapitel 2 vil jeg gennemgå læringsteorier, der knytter sig til naturvidenskabelig læring, for at kunne argumentere for hvorfor en historisk gennemgang kan medvirke til elevers forståelse af fysik bliver bedre, i kapitel 3 vil jeg gennemgå de undervisningsstrategier, der er opstået af konstruktivismen, for at vise, hvordan en konstruktivistisk læringsteori kan udvikle undervisningen. Kapitel 4 handler om det almindelige aspekt af undervisningen og hvordan historisk fysik kan bruges til dette formål. I kapitel 5 giver jeg et eksemplarisk eksempel

³³ Stuewer, 1997/98, s.6

³⁴ Stuewer, 1997/98, s.6

på historisk begivenhed, der kan bruges til at undervise i almendannende aspekter i fysikundervisningen, og i kapitel 6 konkretiserer jeg hvad en undervisning ud fra eksemplet kan indeholde.

På denne baggrund vil der i specialet blive argumentere for at

- almendannende fysikundervisning har en berettigelse for alle de elever der ikke sigter mod en naturvidenskabelig uddannelse.
- almendannende fysikundervisning kan være med til at kvalificere de elever der sigter mod en naturvidenskabelig uddannelse.
- når der er en større naturvidenskabelig forståelse i befolkningen, så er der bedre udviklings-muligheder for naturvidenskaben.
- rekrutteringsgrundlaget for de naturvidenskabelige uddannelser bliver bedre, jo flere elever der vælger faget.
- når elever undervises i, hvordan viden skabes og erkendes indenfor den naturvidenskabelige kultur, får de en bedre forståelse af fagenes natur og en bedre forståelse for det faglige indhold.

På baggrund af disse hypoteser lyder min problemformulering:

Hvordan kan historisk materiale gøre fysikundervisningen mere relevant for eleverne?

2. Naturvidenskabelig læringsteori

Når man beskæftiger sig med naturvidenskabelig læringsteori, er det ikke til at komme uden om konstruktivisme. Konstruktivismen har også medført mange gode tiltag inden for undervisning, og dem vil jeg gennemgå i det næste kapitel.

Teorien bygger på en meget bred grundhypotese, der af Quale defineres som:

*"Læring er en aktiv prosess: Eleven vil aktivt konstruere sin egen kunnskap i løbet af den læringsprosess han/hun gennemgår."*³⁵

Dette udgangspunkt har medført, at teorien efterhånden har udmøntet sig i mange forskellige retninger, og enkelte retninger kaldes endda i nogle tilfælde ved flere forskellige navne. Man kan i videnskabsteoriens ånd sige, at det konstruktivistiske paradigme ikke er slået helt igennem, da man inden for forskningen ikke er enige om sprogbrugen, når samme teori f.eks. kan beskrives som kognitiv konstruktivismen, Piaget-konstruktivismen, og personlig konstruktivismen.³⁶ Jeg har valgt at starte med en kort beskrivelse af behaviorismen, da jeg synes, at man må tage udgangspunkt i læringsteoriene, der ligger bag den forudgående undervisning, for at kunne forstå hvad konstruktivismen var en reaktion på. Da konstruktivismen ikke er en foreskrivende teori, beskriver jeg i næste kapitel nogle af de forskningsprojekter, der er udsprunget af den. Jeg synes, at det konstruktivistiske udgangspunkt for undervisning er for vigtigt til, at det må ende som en deskriptiv teori, der ikke bruges i undervisning.

2.1 Behaviorismen og Stimulus-respons-teorien

Med behaviorismens udbredelse i starten af århundredet blev det upopulært at studere de kognitive fænomener, der blev beskrevet som hypotetiske og spekulative. Det var de udefra kommende stimulus påvirkning af den ydre adfærd, der var central for forskningen. Man ønskede en empirisk videnskab, der kunne beskrives og verificeres eksperimentelt og søgte derfor efter direkte forbindelser mellem stimuli og adfærd. I slutningen af 50'erne blev behaviorismens rolle anset for at være udspillet, da den ikke kunne forklare formålsbestemt og instinktiv adfærd.³⁷ I den vestlige verden fortsatte stimulus-responsteorien med Gagné som en af de førende teoretikere. Stimulus-respons teorien betragter kognition som nervesystemets respons på et stimuli og skelner ikke mellem processen hos mennesker og dyr. Læring er defineret som erhvervelsen af nye egenskaber og evnen til at disponere anderledes, hvis udviklingen ikke kan forklares med den almindelige udviklingsproces.³⁸ Stimulus-responsteorien skelner ikke mellem kognitive eller motoriske evner og mener, at man skal tilrettelægge undervisningen hierarkisk sådan, at man lærer de mest simple begreber og metoder først, og ved

³⁵ Quale, 2003, s.87

³⁶ Quale, 2003, 2.86

³⁷ Hansen et. al. 1998, s.??

³⁸ Gagné, 1967, s.5

at gennemgå hvordan disse begreber og metoder hænger sammen, lærer man til sidst de overordnede begreber.

*"What is important is that there must be a progression something like this, in which the principles to be learned are put together from prerequisite concepts, while these in turn depend on previously learned multiple discriminations, chains, and Ss→R connections. The essentiality of any one of these prerequisites can readily be determined by empirical studies, or by experience in teaching the topic."*³⁹

Undervisningsmetoderne blev på dette tidspunkt påvirket af behaviorismens og stimulus-responsteoriens erkendelsesteoretiske standpunkt. Undervisningen gik fra det specifikke til det generelle, hvor man målte og forklarede de enkelte specifikke begreber for derefter at sætte dem sammen i bredere begreber. Man målte for eksempel først længde og tid for derefter at introducere hastighed.

Denne opfattelse af læring blev udfordret af Piaget og Ausubel, hvor især Ausubels ankerbegreber, som jeg senere vil beskrive, er et eksempel på en læringsteori, der har det modsatte udgangspunkt.

2.2 Piaget

Piagets forskede i hvordan mennesker og børn udvikler sig erkendelsesmæssigt. Hans forskning prægede især den didaktiske forskning i 60'erne. Piaget, der oprindeligt var evolutionsbiolog, forskede blandt andet i, hvordan det enkelte individ udvikler kognitive strukturer. Stadieteorien, der omhandler børns evne til at udvikle kognitive strukturer, og hvordan denne evne afhænger af deres alder, blev anset for at være meget anvendelig til at forbedre skolesystemet, da den meget håndgribeligt beskriver, hvilke egenskaber eleverne skal lære for at kunne håndtere et givet abstraktionsniveau i undervisningen. Stadierne er delt op efter hvilket abstraktionsniveau, børnene var i stand til at anvende til at løse opgaver. Der er fire stadier, og det er en forudsætning, at man besidder det/de forudgående stadier for at kunne udvikle det næste. Det første stadie, der beskriver det 0-2-årige barn, kaldes det sensomotoriske stadie, det andet, der beskriver det 2-7-årige barn, kaldes det præoperationelle eller det intuitive stadie. Det tredje stadie, der dækker det 7-11-årige barn, kaldes det konkret-operationelle stadie, og det sidste, der starter ved 11 års alderen, kaldes det formelt operationelle eller det abstrakt operationelle stadie. Aldersangivelserne skal selvfølgelig ikke opfattes som absolutte. Stadierne er et udtryk for barnets tankestruktur og dermed også et udtryk for, hvordan barnet forholder sig til verden.

Udviklingen gennem stadierne sker som en konsekvens af en kognitiv konflikt. Når et menneske udsættes for en opgave, det ikke umiddelbart kan løse, opstår der en kognitiv konflikt.

³⁹ Gagné, 1967, s.180

Piaget beskriver løsningen af konflikten som en ligevægtsproces, hvor det kognitive stadie ændrer sig, så individet kan løse de opgaver, det møder.

*"Kort kan man sige, at den stabile og endelige psykologiske ligevægt i de kognitive strukturer er ensbetydende med operationernes reversibilitet og dette fordi de omvendte operationer nøjagtigt udligner de direkte transformationer. ... den operationelle reversibilitet er resultatet af og ikke årsagen til denne gradvise stabilisering. Dette hindrer imidlertid ikke de operationelle strukturer i at opnå status som redskaber for fremtidige stabiliseringer, når først de er blevet opbyggede."*⁴⁰

Ligevægtsprocessen får efterhånden individet til at komme nærmere et stadie, hvor det kan løse de kognitive konflikter, det oplever.⁴¹ Processen mod en ligevægt er en adaptionproces, der består af to processer. Den ene proces kaldes assimilation, hvor de nye indtryk bliver optaget i den eksisterende kognitive struktur, og den anden kaldes akkommodation, hvor den kognitive struktur skal ændres, for at de nye indtryk kan optages. Det er ved adaptionprocessen, at man lærer, og det kognitive stadie udvikles som beskrevet ovenfor. Det er undersøgelser af individers mulige metoder til løsning af kognitive konflikter, der har været Piagets udgangspunkt for at definere stadierne. Da adaptionprocessen altid vil bestå af både assimilation og akkommodation, er det vægtningen af dem, der er afgørende for, hvor svær udviklingsprocessen opleves af barnet.⁴²

Da der ikke var tilfredshed med udbyttet af den naturvidenskabelige undervisning vandt stadieteorien stort indpas i 60'ernes USA, hvor det, ifølge Duit & Treagust (1998), primært var strukturen af fagenes indhold, og undersøgelser af, om ændringer i undervisningsform og indhold medførte ændringer i elevernes færdigheder, der var målene for den didaktiske forskning. Stadieteorien blev i starten indført i den behavioristiske forskning, og man prøvede at konstruere et system, der kunne lede eleverne fra konkret til formel operationel tænkning. I denne periode søgte man især efter målemetoder til at belyse, hvilke egenskaber eleverne havde erhvervet sig i undervisningen for derved at måle effektiviteten af ændringerne. Forskningen fokuserede på elevernes generelle udvikling i forhold til det faglige indhold og ikke på den enkelte elev eller elevernes forhold til faget

Det var indholdet af faget, der var det centrale. Ændringerne, der blev foretaget i disse år, var primært på læseplansniveau, og der blev ikke lagt meget vægt på undervisningsformen.⁴³

Det var problematisk at bruge Piagets stadieteori til dette formål, da han ikke beskæftigede sig med, hvordan man kommer fra et stadie til det næste men kun med nødvendigheden af at gennemføre de forskellige stadier. Piaget var ikke interesseret i undervisningsteori, men han anså

⁴⁰ Piaget, 1959, s.36 oversat af Knud Illeris.

⁴¹ Piaget, 1959, s.36

⁴² Duit & Treagust, 1998, s.9

⁴³ Duit & Treagust, 1998, s.4

dog læringsteorien som en vigtig del af udviklingsteorien.⁴⁴ Stadieteori er en deskriptiv beskrivelse af børns udvikling, og den kan derfor ikke bruges til at bestemme, hvordan læseplaner skal ændres. Selv om man inddrager ligevægtsteorien, der er baggrunden for stadieteorien, i en læseplansudvikling, så er det nødvendigt at overveje hvilke pædagogiske metoder, der skal bruges, for at eleverne kan udvikle deres kognitive struktur. Piagets teorier skildrer børns og elevers kognitive udviklingsforløb, men tager ikke stilling til, hvordan man kan føre dem gennem forløbet.

En af metoderne, man brugte til at udvikle fysikundervisningen, var den selvopdagede læring. Man forestillede sig, at eleverne selv ville opdage de naturvidenskabelige teorier, hvis de blev præsenteret for situationer, som deres eksisterende viden ikke kunne forklare. Den kognitive konflikt, eleverne blev sat i, skulle ende med, at de lærte det teoretiske indhold ved at genopdage det. Denne metode ligestiller eleverne med videnskabsmænd, der skulle forstå og finde de relevante sammenhænge.

2.3 Ausubel

Ausubels teori om undervisning skal ses som en reaktion mod brugen af stadieteorien fra starten af 60'erne, hvor det var den selvopdagede læring og eleven som videnskabsmand, der var centrale elementer indenfor den naturvidenskabelige didaktiske forskning. For Ausubel var det den meningsfulde læring, der var målet for undervisningen, og han mente ikke, at der er en sammenhæng mellem den meningsfulde og den selvopdagede læring. I modsætning til didaktikere, der tog udgangspunkt i Piagets forskning, mente han ikke, at det er muligt at sammenligne børns mulighed for at tilegne sig viden i laboratorieforsøg med deres muligheder i den virkelige undervisning. Hans mest berømte citat "*The most important single factor influencing learning is what the learner already knows...*"⁴⁵ sammenfatter i sin enkelthed hans grundsyn på læring, men udtaler sig ikke noget om hvorfor elevernes eksisterende viden er den vigtigste faktor, eller hvordan man bruge den i undervisningen.

For Ausubel var det ikke centralt, om undervisningen var tilrettelagt som receptionsundervisning, hvor eleven fik stoffet præsenteret, eller som opdagelsesundervisning, hvor eleven, som en videnskabsmand, selv skulle opdage stoffet og dets sammenhænge. Ausubel skelnede mellem viden, der er lært udenad og meningsfuld viden. Hvis elevernes opfattelse af stoffet består af ordrette remser, der er lært udenad uden forbindelse med elevens eksisterende viden, så mente Ausubel, at det lærte ikke giver mening for eleverne. De kan måske lære sig at løse opgaver, men da stoffet ikke giver mening, kan de ikke manipulere med det, og de kan ikke bygge videre på det.

⁴⁴ Piaget, 1959, s.28

⁴⁵ Duit & Treagust, 1998, s.19

Eleverne har mulighed for at tilegne sig meningsfuld viden, hvis undervisningen er tilrettelagt, så de kan finde mening med stoffet og relatere det lærte til deres eksisterende viden. Elevers viden og kognitive struktur skal også passe til niveauet af undervisningen.⁴⁶ Ausubel understregede, at der ingen sammenhæng er mellem receptionsundervisning og udenadslæring, da god forklarende undervisning kan føre til meningsfuld læring, og da problemløsningsopgaver kan løses ved hjælp af teknikker, eleverne har lært sig udenad og ikke nødvendigvis fører til viden om de fysiske teorier, der arbejdes med. Løsningen af opgaverne vil ikke give mening for eleverne, hvis de ikke kan relatere dem til eksisterende viden, og hvis selve opgaven ikke har et meningsfyldt indhold, eleven kan forholde sig til. Det er brugen af elevernes eksisterende viden, der er afgørende for, at undervisningen kan medføre meningsfuld læring og ikke metoden. Det er dog ikke ligegyldigt, hvilke kvaliteter den eksisterende viden har.

*"Inasmuch as potentially meaningful concepts are always assimilated in relation to an existing background of relevant concepts, principles, and information, which provide a basis for their incorporation, and make possible the emergence of new generic meanings, the content, stability, clarity, and organizational properties of this background should crucial affect both the accuracy and clarity of these emerging new meanings and their immediate and long-term retrievability."*⁴⁷

Den eksisterende videns kvaliteter i forhold til meningsfuld læring beskriver Ausubel ved tre variable, a) tilgængeligheden af relevante idéer den nye viden kan forholdes til, b) evnen til at skelne mellem den eksisterende viden og den nye viden, så eleven fremover ikke bare bruger den eksisterende viden og c) stabiliteten eller klarheden af den eksisterende viden, så den kan bruges til at forankre den nye viden hos eleven.⁴⁸ Det er tydeligt, at Ausubel mente, at læring i skolen foregår ved assimilering, hvor eleven optager nye begreber ved at sætte dem i forhold til de eksisterende overordnede ankerbegreber. Dette medfører, at elevernes viden udvikler sig fra det generelle til det specifikke.

Dette stod i 60'erne i skarp modsætning til behaviorismens tilgang til undervisning, hvor man mente, at eleverne først skulle lære de specifikke begreber for at kunne forstå de generelle begreber. Ausubel mente, at undervisningen af eleverne skal tage udgangspunkt i generelle begreber, de allerede kender, eller præsentere dem for et generelt begreb som introduktion til et nyt emne. Disse kalder han ankerbegreber. Undervisningen skal tilrettelægges med udgangspunkt i ankerbegreber, og forståelsen af ankerbegrebet udvikler sig, når eleven efterhånden lærer de specifikke begreber. Den udvidede forståelse af ankerbegrebet bevirker, at eleven kan bruge det til at lære flere begreber. Det er ankerbegrebet, der organiserer undervis-

⁴⁶ Ausubel, 1966, s.158 og s.161

⁴⁷ Ausubel 1966, s.168

⁴⁸ Ausubel 1966, s.169

ningen for læreren og det lærte for eleven.⁴⁹ Ausubels teori er altså både en reaktion på den behavioristiske tilgang til undervisningen og på opfattelsen af, at "selvopdaget læring" ukritisk kan bruges til at løse problemerne for den naturvidenskabelige undervisning.

2.4 Konstruktivisme

Det var ifølge Solomon (1994) først, da Driver og Easley udgav artiklen *Pupils and Paradigms: a Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students* i 1978, at konstruktivismen etablerede sig som en teori inden for naturvidenskabelig læringsteori, og artiklens sprogbrug er stadig fremherskende indenfor området.⁵⁰ Udgangspunktet for undersøgelsen var at kortlægge børns idéer om naturlige fænomener, og deres arbejde var rettet mod, hvordan læring af fysik kunne forbedres, når man vidste mere om idéerne.

*"...Driver and Easley recommended disconnecting the content of children's ideas from Piaget's stage theory of development. They suggest that learning science may, like science itself, proceed by making of imaginative leaps to be followed later by critical reflection. They use the Kuhnian language of 'paradigm shift' to describe what the learning students may have to overcome (see p.10). They write of 'effective communication' in the classroom and of 'informal learning in small groups'..."*⁵¹

De tager afstand fra Piagets stadieteori, mens teorien om den kognitive konflikt som udgangspunkt for læring og Ausubels pointe om, at undervisningen skal tage udgangspunkt i et ankerbegreb, får en meget central rolle.⁵²

Forskningen undersøger, hvilke opfattelser af naturvidenskabelige begreber eleverne har, og finder ud af, at deres opfattelser stammer fra mødet med den virkelige verden, og at de ofte er dannet før eleverne starter i skolen. Elevernes opfattelser svarer sjældent til den videnskabelige definition af begrebet. Disse opfattelser kaldes hverdagsbegreber, da de har kunnet give eleverne nogle tilfredsstillende svar på hverdagsproblemer. Det er ifølge artiklen vigtigt, at understrege hvilken stor betydning det har, at man finder ud af, at elevernes problemer med at lære fysiske begreber bunder i deres hverdagsbegreber, da disse problemerne før blev bagatelliseret.

... "that's a common mistake" ... "They don't listen properly to what I'm saying." Using this older restricted vocabulary meant that pupils' difficulties were without any theoretical interest. Now what had been commonplace and unremarkable became significant, and

⁴⁹ Ausubel 1966, s.172

⁵⁰ Solomon, 1994, s.4

⁵¹ Solomon, 1994, s.4

⁵² Duit & Treagust, 1998, s.19

what was too well-known to be thought worthy of comment, was suddenly the substance of illuminating research."⁵³

Det viser sig, at det er meget svært for eleverne at ændre deres forståelse af begreberne, så de stemmer overens med de videnskabelige definitioner, og der opstår læringsteorier, der kun fokuserer på begrebsændring. Sjøberg (1998) beskriver forskellige metoder til begrebsændring. Lærerne kan pege på modsigelser i hverdagsidéerne, konfrontere eleverne med utilstrækkeligheden af idéerne eller forsøge at fremkalde kognitive konflikter, men da elevernes idéer er meget forskellige er det ikke sandsynligt, at en strategi er nok.⁵⁴ Disse strategier vender jeg tilbage til, når jeg gennemgår forskningsprojekter og undervisningsstrategier, der tager udgangspunkt i konstruktivismen.

2.5 Begrebsændring

En af de vigtigste teorier om begrebsændring blev fremsat af Posner, Strike, Hewson og Gertzog i 1982.⁵⁵ Teorien opstiller fire betingelser, der skal være tilstede, for at eleverne kan ændre deres begreber. De skal for det første opleve, at deres nuværende begreber ikke er tilstrækkelige, og de nye begreber, de skal tilegne sig, skal både være forståelige, virke sandsynlige og være udbytterige. Teorien blev kritiseret for at fokusere for meget på de rationelle begrundelser for elevers motivation og for at tillægge elever og videnskabsmænd de samme bevægegrunde. Strike og Posner modificerede selv deres teori i 1992, hvor de pointerede, at den oprindelige teori havde overset de affektive faktorer og de sociale betingelser for undervisningssituationen.⁵⁶

Rosalind Driver var en af de forskere, der både har undersøgt elevers hverdagsbegreber og deres generelle forestillinger om fagenes natur.⁵⁷ Hverdagsbegreber opstår, når børn og voksne skal finde forklaringer på, hvordan omverden fungerer, og de er derfor individuelle. De ligner de videnskabelige begreber men er ofte bestemt af det intuitive indtryk. Begreberne er ikke relateret indbyrdes, og det er derfor forkert at sammenligne hverdagsbegreber med f.eks. Aristoteles' begreber om mekanik, selv om de begge bygger på den intuitive oplevelse af fænomenerne. På trods af at hverdagsbegreberne er individuelle, har undersøgelser vist, at der er en grad af konsensus i indholdet af hverdagsbegreberne, som elever fra forskellige lande bruger. Det er derfor muligt at tage højde for dem, når man planlægger undervisningen.⁵⁸ Ifølge Driver et.al. er det vigtigt at huske, at netop fordi elevernes hverdagsbegreber er individuelle,

⁵³ Solomon, 1994, s.6

⁵⁴ Sjøberg, 1998, s.319

⁵⁵ Posner, Strike, Hewson, Gertzog, 1982, *Accommodation of a Scientific Education: Toward a Theory of Conceptual Change*. Science Education, 66, 211-27

⁵⁶ Duit og Treagust, 1998, s.14

⁵⁷ Driver et.al. 1985

⁵⁸ Driver et.al. 1985, s.8

så må lærerne forvente, at eleverne modtager undervisningen forskelligt. De giver tre gode grunde til, at lærerne skal interessere sig for elevernes hverdagsbegreber. Det sætter lærerne i stand til bedre at vælge, hvilke begreber de vil undervise i, da de ikke kan tage for givet, at eleverne på forhånd har den samme opfattelse af et naturvidenskabeligt begreb som lærerne har. De kan vælge hvilke videnskabelige begreber, de skal fokusere på i undervisningen ud fra overvejelser om hvilke videnskabelige begreber, der er bedst til at konfrontere hverdagsbegreberne, og hele fokuseringen på elevernes hverdagsbegreber tydeliggør, hvor vigtigt det er, at lærerne præsenterer formålet med undervisningen for eleverne, da de kan have et helt andet udgangspunkt end læreren for undervisningen.⁵⁹

Lærerne kan ikke regne med, at eleverne forkaster deres hverdagsbegreber, selv om undervisningen tilrettelægges, så de bliver modsagt af de videnskabelige begreber, da hverdagsbegreberne netop er gode til at give børnene svar på deres hverdagsproblemer, har eleverne svært ved at forkaste dem.⁶⁰

I et andet studie har Driver et.al undersøgt elevers opfattelse naturvidenskab, da de mener, at en af de største forhindringer for, at eleverne ændrer deres hverdagsbegreber og generelt lærer naturvidenskab i skolen, er, at deres kendskab til fagets natur er meget ringe. De tager afstand fra, at det er tilstrækkeligt, at eleverne lærer teorierne udenad, eleverne skal forstå, hvorfor naturvidenskabelige idéer og teorier er vigtige, og hvordan de bliver udviklet og bevist.⁶¹ De skal lære om naturvidenskabens natur, og derfor skal de vide, at den naturvidenskabelige metode bl.a. består af, at man isolerer elementer fra komplekse systemer og undersøger dem for at få en bedre forståelse af hele systemet, og at naturvidenskabelig viden ikke er sikker viden men bør opfattes som ekspertise om den naturlige verden.⁶² Dette kan ses som en anden vinkel på Ausubels begreb "meningsfuld læring", da Driver et.al. også vil væk fra udenadslæren og vil give bedre betingelser for en undervisning, der ikke kun fokuserer på det faglige indhold, men også underviser i andre aspekter af faget, som dets natur. I deres studie finder de, at eleverne generelt mener, at formålene med naturvidenskabelig forskning er bestemt af samfundsrelevante problemstillinger, at eleverne har svært ved at se forskel på et bevis og en forklaring, og at de har et meget unuanceret syn på det videnskabelige miljø og videnskabsfolk.⁶³

På baggrund af disse resultater konkluderer de, at et større kendskab til naturvidenskabens natur ville understøtte læring af naturvidenskab og ville fremme en bedre brug af naturvidenskab senere i livet. De erkender, at der er en konflikt mellem læring af det faglige indhold og læring af naturvidenskabens natur, men da de ikke mener, at det er muligt at lære indholdet

⁵⁹ Driver et.al. 1985, s.6-7

⁶⁰ Driver et.al. 1985, s.3

⁶¹ Driver et.al. 1996, s.15

⁶² Driver et.al. 1996, s.14

⁶³ Driver et.al. 1996, s.???

uden en vis viden om betingelserne for udviklingen af viden, mener de, at man må give dette område opmærksomhed i undervisningen.

2.6 Opsamling af den individuelle konstruktivisme

Jeg vil fremover kalde den form for konstruktivisme, der er beskrevet ovenfor for den individuelle konstruktivisme, da den i modsætning til socialkonstruktivismen⁶⁴ primært arbejder med den konstruktion af begreber, der sker i den enkelte elev. Læringssynet er individuelt, og man tillægger rationalet i eleverne motivationen til at lære.⁶⁵ Den individuelle konstruktivisme opfatter elevernes hverdagsbegreber som forkerte og mener, at de skal udskiftes med de videnskabeligt definerede begreber, og som udgangspunkt kan dette opnås ved at præsentere de videnskabelige begreber på en fornuftig måde i forhold til elevens eksisterende viden. Den grundlæggende opfattelse for dette syn er, at naturvidenskabens teorier begreber og metoder opfattes som kognitive redskaber, nogle man kan have, ændre og bruge til at klare dagligdagens problemer. Problemet med antagelsen er, at de elever, der ikke vælger at specialisere sig inden for naturvidenskab, ikke bruger deres skolelærdom i dagligdagen, og at fysik derfor forbliver et abstrakt fag. Jeg vil senere gennemgå forskningsprojekter, der tager udgangspunkt i den individuelle konstruktivisme.

2.7 Socialkonstruktivismen

Teoriene i den socialkonstruktivistiske tradition tager bl.a. udgangspunkt i Vygotskys teorier om sproget som et centralt redskab for læring, i Jean Laves og andres empiriske studier af hverdagsfysik og -matematik og hvordan de kan bruges i en læringssituation.

2.8 Vygotsky

Vygotsky var psykolog, og han beskriver læring ud fra den psykologiske proces, men han var også meget belæst indenfor fag som lingvistik, socialvidenskab filosofi og kunst, som han i stort omfang også brugte i sin forskning.⁶⁶ Han mener, som Ausubel, at læreres forsøg på at lære eleverne begreber ude af sammenhæng ikke kan medføre andet end udenadsviden, og at den ikke indeholder egentlig læring.

*"Practical experience also shows that direct teaching of concepts is impossible and fruitless. A teacher who tries to do this usually accomplishes nothing but empty verbalism, a parrotlike repetition of words by the child, simulating a knowledge of the corresponding concepts but actually covering up a vacuum."*⁶⁷

⁶⁴ Næste afsnit vil uddybe socialkonstruktivismen.

⁶⁵ Dolin, 2002, s. 136

⁶⁶ Vygotsky, 1962, s.v

⁶⁷ Vygotsky, 1962, s.83

Vygotsky forholder sine synspunkter om børns kognitive udvikling til Piagets synspunkter, og han mener, at det er et problem, at Piaget beskriver udviklingen af børns tænkning som om, den ikke bliver påvirket af undervisning, men følger sine udviklingsfaser, uanset om barnet bliver undervist eller ej.⁶⁸ Vygotsky mener, at der er en tæt sammenhæng mellem undervisning og udvikling af børns tænkning.

*"Once a child has formed a certain structure, or learned a certain operation, he will be able to apply it in other areas. We have given him a pennyworth of instruction, and he has gained a small fortune in development."*⁶⁹

Vygotsky mener dertil, at hverdagsbegreber, eller spontane begreber, som han kalder dem, sandsynligvis også opstår af instruktion, men at de ikke er en følge af formålsbestemt instruktion som undervisning i skolen.⁷⁰

Spontane begreber udvikler sig fra det specifikke til det generelle, mens det er omvendt for de videnskabelige begreber. Spontane begreber opstår som en konsekvens af en konkret situation hvorimod videnskabelige begreber altid er rettet mod dets objekt.

*"One Might say that the development of the child's spontaneous concepts proceeds upward, and the development of his scientific concepts downward to a more elementary and concrete level."*⁷¹

Vygotsky hentyder til graden af generalitet, hvor det generelle niveau er øverst og det specifikke niveau er nederst. Når et barn ser en kat, lærer han efterhånden at skelne mellem en kat og andre dyr, men barnet lærer ikke umiddelbart kategorien dyr, da det ikke er den, han oplever. I en undervisningssituation er udgangspunktet et andet, hvis man, som Ausubel foreslår, starter med et ankerbegreb, for så må man definere kategorien dyr og derefter bevæge sig mod den mere specifikke kategori kat.

Når børn udvikler deres sprog, følger det ifølge Vygotsky, den samme udvikling som de spontane begreber har.

*"In mastering external speech, the child starts from one word, then connects two or three words; a little later, he advances from simple sentences to more complicated ones, and finally to coherent speech made up of series of such sentences; in other words, he proceeds from a part to the whole. In regard to meaning, on the other hand, the first word of the child is a whole sentence."*⁷²

Da forholdet mellem tænkning og ord er en proces, der er i konstant udvikling,⁷³ er det naturligt, at barnet ikke opdager kategorien dyr, for det vigtigste for barnet er selve katten, den er

⁶⁸ Vygotsky, 1962, s.94

⁶⁹ Vygotsky, 1962, s.95-96

⁷⁰ Vygotsky, 1962, s.117

⁷¹ Vygotsky, 1962, 108

⁷² Vygotsky, 1962, s.126

⁷³ Vygotsky, 1962, s.125

meningen med sætningen, og derfor drager barnet ikke konklusionen om den abstrakte kategori dyr.

De spontane begreber og de videnskabelige begreber støtter hinanden i deres udvikling.

*"In working its slow way upward, an everyday concept clears a path for the scientific concept and its downward developments. It creates a series of structures necessary for the evolution of a concept's more primitive, elementary aspects, which give it body and vitality. Scientific concepts in turn supply structures for the upward development of the child's spontaneous concepts toward consciousness and deliberate use. Scientific concepts grow down through spontaneous concepts: spontaneous concepts grow upward through scientific concepts."*⁷⁴

Hverdagsbegreberne har en anden rolle for socialkonstruktivismen end for mentalkonstruktivismen. Socialkonstruktivismen anerkender i højere grad, at hverdagsbegreberne har en funktion for både børn og voksne i deres liv uden for skolemiljøet, og at de især bruges til at strukturere begreber og teorier ud fra. Derfor ønsker de, at eleverne skal lære, hvornår de skal bruge de videnskabelige begreber, og hvornår de kan bruge hverdagsbegreberne.

2.9 Situeret læring

Situeret læring⁷⁵ er en af de undervisningsteorier, der er inspireret af socialkonstruktivismen. Denne metode fokuserer meget på forskellene mellem at bruge begreber og metoder i den virkelige verden og i en undervisningssituation. Selv om hverdagsbegreber og metoder er specialiserede og ikke er en del af en sammenhængende teori, så er de yderst velfungerende for almindelige mennesker, og fortalernes for situeret læring mener derfor, at undervisningen skal acceptere hverdagsbegrebernes rolle.

*"However, the 'situated cognition' view suggest that coexisting alternative models may be appropriate in different contexts. Learning then becomes a process of distinguishing when particular conceptions are appropriate rather than on of exchanging faulty prior conceptions for scientific ones."*⁷⁶

Til forskel fra den individuelle konstruktivisme er målet for undervisningen ændret fra at skulle lære eleverne nogle nye begreber til, at man både skal lære eleverne nye begreber og lære dem at kende forskel på de nye videnskabelige begreber og deres hverdagsbegreber, og hvornår de kan bruges. Når elever i skolemiljøet stilles opgaver om hverdagssituationer, så bruger de deres hverdagsbegreber, også selv om de har lært metoder i undervisningen, de burde bruge. Dette viser, at det er meget svært for eleverne at skelne mellem de to begrebssystemer.⁷⁷ Man kan betragte undervisningsfaget fysik som en subkultur og

⁷⁴ Vygotsky, 1962, s.109

⁷⁵ Oversat fra 'situated cognition'

⁷⁶ Solomon, 1983, jeg har citeret fra Hennessy, 1993, s.9

⁷⁷ Hennessy, 1993, s.9

*"...learning is a process of enculturation or individual participation in socially organised practices, through which specialised local knowledge, rituals, practices, and vocabulary are developed."*⁷⁸

Hennessy fremhæver forskellene på den læring, der sker i hverdagen og den læring, der sker i et skolemiljø. I hverdagen løses konkrete opgaver og læringen bliver derfor beskrevet som tilfældig, ubesværet og målorienterede, mens den i de akademiske miljøer er velovervejet, besværlig og bliver udført for sin egen skyld.⁷⁹

Hverdagsbegreberne og -metoderne beskrives som usammenhængende, inkonsistente og med dårlig koordination mellem 'teori' og 'bevis'.

*"This is because, as with everyday mathematics, pieces of knowledge or models are being drawn upon flexibly and according to their appropriateness and usefulness in a specific practical context. They provide a sensible framework for understanding and describing phenomena which fit with the learner's experience; new information is integrated with existing beliefs and ideas about how the world works. Likewise, external scientific knowledge is defined by lay adults against familiar knowledge."*⁸⁰

Hverdagsbegreberne er ikke kun forbeholdt børn, men voksne, der ikke beskæftiger sig med den naturvidenskabelige verden, bruger også hverdagsbegreber til at forstå omverden og løse praktiske opgaver i deres hverdag.

2.10 Lærlingemetoderne

Indenfor den socialkonstruktivistiske tradition beskrives der flere metoder til at indføre eleverne i subkulturen fysikfag. Den overordnede tankegang er, at eleverne skal i lære, og at de derfor har brug for en målrettet og personlig undervisning, der er tilrettelagt efter deres evner og viden. En af de første til at beskrive lærlingemetoden var Jean Lave, der undersøgte matematikundervisningen, ved at sammenligne den med skrædderlærlinge i Liberia og kvinder, der var på slankekur "Vægtvogterne". Laves beskrivelse af hvordan lærlingene i starten observerede, hvordan mesteren og de udlærte svende udførte en bestemt operation, for derefter at forsøge sig med at udføre den efter lukketid og når de mestrede operationen tilstrækkeligt, så begyndte lærlingene at udføre operationen mange gange, så de til sidst kunne gøre det hurtigt og flot. Indlæringsprocessen startede med de afsluttende faser i fremstillingsprocessen. Først lærte de at lægge tøj op, så lærte de at sy de forskellige dele sammen og til sidst lærte de at skære tøjet ud. Derfor fik lærlingen et helhedsindtryk af, hvad han skulle lære, og da operationen, han lige havde lært, også gav ham en god forståelse for, hvad den næste indebar, var det kun nødvendigt med lidt instruktion.⁸¹

⁷⁸ Hennessy, 1993, s.2

⁷⁹ Hennessy, 1993, s.3

⁸⁰ Hennessy, 1993, s.6-7

⁸¹ Lave, 1988, s.156

Kvinderne, der brugte vægtvogterne, havde brug for at beregne, om de spiste for meget eller for lidt i forhold til deres slankekur. Kvinderne blev fulgt seks uger, hvor man interviewede dem og ved hjælp af deres kostdagbøger kunne aflæse hvilke matematiske metoder, de brugte i deres køkken. Efter de seks uger blev de testet i nogle forskellige matematikprøver, og nogle af resultaterne er lidt overraskende. Kvinderne klarede de situationsbestemte opgaver meget bedre end de tilsvarende matematikopgaver i testen, men de matematik problemer, der havde en højere sværhedsgrad end dem, de normalt løste i køkkenet, klarede de bedre i testen, end de problemer der svarede til sværhedsgraden i køkkenet. Det betyder, at de problemer, som de var vandt til at løse i køkkenet, løste de dårligere i testen end de problemer, der havde en højere sværhedsgrad. De klarede generelt testen ligeså godt som folk, der i dagligdagen brugte købmandsregning.⁸²

Der er sket en stor udvikling i, hvordan man ser på læringsprocesser hos lærlinge før og nu (1988!)

*"Man opfattede indlæringsprocesser hos lærlinge som konkrete, kontekstbundne, intuitive, uden nogen transferværdi, mekaniske, udenadslærende, imiterende, ikke-kreative og ikke fornyende - og utidssvarende. Meningerne er anderledes i dag. Der er nu stor interesse for den såkaldte situerede indlæring, for praktiseret viden og for en opfattelse af, at indlæring finder sted i helheder, der består af samspil mellem den lærende person og omgivelserne."*⁸³

Lærlingemetoden kan ikke umiddelbart overflyttes til en undervisningssituation, men den kan bruges som inspiration til at udvikle teorier om indlæring og undervisningen. Derfor er det generelle konklusioner fra de specifikke situationer, der har betydning. Et af de vigtigste resultater fra Lave undersøgelser er, at det er elevens læreplan og motivation, der er drivkraften for indlæringen og dermed bestemmende for, om eleven tilegner sig stoffet. Elevens læreplaner er ofte meget forskellige fra lærerens og skolens. Det er ofte elevens oplevelse, at det er indlæringssituationen, der bestemmer hvilke procedurer der udvikles i praksis.⁸⁴ Når stoffet deles op i små stykker og præsenteres for eleverne efterhånden, kan de ikke nå at orientere sig i forhold til det, og det kan medføre:

*"...at de "ikke forstår" hvad de skal lære, eller at de "er dårlige til det". Den opfattelse af den egne præstation er meget almindelig hos mennesker, der modtager eller har modtaget undervisningen i matematik. Modsat oplever mennesker, der lærer igennem en proces, hvor de gennem aktiv deltagelse og selvbestemmelse i læreprocessen (ud fra deres egen læreplan) gradvist nærmer sig mestrenes niveau, at opfatter sig som direkte aktive i struktureringen af deres viden."*⁸⁵

⁸² Lave, 1988, s.160

⁸³ Lave, 1988, s.150

⁸⁴ Lave, 1988, s.165

⁸⁵ Lave, 1988, s.177

De forskellige metoder, der har lærlingemetoden som udgangspunkt, divergerer i forhold til, hvor stort et ansvar eleven har for at lære. En af metoderne kaldes stilladsmetoden.⁸⁶ Den er blandt andre udviklet af Wood, Bruner og Ross, og de beskriver læringsprocessen ud fra forholdet mellem lærer og elev. Det er læreren, der fører eleven ind i kulturen ved at kontrollere hvilke elementer af faget, eleven er i stand til at løse, og hvilke elementer lærerne skal vise for eleven. Det er målet, at der til sidst er bygget et stillads af viden op omkring eleven, og alle opgaverne kan løses uden hjælp fra læreren. Eleven er blevet indført i kulturen.⁸⁷ Lærlingemetoden lægger generelt vægt på, at læring bedst kan foregå, når situationen er autentisk og meningsfuld. Emnerne og opgaverne skal være relevante for eleven. Metoden bygger på forestillingen om, at man kan indføres i en kultur ved at betragte andre i den og langsomt lære at mestre de funktioner, der er nødvendige for at forstå kulturen. Brown et. al. (1989) beskriver, hvordan lærlingemetoden hjælper eleverne til selv at opstille og løse forskellige problemstillinger, og netop forholdet, at de får mulighed for selv at skabe vejen til løsningerne, er medvirkende til, at de bliver indført i det underviste fag og dermed i subkulturen.⁸⁸ Forskellen på denne metode og stilladsmetoden er graden af kontrol fra omgivelserne. I lærlingemetoden er det i højere grad elevens eget ansvar at tilegne sig viden.⁸⁹

Opfattelsen af fysikundervisning som en subkultur i elevernes verden er meget centralt for socialkonstruktivismen.

*"From the perspective of situated cognition, learning means change from one sociocultural context, usually the everyday context, to a new, science context or, in other words, changes from the practice of one culture to another."*⁹⁰

Glen S. Aikenhead (1996) beskriver hvilke problemer der kan opstå, når eleverne skal indtræde i subkulturen fysikfag. Han mener, at man skal betragte elevernes muligheder for at modtage undervisningen, ud fra hvor store problemer de har med at indtræde i den subkultur, der opstår i klasseværelset. Elevernes oplevelse af fysikundervisningen er bestemt af de andre subkulturer i elevens verden, som familie, venner, klasse og skole og den er derfor ikke ens for alle elever. Elevens oplevelse af fysikundervisningen er også bestemt af videnskabsfaget fysik og ikke mindst af lærerens opfattelse af faget. Evnen til at modtage undervisning som mentalkonstruktivisternes primært tillægger de kognitive strategier, mener Aikenhead, afhænger af elevens muligheder for at indtræde i fysikundervisningen. Det er vigtigt at bevidstgøre eleverne om de forskellige subkulturer i deres liv og om deres opførsel i forhold til dem.

⁸⁶ Oversat fra 'scaffolding function'

⁸⁷ Hennessy, 1993, s.13

⁸⁸ Brown et.al. 1989, s.38

⁸⁹ Hennessy, 1993, s.15

⁹⁰ Duit og Treagust, 1998, s.18

Hverdagsforestillingerne, som af nogle konstruktivister bliver beskrevet som 'forkert', mener Aikenhead, at man skal betragte, som man betragter oprindelige folks traditionelle videnskabelige viden. Han ser hverdagsbegreberne som den vestlige kulturs traditionelle videnskab og mener at kulturbarrieren mellem elevernes egne opfattelser, og den vestlige kulturs videnskabelige opfattelser, er lige så stor som barrieren mellem indianernes medicinmænds metoder og den vestlige medicin.⁹¹

2.11 Opsamling af socialkonstruktivismen

Socialkonstruktivismen tager udgangspunkt i elevernes kontekst, når den beskriver deres mulighed for at lære. Elevernes kontekst består både af deres private liv og deres skoleliv. Vygotskys beskrivelse af at erkendelsen ligger i sproget, og at den er afhængig af de spontane begreber, er et tydeligt eksempel. Undervisningsfaget fysik opfattes som en subkultur, og de forskellige lærlingemetoder afspejler forskellige måder, man kan bruge til at indføre eleverne i subkulturen. En vigtig pointe hos socialkonstruktivisterne er, at hverdagsbegreberne ikke skal opfattes som forkerte, men eleverne skal blive bedre til at skelne mellem hverdagsbegreberne og de videnskabelige begreber og lære hvornår de kan bruge de to forskellige systemer. Læringssynet er socialt, da man tager hele elevens erfaringsgrundlag med, når man skal beskrive præmisser for læring, og da man anerkender, at både det fysiske og det mentale miljø i fysiklokalet er en vigtig faktor for undervisningen.

2.12 Kritik af konstruktivismen

Quale (2003) beskriver hvordan de mange forskellige retninger har medført at der foregår mange slagsmål om hvilken form for konstruktivisme, der er den mest hensigtsmæssige at bruge og hvilket epistemologisk videnssyn de indebærer. En af de mest udskældte retninger inden for konstruktivismen er den radikale konstruktivisme, som von Glaserfeldt, ifølge Matthews, er fortaler for. Michael Matthews (1994) kritiserer den radikale konstruktivismes epistemologi, da han mener, den medfører en adskillelse af den virkelige verden og den naturvidenskabelige verden, og i yderste konsekvens afviser teorien, at man kan vide noget om den virkelige verden.

*At its core constructivism has a subjectivist, empiricist and personalist understanding of human knowledge, and consequently of scientific knowledge.*⁹²

Quale beskriver, hvordan han mener, at den radikale konstruktivisme giver et mere ærligt billede af naturvidenskaben, da den åbent indrømmer, at det er en konstruktion, som menneskene har lavet, så de kan forklare naturlige fænomener, og at naturvidenskab skal behandles som

⁹¹ Aikenhead, 1996, s.7

⁹² Matthews, 1994, s.139

sådan.⁹³ Disse to modsætninger beskriver klart, at det lige så ofte er den epistemologiske opfattelse af naturvidenskaben, der ligger til grund for diskussionerne, som det er modstridende pædagogiske opfattelser af hvilken teori, der kan danne grundlag for den bedste undervisning. Quale beskriver forskellene på de to epistemologiske udgangspunkter med en analogi om overgangen fra den geocentriske model til den heliocentriske model til beskrivelse af verdensrummet. I den geocentriske model, hvor jorden er centrum for solens, månens planeternes og stjernernes baner, blev banerne beskrevet ved hjælp af cirkler, men da observationerne blev så gode, at det ikke længere var muligt at få cirklerne til at stemme overens med dem, så indførte man epicykler (små cirkler, der har et punkt liggende på omkredsen af den cirkel, der har centrum på jorden). Cirklen blev betragtet som den eneste bevægelse, der kunne beskrive de himmelske bevægelser. Den heliocentriske model, der blev indført af Kopernikus og videreført af Galileo og Kepler, er den model man i naturvidenskaben bruger til at beskrive verdensrummet. Den har solen som centrum og beskriver planeternes baner med ellipser, der har solen som det ene brændpunkt.

Den geocentriske model har indtil slutningen af 1900-tallet været brugt til navigation på havene, på trods af at det er almindeligt kendt, at det er den heliocentriske model, der afspejler den fysiske verden. Dette har dog ikke medført at den geocentriske model har givet forkerte resultater til navigationen, og derfor bliver den heller ikke i den sammenhæng betragtet som forkert. Det er inden for fysikken, at den ikke længere er relevant.⁹⁴ Jeg synes, at denne analogi giver et godt billede af, at begreber som rigtig og forkert afhænger af formålet med viden, og at dette formål hele tiden udvikler sig.

Konstruktivismen udvikler sig også, og især har den socialkonstruktivistiske tilgang fået større betydning for de undervisningsteorier, der er opstået i kølvandet af konstruktivismen. Posner et.al. har f.eks. erkendt, at deres oprindelige teori om begrebsændring fra 1982 manglede et socialt aspekt, og der er derfor medtaget i revideringen af teorien i 1992⁹⁵

Michael Matthews mener, at mange af de gode tiltag, der gøres for fysikundervisningen i konstruktivismens navn, ikke har nogen teoretisk tilknytning til konstruktivismen og ville være lige så effektive uden teoriens baggrund.

"Other epistemologies and other educational theories can equally suggest and demand humane, engaged, interactive, antidogmatic and intellectual teaching aimed at the development of critical capacities and well-formed understandings. Since Socrates this has characterized the best teaching, but as whit Socrates, realist and nonskeptics have been prepared to challenge students firmly held beliefs, which may well be reinforced by an over-

⁹³ Quale, 2003, s.94

⁹⁴ Quale, 2003, s.97-99

⁹⁵ Duit og Treagust, 1998, s.14

whelming amount of commonsense experience and deeply held cultural values. It is less clear that either personal or social constructivist pedagogy will do this, or at least it is not clear on what grounds it would do so, given that truth is not available as a ground for criticism.”⁹⁶

I stedet for at fokusere på at undervisningen skal tage udgangspunkt i konstruktivismen, mener Matthews, at man skal være opmærksom på, at den vestlige naturvidenskab ikke udspringer af en naturlig tankegang, og at man derfor ikke kan forvente, at elever vil kunne følge den, hvis de ikke ledes ind i den videnskabelige tradition af deres lærere. Overgangen til den naturvidenskabelige subkultur er også en del af konstruktivismen, så jeg betragter Matthews kritik af konstruktivismen som et udtryk for, at han ikke mener, at teorien alene er årsagen til at undervisningen forbedres. Konstruktivistiske undervisningsstrategier bliver ofte beskrevet som kreativ undervisning, men CASE-projektet, som beskrives i næste kapitel, er et godt eksempel på, at de to ting ikke behøver at afhænge af hinanden.

2.13 Forskelle og ligheder på de to perspektiver

Selvom de to syn på læring er meget forskellige, ses de i mange sammenhænge som forskellige aspekter af læringsprocessen.⁹⁷ Dolin (2001) har lavet et skema, der viser forskellene på det mentalkonstruktivistiske perspektiv og det socialkonstruktivistiske perspektiv.⁹⁸

	Mentalkonstruktivistisk perspektiv	Socialkonstruktivistisk perspektiv
Læringen/udviklingens endemål	Evne til formal-logisk tænkning	Beherskelse af kulturelle symboler og strukturer
Pædagogiske grundspørgsmål	Hvordan udvikler vi formal-logiske evner?	Hvordan tilegner vi os vores kultur?
Læringssyn	Individuelt, kognitivt	Socialt, kulturhistorisk
Viden ses som	Kognitive skemaer af kulturen	Betydningsskabelse formet
Vidensudvikling	Individuel → social	Social → individuel

⁹⁶ Matthews, 1994, s.161

⁹⁷ Duit og Treagust, 1998, s.3

⁹⁸ Dolin, 2002, s.136

Tilgang til verden	Logisk-deduktiv	Narrativ
Pædagogisk praksis	Hensyntagen til individuel videnskonsstruktion	Opbygning af sociale processer

Skemaet beskriver ikke de to perspektiver som forenelige. Det er især 'Lærings/udviklingens endemål', de 'pædagogiske grundspørgsmål' og 'viden ses som', der ikke ser forenelige ud, men jeg mener også, at Dolin i beskrivelsen af det sociokulturelle perspektiv har lagt for stor vægt på teoriernes fokusering på, at erkendelsen ligger i den sociale kontekst. Vygotskys skriver, at forskellen, på hans og Piagets forklaring på hvordan børn erkender videnskabelige begreber, ligger i betydningen af instruktion. Hvor Piaget tager udgangspunkt i at børnene udvikler deres erkendelse gennem stadier, og at udviklingen sker uafhængigt af instruktion, så mener Vygotsky at udviklingen er en konsekvens af barnets stadie, og hvilken instruktion han får. Jeg mener heller ikke, at de forskellige metoder, der tager udgangspunkt i lærlingemetoden, afviser, at erkendelsen foregår i individet, men de understreger i forhold til mentalkonstruktivismen, omgivelsernes betydning for, at læringen kan finde sted. Det fremgår i Hennessys artikel om situeret læring (1993), at læring skal tage udgangspunkt i den enkelte elev, men at elevens evne til at bruge det lærte afhænger af, hvilken social kontekst (både fysisk og psykisk) eleven befinder sig i, og derfor synes jeg, at man netop kan se de to perspektiver som to sider af samme sag. Det samme gælder for, hvilket syn man har på vidensudvikling. Viden bevæger sig fra det individuelle til det sociale, når man lærer, og påvirkningen går fra det sociale til det individuelle, når man skal bruge det, man har lært. Derfor ligger forskellen fra det mentalkonstruktivistiske og det socialkonstruktivistiske læringssyn, for mig, mest i, hvornår man har lært noget. Med et mentalkonstruktivistisk læringssyn har eleven tilegnet sig viden, når han har konstrueret et begreb eller en metode, mens eleven i et socialkonstruktivistisk læringssyn har tilegnet sig viden, når han kan bruge begrebet eller metoden i den rigtige sammenhæng.

Duit og Treagust beskriver forholdet mellem mentalkonstruktivisme og socialkonstruktivisme således:

"...mainstream constructivism has held that mental representations of certain structures or features of the world outside are stored in the human brain. Learning is seen as construction of mental models. Knowledge then is something an individual possesses. Social constructivist perspectives (e.g., Gergen 1995) do not deny that there is something stored in the human brain, but they claim that knowledge has significant 'social' aspects: knowledge

*can be distributed among the members of a certain community or shared by this community. Knowledge, then, is something that is 'between' the individual and the social."*⁹⁹

⁹⁹ Duit og Treagust, 1998, s.9

3. Konstruktivistiske undervisningsstrategier

Der er en tendens til at ligestille undervisning ud fra en konstruktivistisk læringsteori med kreativ undervisning, hvor eleverne får mulighed for at udfolde sig friere end den almindelige undervisning tillader. Hvis man kun ser på grundtesen i den konstruktivistiske teori, at eleverne selv skal danne begreberne, så kan dette lige så godt ske i forbindelse med almindelige tavleundervisning, hvor fysiklæreren forelæser og eleverne løser fysikopgaver. Det centrale er, om undervisningen får eleverne til at konstruere begreber og ikke de ydre forhold for undervisningen. En af grundene til, at teorien forbindes med kreativ undervisning, er, at mange af de redskaber, der er opstået i kølvandet af den konstruktivistiske forskning, kan bruges til at variere undervisningen og give eleverne en mere deltagende rolle.

Jeg har tidligere været inde på, at kortlægningen af hverdagsbegreberne har fået fysiklærere på alle niveauer i uddannelsessystemet til at være opmærksomme på elevernes forudsætninger, og dette giver gode muligheder for at undervise på elevernes præmisser. Fokuseringen på hverdagsbegreber og begrebsændring har været med til at udvikle undervisningsstrategier som begrebskort, kognitiv konflikt, udvikling af formal-operationel tænkning, og teorier, der tager udgangspunkt i elevers fokusering på egen læring (metakognition).

Jeg vil nu gennemgå de forskellige strategier og nogle forskningsprojekter, der tager udgangspunkt i den konstruktivistiske teori. Jeg vil komme med mine betragtninger om, hvordan brugen af videnskabshistorie kan gøre strategierne mere målrettede efter hver gennemgang.

3.1 En konstruktivistisk undervisningsteori

Richard T. White (1988) har formuleret en undervisningsteori, der har et konstruktivistisk læringsyn, hvor undervisningen i tråd med den konstruktivistiske grundtese bygger på, at eleverne skal danne begreberne i deres bevidsthed. Han bruger ikke elevernes eksisterende viden som ankerbegreber, undervisningen kan bygge på, men han forsøger i stedet at få eleverne til at forkaste deres hverdagsbegreber efter rationelle overvejelser om deres utilstrækkelighed.

Han bruger en konstruktivistisk retning, der er præget af Piagets teori og det er da også hans teori om den kognitive konflikt, som bruges til at få eleverne til at revurdere deres hverdagsbegreber. Omdrejningspunktet for teorien er hukommelseselementer. Undervisningen får eleverne til at danne forskellige hukommelseselementer, som de lærer at forbinde med hinanden. Når eleverne forbinder elementerne med hinanden, giver dem en forståelse af begreberne.¹⁰⁰

Læring består både af at danne de enkelte hukommelseselementer og af at forbinde dem med hinanden. Begreberne opstår i elevernes bevidsthed, når elementerne sættes sammen i grupper af viden. Forståelsen af begreberne er afhængig af hvilken struktur elementerne indgår i.

¹⁰⁰ White, 1988, s.22-40

White mener, at forståelse inden for den konstruktivistiske tradition kan beskrives som evnen til at bruge den lærte viden til at løse opgaver. Dette skal ses som en modsætning til den forståelse, der bygger på en automatisk genkaldelse af fakta og regler.¹⁰¹

Elevernes holdninger til faget fysik og deres opfattelse af konteksten er afgørende for deres opfattelse af undervisningen. Holdningerne dannes, ifølge White, af sociale forhold og af tidligere oplevelser af faget. Det er svært at ændre elevers holdninger til faget gennem undervisning. Konteksten, undervisningen foregår i, kan både beskrives ved de fysiske omgivelser og de intellektuelle. De fysiske omgivelser består af undervisningslokalerne, mens de intellektuelle omgivelser er bestemt af de normer, som elever og lærere opfører sig efter.

Det er vigtigt at al information gives på elevernes præmisser, og den skal helst eksemplificeres ud fra deres dagligdag. Han konfronterer elevernes hverdagsbegreber ved hjælp af eksperimenter, som han beder dem om at forudsige. White mener, at den kognitive konflikt, der opstår når man konfronterer eleverne med konsekvenserne af hverdagsbegreberne i forhold til de videnskabelige begreber, vil få dem til at forkaste hverdagsbegreberne til fordel for de videnskabelige begreber. Denne metode vil blive perspektiveret i afsnittet om CLIS-projektet.

3.2 Begrebskort

Novak og Gowin¹⁰² introducerede begrebskort med udgangspunkt i Ausubels teori om meningsfuld læring, der er beskrevet i det forrige kapitel. De mener også, at begreber er det centrale element i strukturen af viden og konstruktionen af mening. Formålet med at bruge begrebskort i undervisningen er at få lærere og elever til at fokusere på meningen i det, der skal læres. De beskriver undervisningssituationen ved hjælp af fire medaktører, læreren, eleven, pensum og miljøet, og dertil ser de tænkning, følelser og opførsel som faktorer, der også er vigtige for uddannelsessituationen. Begrebskort er et middel til at få tre af aktørerne til at arbejde sammen mod en forståelse af begreberne, der er fastlagt af pensum. Dolin (2002) giver en konkret beskrivelse af brugen af begrebskort i undervisningen. Begrebskortene består af sedler, der gives til eleverne, hvor centrale begreber fra et undervisningsemne er skrevet på. Det er så eleverne opgave alene, i små grupper eller hele klassen, at strukturere begreberne i forhold til hinanden. De kan struktureres hierarkisk, i en kæde eller tilfældigt. Eleverne skal forbinde de sedler, de mener har relation til hinanden og beskrive relationen. Dolin beskriver brugen af begrebskort som en undervisning, der aktiverer eleverne, og som de føler, de lærer noget af.¹⁰³ Brugen af begrebskort er også beskrevet i den socialkonstruktivistiske tradition af Roth og Roychoudhury.¹⁰⁴ De beskriver hvordan viden konstrueres socialt, og hvordan eleverne opbygger en fælles forståelse for begreberne, når de diskuterer sig frem til et begrebs-

¹⁰¹ White, 1988, s.49

¹⁰² Novak og Gowin 1984, s.7

¹⁰³ Dolin, 2002, s.261

¹⁰⁴ Dolin, 2002, s.262

kort. Nersessian har beskrevet, hvordan man kan forklare mekanikkens udvikling fra Aristoteles over Galileo til Newton ved hjælp af begrebskort,¹⁰⁵ og da mange af elevernes hverdagsbegreber om mekanik netop ligner den Aristoteliske mekanik,¹⁰⁶ kan begrebskortene over mekanikkens udvikling både bruges til at beskrive den historiske udvikling, fagets øgede kompleksitet og bruges som et redskab til at få eleverne til at forstå forskellen mellem deres hverdagsbegreber og den Newtonske mekanik, som vi bruger i dag.

3.3 Stadieteori

Piagets stadieteori ligger til grund for forskningsprojektet CASE (Cognitive Acceleration through Science Education), der er udviklet i London af Adey og Shayer, men også bruges på skoler i Danmark.¹⁰⁷ Projektet tager udgangspunkt i Shayers omfattende studier af elevers kognitive stadie, og om dette svarer til stadiet, der er nødvendigt for at løse opgaver i lærebøgerne.¹⁰⁸ Formålet med projektet er, at elevernes kognitive stadie skal op på det formaloperationelle niveau, hvor de behersker forhold som f.eks. proportionalitet. Projektet vedrører ikke den almindelige undervisning men foregår ved, at eleverne hver anden uge stilles nogle opgaver uafhængigt af undervisningen, der er designet, så de fører eleverne igennem stadierne. Opgaverne tager dog udgangspunkt i naturvidenskabelige problemstillinger. Opgaverne er opbygget, så eleverne gennemgår de forskellige stadier fra stadieteorien. Det har vist sig, at eleverne får et udbytte af opgaverne i forhold til den almindelige undervisning, og at deres resultater ikke bare er bedre end andre skolars, men det er også bedre indenfor forskellige fag, så eleverne lærer altså noget, de kan bruge indenfor mange forskellige undervisningsformer og i forskellige sammenhænge. Jeg synes ikke, at brugen af en historisk tilgang til undervisningen specielt kan fremhæves som en fordel her, da fokuseringen på udvikling af elevernes kognitive niveau ikke foregår i den almindelige undervisning.

3.4 Kognitiv konflikt

I CLIS-projektet¹⁰⁹ (Childrens Learning in Science) ønsker man at fremkalde kognitive konflikter hos eleverne ved at give dem nogle oplæg til diskussioner, som de skal føre i mindre grupper. Dette projekt forventer, at eleverne ændrer holdning til deres hverdagsforestillinger, når de ikke kan bruges til at forklare den situation, de diskuterer i gruppen.¹¹⁰ Projektets om-

¹⁰⁵ Nersessian, 1989, s.138-43

¹⁰⁶ Jeg vil understrege, at man ikke skal bruge analogien mellem elevernes hverdagsbegreber og den aristoteliske mekanik til andet end, at de begge bygger på den umiddelbare opfattelse af verden, da elevernes hverdagsbegreber ikke er en sammenhængende teori, men hvert begreb løser sin specifikke situation for eleven.

¹⁰⁷ Dolin, 2002, s.146

¹⁰⁸ Sjøberg, 1992, s.33-34

¹⁰⁹ Projektet udsprang fra Leeds University 1982, med Rosalind Driver som projektleder.

¹¹⁰ En gennemgang af projektet kan findes i Scott og Driver, 1998, hvor der også henvises til projekt rapporten *Children's learning in Science*, 1987 og en dansk gennemgang i Goldbech og Thomsen, 1992

drejningspunkt er ikke selve den kognitive konflikt men begrebsændring. De er meget bevidste om, at projektet tager udgangspunkt i en konstruktivistisk grundholdning, og at det både er en holdning til undervisning og til videnskabsfagets epistemologi. De involverer derfor ca. 30 lærere, og bruger deres erfaringer med undervisning til at fastlægge sig på en undervisningsmetode, da konstruktivismen ikke kan foreskrive undervisningen.

*"...it assumes a realist not a relativist ontology. An important consequence of this position is that teaching schemes have learning goals which are both conceptual and epistemological. The conceptual goals help students to understand and be able to use scientific frameworks in specific topic domains. The epistemological goals help students to recognise that scientific knowledge is conjectural and to gain an appreciation of the rational criteria (such as consistency, coherence, parsimony) which are drawn on by the scientific community in generating and validating knowledge claims."*¹¹¹

De tager ikke kun udgangspunkt i Piagets teori om udvikling gennem kognitive konflikter og Posner, Strike, Gertzog og Hewsons teori om begrebsændring. Den konstruktivistiske grundholdning kommer til udtryk i 7 punkter, som jeg her gengiver overskrifterne af i Goldbech og Thomsens oversættelse.¹¹²

1. Elevens forudsætninger spiller en rolle.
2. Den enkelte elev konstruerer sin egen forståelse.
3. At konstruere forståelse er en kontinuert og aktiv proces.
4. Læring kan indbefatte ændring af eksisterende begreber.
5. Man tror ikke altid på en konstrueret forståelse.
6. Eleven har selv ansvaret for at lære.
7. Nogle konstruerede forståelser er fælles.

Efter en periode hvor de tilknyttede lærere afprøvede forskellige metoder til at opbygge undervisningen, lagde de sig fast på en ramme, som de ville bruge. Faserne i rammen er orientering, bud på idéer, omstrukturering, anvendelse og bevidstgørelse. Omstruktureringsfasen blev yderligere inddelt i fire faser, klargørelse, konflikt, konstruktion og evaluering. Orienteringsfasen skal introducere emnet for eleverne, og derefter skal de give nogle bud på idéer om emnet, for at gøre eleverne og lærerne opmærksomme på, hvad deres (hverdags-)idéer består af. Omstruktureringsfasen er den centrale del af undervisningen, hvor eleverne skal blive bevidste om forskellen på deres forestillinger og de videnskabelige forestillinger. Klargøringen skal bevidstgøre eleverne om deres hverdagsbegreber og disses begrænsninger, derefter forsøger man der at sætte eleven i en kognitiv konflikt enten ved, at han skal diskutere emnet med andre elever eller ved at betragte og forudsige eksperimenter og altså bevidstgøre manglerne ved deres hverdagsbegreber. Konstruktionsfasen består af elevernes orientering mod de

¹¹¹ Scott & Driver, 1998, s.70

¹¹² Goldbech og Thomsen, 1992, s.57

videnskabelige begreber. I denne fase er det vigtigt at være opmærksom på, at eleverne ikke ændrer begreber alene på baggrund af eksperimentelle oplevelser, men at de også har behov for en ny teori at forholde sig til, og det giver eksperimenter ikke.¹¹³ Evalueringsfasen er elevernes undersøgelser af mulighederne for at anvende deres nye begreber, der forhåbentlig ligner de videnskabelige begreber. Omstruktureringsfasen glider således over i anvendelsesfasen, hvor eleverne også undersøger mulighederne for teoretisk og praktisk at anvende de nye begreber, og bevidstgørelsesfasen skal understrege udviklingen overfor eleverne, så de bliver opmærksomme på den udvikling, de har gennemgået.¹¹⁴

Man kan bruge den historiske udvikling som eksempel på, at begreber har ændret indhold, hvilket måske kan gøre processen lettere for eleverne, og man kan bruge historiske problemstillinger som udgangspunkt for diskussionen. Endelig kan man pålægge eleverne at forsvare et givet historisk udsagn, som andre elever kan angribe, dette kan få eleverne til at overveje oprindelsen af deres hverdagsbegreber, og om de kan bruges i den etablerede videnskabelige tradition, og samtidig lære dem hvordan viden udvikler sig i det naturvidenskabelige miljø.

3.5 Metakognition

PEEL-projektet¹¹⁵ (Project for Enhancing Effective Learning) startede i Australien, og hovedformålet er at øge elevernes opmærksomhed på deres egen læring, så de bliver i stand til at tage ansvaret for den. De fokuserer på, at eleverne skal danne deres egen mening om fænomener og ikke kun blive i stand til at reproducere lærebøger. Projektet har medført, at lærer-elev rollen er blevet ændret, da lærerne i projektet opfordrer eleverne til at tage et større ansvar for deres egen læring, ved blandt andet at inddrage dem i planlægningen af undervisningen og ved at vise dem, at det Ausubel kalder uden-adslæring, som f.eks. kan foregå ved, at eleverne ukritisk skriver noter fra tavlen, ikke har nogen forbindelse med læring. Forholdet mellem lærere og elever bliver mere ligeværdigt og kulturen i klasselokalet ændrer sig fra at være en tilskuerkultur, hvor eleven bare skal kunne gengive, det læreren har forklaret, til en deltagerkultur, hvor diskussioner mellem lærer og elever skal udvikle forståelsen af det faglige stof og om læringen.

Mange af de strategier, som lærerne bruger i PEEL-projektet, bliver også brugt i andre undervisningsforsøg og i almindelig undervisning, men forskellen er, at formålet med at anvende strategierne er, at fremme elevernes metakognition og ikke decideret at fremme læringen af det specifikke indhold af undervisningen. Det er en sidegevinst.

¹¹³ Driver, 1989, s.89

¹¹⁴ Goldbech og Thomsen, 1992, s.50-60

¹¹⁵ Dette afsnit er skrevet ud fra Ingerslev og Dolin, 1995

3.6 Opsamling

Alle de undervisningsstrategierne, der er beskrevet giver eleverne et større udbytte af undervisningen. Det er svært at overskue om resultatet er en konsekvens af selv forsøgsprojektet, eller om det også er en konsekvens af, at lærerne generelt på de skoler hvor forsøget udføres, er blevet mere opmærksomme på deres undervisning. Der opstår ofte et nyt forum for at diskutere de nye undervisningsstrategier og det kan være medvirkende til de gode resultater. Jeg synes, at det er vigtigt at holde fast i, at man kan opnå gode resultater, når man får lærere, elever og skoleledere til at fokusere på hvordan undervisningen udføres og i hvilket pensum.

4. Almendannende fysikundervisning og brugen af historisk fysik

Som det er beskrevet i indledningen, så har skolefaget fysik i gymnasiet udviklet sig til at blive en neddroglet udgave af videnskabsfaget fysik. Indholdet af undervisningen er defineret ud fra en lærerfaglighed, der især udspringer af den faglige tradition, som lærerne tilegner sig i løbet af deres uddannelse, og den er ikke præget af elevfaglighed, der beskrives ved den faglighed, man mener, at eleverne bør besidde som resultat af undervisningen.¹¹⁶ Årsagerne, til at faget har udviklet sig på denne måde, kan generelt beskrives som en mangel på sammenhæng mellem lærernes intentioner med undervisningen og undervisningsvejledningernes intentioner og manglende refleksioner over sammenhængen mellem videnskabsfaget fysik, skolefaget fysik og undervisningen. Udviklingen har efterhånden fået konsekvenser for elevernes handlemåde, da de fravælger undervisning i fysik og kemi, når de har mulighed for det.¹¹⁷

Jeg vil beskrive nogle forslag, til hvordan de naturvidenskabelige fag kan udvikle sig mod en undervisning, der i højere grad udvikler eleverne som kritiske demokratiske borgere ved at give dem en grundlæggende forståelse af, hvilken placering de naturvidenskabelige fag har intellektuelt og kulturelt. Jeg vil også beskrive, hvordan en historisk tilgang i fysikundervisningen knytter sig til denne undervisning.

4.1 Almendannelse i fysikundervisningen

Af rapportudkastet fra arbejdsgruppen "Fremtidens Naturfaglige Uddannelser" (FNU) fremgår det, at det almindelige aspekt i den naturvidenskabelige undervisning på alle niveauer i det danske uddannelsessystem bør forstærkes, dog mest på folkeskole- og ungdomsuddannelsesniveau.

*"Det må være ambitionen for naturfagene i Danmark at de både **tilbydes til alle**, og at de **har noget at tilbyde alle**. Det almindelige naturfaglige element må således leve op til to forventninger: at indholdet kan argumenteres at være væsentligt for **alle**, og at indholdet også **opleves som vedkommende af i hvert fald det store flertal**."*¹¹⁸

Naturvidenskabelig almindelse er et udtryk, der blev introduceret i 50'erne, og det bliver ofte brugt i forbindelse med reformeringer af de naturvidenskabelige uddannelser. Reformene opstår, fordi man ønsker at hæve elevernes faglige niveau.¹¹⁹ Der findes stadig ingen præcis definition af, hvad naturvidenskabelig almindelse er, men generelt kan man sige, at det indebærer en bred og funktionel forståelse af naturvidenskab, der sigter mod generelle dannelses- og uddannelsesformål.¹²⁰

¹¹⁶ Dolin, 2003, s.3 og 4

¹¹⁷ FNU, 2003, s.8

¹¹⁸ FNU, 2003. s.12

¹¹⁹ DeBoer, 2000, s.587

¹²⁰ DeBoer, 2000, s.594 og FNU, s.12

Den øgede fokusering på almindannelsen i de naturvidenskabelige fag er FNU's forsøg på at imødekomme den manglende interesse for fagene, da den medfører et rekrutteringsproblem og et demokratiproblem. Rekrutteringsproblemet viser sig allerede tydeligt, da der er mangel på naturvidenskabelig arbejdskraft, og da undersøgelser viser, at eleverne vælger de naturvidenskabelige fag fra, når de får mulighed for det, er der ikke udsigt til, at problemet bliver mindre fremover.¹²¹ Demokratiproblemet er ifølge FNU en større udfordring, da en anden virkning af fravalget er, at en stor del af befolkningen har meget begrænset eller slet ingen viden om naturvidenskabelige forhold. Mange af de beslutninger, der skal tages i et moderne samfund, stiller borgerne over for naturvidenskabelige problemstillinger, som de har svært ved forstå. Det kan medføre, at vigtige naturvidenskabelige spørgsmål ikke får den nødvendige opmærksomhed, og at dyre langsigtede løsninger bliver vraget til fordel for kortsigtede løsninger.¹²²

Begrundelserne for at alle eleverne skal modtage naturfaglig undervisning, beskriver FNU ved at opstille fire perspektiver. Eleverne skal have en "*natur- og omverdenforståelse*," hvor de blandt andet skal få lyst til at eksperimentere og at lære naturen bedre at kende og erkende, at naturvidenskab har bidraget til den kultur, vi oplever i dag.¹²³ De skal have en "*medborger-skab/handlekompetence i et demokratisk samfund*," hvor de får et grundlæggende kendskab til indholdet i naturvidenskaberne, men også får en forståelse af deres rolle i samfundet. Eleverne skal have "*studiekompetence*," så de bliver rustet til at kunne tage en videregående uddannelse, men de skal også kunne bruge den naturvidenskabelige viden uden for uddannelsessystemet. Naturfaglig undervisning skal også virke som *arbejdsmarkedsforberedende*," da mange job kræver enten generelle eller specifikke naturfaglige kompetencer.¹²⁴ For at disse fire perspektiver kan tilgodeses i undervisningen mener FNU, at følgende områder som minimum bør indgå i den almene del af uddannelsessystem:¹²⁵

- "1. At kunne glædes ved, respektere og udvise ansvar over for naturen.*
- 2. At kende bærende ideer i dagens naturvidenskabelige verdensbillede - og nogle træk i dets historiske udvikling.*
- 3. At besidde og kunne trække på et vist niveau af almen, naturvidenskabeligt frembragt viden i relevante situationer.*
- 4. At forstå de metoder hvormed naturvidenskaber opnår viden og erkendelse, særligt betydning af iagttagelse, eksperiment, model og den kvantitative tilgang.*

¹²¹ FNU, 2003, s.6

¹²² FNU, 2003, s.6

¹²³ FNU, 2003, s.10

¹²⁴ FNU, 2003, 10-11

¹²⁵ FNU, 2003, s.12 jeg har nummereret punkterne for lettere at kunne henvise til dem.

5. *At forstå, respektere og værdsætte styrker og begrænsninger i naturvidenskabelige metoder, værdier, beviser og kendsgerninger.*
6. *At kunne vurdere og bidrage til debatter om risici og erkende etiske, moralske og politiske spørgsmål i forbindelse med de handlemuligheder naturvidenskab og teknologi tilbyder, herunder at kunne skelne mellem videnskabelig argumentation og værdimæssige vurderinger i dagsaktuelle socio-videnskabelige problemstillinger.*
7. *At forstå den rolle naturvidenskab og teknologi spiller som elementer i udviklingen af vores kultur og velfærdssamfund, og kunne forholde sig kritisk til den, herunder forstå og imødegå andres kritik af naturvidenskaberne.*
8. *At kende til naturvidenskabernes plads i vores kulturarv; i en idéhistorisk og filosofisk sammenhæng."*

En almendannende fysikundervisning er som nævnt ikke et entydigt begreb, men det bruges alligevel undervisningsvejledningerne uden yderligere præcisering af begrebet. Paulsen (2003) beskriver forskellen på intentionerne med en almendannende undervisning i vejledningerne og den faktiske undervisning, som store.¹²⁶ Forskellen ligger primært i, at mange af fysiklærerne beskriver den naturvidenskabelige metode og fagets indhold som det almendannende aspekt i fysikundervisningen, hvorimod intentionerne i undervisningsvejledningerne sigter mod et mere demokratisk dannelsesperspektiv, der blandt andet indebærer, at undervisningen lægger vægt på de naturvidenskabelige fags betydning for samfundet.¹²⁷ Forskellene på retningen undervisningen tager, alt efter om den bygger på lærernes opfattelse af en almendannende undervisning eller en demokratisk almendannelse, kalder Paulsen den naturvidenskabelige diskurs og den socio-kulturelle diskurs. Den naturfaglige diskurs, der har sit ophav fra 60'ernes behavioristiske syn på undervisning, hvor elevernes udbytte af undervisningen betragtes som et produkt af grundlæggende naturvidenskabelige begreber og metoder, og de

*"...instrumentelle færdigheder var mere fremtrædende end de reflektoriske. En instrumentel opfattelse af den naturvidenskabelige arbejdsmetode blev således anset for at være et kritisk rationelt instrument til at håndtere ikke blot naturvidenskabelige men også alment menneskelige og samfundsmæssige problemstillinger."*¹²⁸

Viden opfattes, som noget man kan have og ændre. Det er kontekstafhængige naturvidenskabelige begreber og metoder, der er målet for undervisningen, og elevernes hverdagsbegreber bør ændres, så de er i overensstemmelse med de fysisk definerede begreber.¹²⁹ Lærerrol-

¹²⁶ Paulsen, 2003, s.4

¹²⁷ Danmarks evalueringsinstitut, 2001, s.215 og DeBoer, 2000, s.587

¹²⁸ Paulsen, 2003, s.2

¹²⁹ Paulsen, 2003, s.10

len karakteriseres ved at levere færdigheder og kundskaber, og læreren står overfor eleverne og kontrollerer undervisningen. Evalueringen af undervisningen forsøger at

*"...lukke et vindue op til den lærendes hoved og se, om et lærestof er tilegnet, for så må det findes derinde. Ofte forsøger læreren at forstå elevens mindre velartikulerede udtryk som tegn på, hvad eleven i virkeligheden ved."*¹³⁰

Den kulturelle socio-politiske diskurs, hvor det er elevernes evne til at reflektere over naturvidenskabelige problemstillinger, der er målet for undervisningen, lægger mere vægt på undervisning om naturvidenskab i modsætning til i naturvidenskab, fordi:

*"En person kan måske nok ikke foretage en faglig vurdering af naturvidenskabelige resultater. Men derfor kan personen godt have opfattelser af naturvidenskabelige resultater så som, at ikke alt er troværdigt, at det kan være styret af økonomiske og/eller politiske interesser, at der indenfor det naturvidenskabelige forskningsfællesskab altid er debat om resultaterne, at naturvidenskabelige resultater altid rummer forenklinger, approksimationer og kompromiser."*¹³¹

En undervisning, der fokuserer på forholdene omkring naturvidenskab, bør tilrettelægges, så der opstår en deltagerkultur i klassen, da omdrejningspunktet er at blive i stand til at forholde sig til naturvidenskaben, og det kan ikke læres i en tilskuerkultur, hvor elevens rolle groft sagt består af at være tilstede og lytte.

Lærerens rolle i en deltagerkultur er ikke længere at kontrollere undervisningen og gennemgå det pensumbestemte stof på en pædagogisk måde. Rollen er snarere at sætte diskussioner i gang om relevante autentiske problemstillinger og gennemgå det naturvidenskabelige stof, der på grund af diskussionerne bliver relevant samt at være indstillet på at inddrage andre fagområder. Diskussionerne skal tilrettelægges, så de udvikler elevernes evne til logisk at ræsonnere og analysere naturvidenskabelige problemstillinger fra det omgivende eller det videnskabelige samfund.

Skolefaget fysik, bliver i den naturvidenskabelige diskurs defineret ved dets faglige indhold, altså hvilke teorier og begreber eleverne skal kunne anvende, når de er blevet undervist på et givet niveau. I den socio-kulturelle diskurs ville det være de almendannende kompetencer, som at forholde sig til naturvidenskabelige fremstillinger, forstå argumentationsformen og kunne bruge den i forhold til virkeligheden. I denne diskurs giver det ikke mening, at definere faget ved dekontekstualiserede begreber, da valget af begreber og teorier bør afhænge af den historiske/autentiske problemstilling man underviser efter. Undervisningen skal også ændre fokus fra at lære eleverne at operere matematisk med formler og begreber, til at de kan sætte begreberne ind i relationer, placere dem i videnskabshistorien og forholde sig kritisk til dem.

¹³⁰ Paulsen 2003, s.11

¹³¹ Paulsen, 2003, s.8

*"For this reason, efforts at scientific literacy will be much more successful if we remove the burden of requiring all students to achieve mastery of a specific body of content. Then local teachers can feel free to experiment with alternative goals and approaches that might be more interesting and appropriate for them and their students."*¹³²

Man kan ikke forvente, at eleverne kan omsætte videnskabelige dekontekstualiserede begreber, så de kan anvende dem i en kompleks virkelighed, som vores samfund er, og derfor bør det være diskussionsoplæggene, der afgør hvilke begreber, der er relevante for undervisningen. Denne form for undervisning indeholder en helt ny lærerrolle, og uddannelsen af lærerne bør ændres, så de kan varetage rollen. Evalueringen af eleverne bør også ændres, så den svarer til kravene. Et af problemerne med evaluering af en almindendannende fysikundervisning er, at almindendannelse ikke er noget, man kun udvikler under skolegangen.

*"Scientific literacy is primarily about the level of scientific understanding that exist in the adult population, something that changes and grows over time. It is really not about what students know when they are in school—although what they learn in school will certainly affect their attitudes about science and their desire to continue to learn in the future."*¹³³

Hvis undervisningen planlægges efter de kompetencer, eleverne skal opnå, såsom forståelse af videnskabelig argumentation, forståelse for naturvidenskabens rolle i samfundet, så er det muligt at evaluere disse krav, da de ikke adskiller sig fra de krav, der stilles til eleverne i de humanistiske fag. Det er ikke muligt at afgøre, om den viden, eleverne har tilegnet sig i undervisningen, vil udvikle sig til en videnskabelig forståelse, der kan bruges i et demokratisk samfund. Det vil vise sig nogle år efter eleverne har forladt skolen.

Selv om FNU ikke eksplicit beskriver det almindendannende aspekt ved fysikundervisningen som tilhørende til den socio-politiske diskurs, så viser begrundelsen for en større vægt på almindendannelsen, og beskrivelsen af hvilken punkter undervisningen bør indeholde, at de ikke mener, at den naturvidenskabelige metode alene kan anses for at være almindendannende. Undervisning, der er tilrettelagt, så det er den naturvidenskabelige metode, der skal dække det almindendannende aspekt, kan efter min mening ikke fyldestgørende opfylde de punkter, som FNU har opstillet, og som de mener er et minimumskrav til en almindendannende undervisning. Mange af punkterne indeholder begreber som *"værd sætte styrker og begrænsninger, vurdere handlemuligheder, kende naturvidenskabens plads,"* og disse begreber involverer elevens evne til at vurdere forhold, det ikke er muligt at begrænse til en undervisning i naturvidenskabelig metode. Mit eksempel på, hvordan historisk fysik kan anvendes i undervisningen, vil

¹³² DeBoer, 2000, 598-99

¹³³ DeBoer, 2000, s.597

beskrive, at den naturvidenskabelige metode langt fra er så simpel, som den præsenteres i undervisningen og bruges i fysiklokalerne.

Punkterne, som FNU opstiller, kan opfattes som en uddybning af indholdet i formålsbeskrivelserne i undervisningsvejledningerne og af dimensionerne i 1988, der bliver neddrolet til perspektiverne i 1999.¹³⁴ Erfaringen fra indførslen i 1988 og 1999 er, at selve undervisningen ikke ændrer sig ret meget på trods af initiativerne.¹³⁵ Konflikten mellem læseplanernes opfattelse af almindannelsen som en demokratisk orienteret del af uddannelse og lærernes opfattelse af almindannelsen som liggende i den naturvidenskabelige metode påvirker undervisningen og dermed også elevernes oplevelse af fysikfaget.

*"Det må være indlysende, at det må komme eleverne til skade, når den konventionelle undervisning med en disciplincentreret naturfaglig diskurs på det retoriske plan hævder også at føre en socio-politisk og socio-kulturel diskurs. Det giver nemlig det indtryk, at den disciplincentrerede faglige diskurs med dens kontekstafhængige begreber og rationalitet problemfrit lader sig transmittere til praktiske situationer og beslutningsprocesser i det virkelige liv."*¹³⁶

Hvis man ønsker, at der skal ske en reel ændring i undervisningens indhold og metode, skal det første skridt være at involvere lærerne og ikke være at ændre undervisningsvejledningerne, da man ikke kan regne med lærere, der allerede tilhører en tradition indenfor undervisning, ændrer deres undervisning, blot fordi vejledningen ændres. Det er ikke muligt at ændre undervisningen uden at lærerne er involveret i ændringsprocessen.¹³⁷ De lærere, der deltog i henholdsvis CLIS-projektet og PEEL-projektet, tilkendegav, at det var svært for dem at ændre deres undervisning men, at det samtidig for mange af dem var første gang de arbejdede metadisk med undervisningsstrategier.

FNU beskriver en plan for hvilke tiltag, der er nødvendige, for at man kan indføre ændringerne i undervisningen. De peger generelt på etablering af lærerteams og styrkelse af fagkonsulentsystemet. For ungdomsuddannelserne peger de på, at et almindennende naturfaglig undervisningsforløb bør indgå i alle studieretninger, at undervisningskompetence ikke skal være afhængig af en universitetsuddannelse, og at skoleledere skal sikre muligheder fra naturfagsdidaktisk debat og give støtte til udviklingsarbejde med fokus på læring, evaluering og udvikling af kompetencebaseret undervisning.¹³⁸ Lærerne skal efteruddannes, og uddannelsen af nye lærere skal gentænkes, så der kommer en konsensus for lærere på alle niveauer i skolesystemet.¹³⁹ FNU lægger også op til, at der skal oprettes en udviklingsfond, der skal stå for den-

¹³⁴ Undervisningsministeriet, 1988 og 1999b

¹³⁵ Danmarks evalueringsinstitut, 2001, s.???

¹³⁶ Paulsen, 2003, s.9

¹³⁷ DeBoer, 2000, s.596

¹³⁸ FNU, 2003, s.20-21

¹³⁹ FNU, 2003, s.23 og s.25

ne udvikling. Ud over de ovennævnte tiltag skal fonden også udvikle undervisningsmateriale og styrke den generelle interesse for naturvidenskab i samfundet ved at oprette en uddannelse som videnskabsjournalist.¹⁴⁰

4.2 Almendannende fysikundervisning og brugen af historisk fysik i undervisningen

Fysikfagets problemer, som de bliver beskrevet i rapportudkastet fra FNU, er blevet behandlet af en række internationale didaktikere. Jeg vil her beskrive, hvordan de mener, at man kan bruge almindendannende formål og historisk fysik i undervisningen, for at imødekomme problemerne.

Historiske problemstillinger kan bruges til mange forskellige formål i fysikundervisningen, og jeg vil i næste kapitel konkretisere dette ved at gennemgå forskellige undervisningsforløb. Overordnet kan man dele formålene op i to. Et pædagogisk formål, hvor den historiske indfaldsvinkel bruges til at gøre stoffet lettere forståeligt for eleverne, gøre det mere interessant, lære dem noget om hvordan de lærer, eller det kan have et almindendannende formål, hvor eleverne lærer at forholde sig til videnskabelig viden, lærer ophavet til deres kultur at kende og lærer om forholdet mellem videnskab, teknologi og samfund. For Matthews, Irwin og Stuewer og Driver er dette to sider af samme sag, da de alle mener, at en forudsætning for at lære naturvidenskab, er at kende til naturen af naturvidenskaben og at kende den historiske udvikling og filosofiske betydning af videnskaben.¹⁴¹ Denne gruppe af forskere mener også, at en forøgelse af vidensniveauet i store dele af befolkningen er et succeskriterium for den naturvidenskabelige undervisning, og deres forskning er primært rettet mod den brede fysikundervisning.

Michael Matthews har i sin bog *Science Teaching* (1994) opstillet et sæt punkter, der beskriver, hvilket bidrag videnskabshistorie og videnskabsfilosofi kan give til fysikundervisningen. Han mener, at de generelt kan være med til at humanisere fagene og dermed gøre dem mere attraktive (især for piger). Logiske og analytiske øvelser med udgangspunkt i videnskabshistoriske og videnskabsfilosofiske eksempler kan gøre undervisningen mere udfordrende og opøve ræsonneren og kritisk tænkning, og de kan give eleverne en mere fuldstændig forståelse af fagene. Lærerne kan bruge videnskabshistorie og videnskabsfilosofi til udvikle en mere autentisk forståelse af naturvidenskabernes plads i verden både intellektuelt og socio-politisk, og de kan hjælpe lærerne til at forstå elevernes problemer med at lære fagene.¹⁴²

¹⁴⁰ FNU, 2003, s.28

¹⁴¹ Matthews, 1994, s.8, Irwin, 2000, s.9, Stuewer 1997/98, Driver et.al. 1996, s.14

¹⁴² Matthews, 1994, s.7

Formålene og det beskrevne udbytte af at bruge videnskabshistorie og videnskabsfilosofi i undervisningen ligner meget de formål, FNU har opstillet, og Matthews mener da også, at undervisning i fysik uden nogen viden om den tilhørende historie og filosofi giver en meget mindre og nærmest ubrugelig forståelse af indholdet af faget.

*"The overall argument is that HPS is **relevant** to, and **implied** by, much of the practice and theory of science education....No matter how strongly a teacher holds particular views in the history and philosophy of science, a HPS education requires that students themselves come to hold their own reasoned opinions on the subject."*¹⁴³

Driver et.al. (1996) giver udtryk for at forståelsen af naturvidenskab hænger sammen med forståelse af og viden om fagenes natur, og de finder i deres undersøgelse, at videnskabshistorie er en god måde at få eleverne til at reflektere over deres egen læring. Viden om, hvordan naturvidenskab udvikler sig, giver eleverne en bedre forståelse for, at naturvidenskabelig viden ikke er statisk men i konstant udvikling.¹⁴⁴ I deres konklusion skriver de, at kendskab til videnskabens natur understøtter læring af fysik, giver en bedre brug af naturvidenskabelig viden senere i livet, og får eleverne til at se videnskab som en menneskelig aktivitet. Historisk fysik bliver fremhævet som en god indfaldsvinkel til at give eleverne et indtryk af videnskabens natur.¹⁴⁵

Irwin (2000) har beskrevet, hvordan anvendelsen af en historisk tilgang, om atomet og opbygningen af det periodiske system, i undervisningen medvirkede til, at eleverne kunne kende forskel på en model og virkeligheden, og at de fik indtryk af, at videnskab udvikler sig, og ikke er en sum af færdige resultater.¹⁴⁶ Irwins begrundelse for, at historisk materiale skal bruges i undervisningen, er, at det kan give eleverne en forståelse for videnskabens natur. Han mener, at et almindende for er mere nødvendigt for de elever, der ikke skal læse naturvidenskab i fremtiden, da det er i deres almene skolegang, at de har mulighed for at beskæftige sig med videnskabernes natur, hvorimod de andre formentlig får lejlighed til det i løbet af deres videre uddannelse. De historiske eksempler er bedre til at give eleverne en forståelse af videnskabens natur end aktuel forskning, da de fagligt er nemmere for eleverne, og da en udvikling er lettere at beskrive historisk.¹⁴⁷ Irwin gengiver et studie af Solomon, Scott og Duveen,¹⁴⁸ hvor de undersøger, hvordan elevernes syn på videnskabens natur ændrer sig, når de undervises med historisk materiale.

¹⁴³ Matthews, 1994, s.8

¹⁴⁴ Driver et.al.1996, kap.2

¹⁴⁵ Driver et.al, 1996. kap10

¹⁴⁶ Irwin, 2000, s.21

¹⁴⁷ Irwin, 2000, s.8

¹⁴⁸ Henvisningen på artiklen: Solomon, J. Scott, L. og Duveen, J. (1996). Large Scale Exploration of Pupils' Understanding of the Nature of Science. Science Education, 80, 493-508

*"They found that stories from history seemed to have provided alternative images of scientific epistemology that generated more reflection. One notable effect of such stories was that there was a substantial increase in the number of pupils who thought that scientists set out to seek explanations rather than make discoveries."*¹⁴⁹

Jeg synes at Driver og Irwin tager udgangspunkt i det faglige formål, og det almendannende formål bliver en ekstra gevinst, da de beskriver udbyttet af undervisningen ud fra elevernes bedre forståelse af fagets indhold,¹⁵⁰ hvorimod Matthews tager udgangspunkt i det almendannende formål og tager det faglige formål som ekstragevinsten, da han vægter viden om den historiske udvikling og forståelse for filosofiens betydning hos eleverne som det vigtigste og den øgede interesse for faget som en konsekvens.¹⁵¹

Der er mange måder, man kan inddrage historisk materiale på i undervisningen, og jeg vil gennemgå et eksempel på det i de næste kapitler. Her vil jeg bare nævne, at det kan være anekdotisk, for at give eleverne et forhold til stoffet, metafysisk, for at lære eleverne om videnskabens natur, det kan være et eksempel på hvor mange aspekter af samfundet naturvidenskab berører, tankeeksperimenter på historiske problemer for at vise, hvordan en historisk meget brugt metode virker og få eleverne til at fokusere på deres egen læring og viden. Det centrale for brugen af historisk materiale er, at det skal have en velovervejede pædagogisk begrundelse.

En øget fokusering på det almendannende aspekt ved fysikundervisningen har altså ikke kun det formål at gøre fysikfaget mere attraktivt, men selve indlæringen af de fysiske teorier og begreber bliver også understøttet af fokuseringen. En socio-kulturel almendannende fysikundervisning vil ud over at give en større interesse for fysikfaget blandt eleverne også give et bedre vækstgrundlag for de naturfaglige videregående uddannelser, og så giver den også de elever, der vælger at læse videre på universitetet en bedre baggrund både fagligt og kritisk almendannet. Stuewer (1997/98) citerer en oversigt, der er lavet af amerikanske fysiklærere.

*"That survey supported the findings of other studies, "that broadening physics literacy among all students and preparing future professionals for further work in the field are complementary rather than competing goals" that is "there is a synergistic effect between physics education for the mass of nonscience students and physics education for future scientists" (Neuschatz, 1989,34-35) The better the one, the better the other; the better citizens in general understand physics, the better will be the cultural climate for physicists."*¹⁵²

¹⁴⁹ Irwin, 2000, s.9

¹⁵⁰ Driver, 1996, kap 10 og Irwin, 2000, s.8

¹⁵¹ Matthews, 1004, s.161

¹⁵² Stuewer, 1997/98, s.8 Ref: Neuschatz, Michael, 1989. *Reaching the Critical Mass in High School Physics*. Physics Today, 42 s.30-36.

Selv om brugen af historisk fysik i undervisningen ikke specifikt bliver beskrevet i rapportudkastet fra FNU, så mener jeg, at det er nødvendigt at bruge det især i forhold til de punkter, der vedrører en forståelse af det naturvidenskabelige verdensbillede, at forstå de naturvidenskabelige metoder, at kunne skelne mellem videnskabelig argumentation og værdimæssige vurderinger og selvfølgelig at kende naturvidenskabernes plads i vores kulturarv (punkterne 2, 4, 6, 8). Generelt mener jeg, at historisk fysik kan indgå som en del af undervisningen for alle områderne, da det vil gøre undervisningen mere attraktiv, og da det kan udvikle evnen til kritisk at tage stilling til problemstillinger i samfundet, der har et naturvidenskabeligt indhold.

4.3 Almendannelse og konstruktivisme

Mange af de pædagogiske metoder, der er udsprunget af den konstruktivistiske forskning, kan både bruges indenfor en naturfaglig diskurs og en socio-kulturel diskurs. Det er beskrevet i det ovenstående, at fokuseringen på begrebsudvikling hos eleverne i den naturvidenskabelige diskurs er central for undervisningen, og i den sammenhæng kan begrebskort, udvikling af logisk ræsonneren, fremkaldelse af kognitive konflikter og elevers fokusering på egen læring være gode hjælpemidler i undervisningen. I den socio-kulturelle diskurs skal eleverne deltage i undervisningen på lige fod med læreren, mens hun samtidig sørger for, at undervisningen har et rimeligt fagligt niveau. Jeg mener også at begrebskort, udvikling af logisk ræsonneren, fremkaldelse af kognitive konflikter og elevers fokusering på egen læring kan bruges i denne diskurs, det er dog nogle andre formål disse metoder skal bruges til. Hvor begrebskort i den nuværende tradition bruges til at give eleverne en fornemmelse for, hvordan begreber indenfor et fysikemne hænger sammen, så kunne begrebskort med stor gavn bruges til at lære eleverne, hvordan en teori bliver anerkendt indenfor det videnskabelige samfund, og de kognitive konflikter behøver heller ikke tage udgangspunkt i elevers hverdagsforestillinger om fysiske begreber, men de kan også handle om de (historiske) forestillinger, om hvordan en teori er blevet til. De bliver ofte beskrevet misvisende i undervisningsmaterialet for at fremså pædagogiske (se eksemplet i næste kapitel og i indledningen). En historisk tilgang til fysikemnerne vil generelt give eleverne mulighed for at danne en grundlæggende forståelse for emnet (à la Ausubels ankerbegreber) ud fra forhold, som er nemmere at forholde sig til end abstrakte fysiske begreber. Det samme gælder for aktuelle problemstillinger. Jeg vil i det næste kapitel opstille et eksempel på et undervisningsforløb, og jeg vil efter beskrivelse af eksemplet konkretisere, hvordan de forskellige pædagogiske tiltag, der er opstået af konstruktivismen (begrebskort, kognitiv konflikt, fokus på egen læring), kan bruges i undervisningen.

5. Et historisk overblik over Millikan Ehrenhaft kontroversen

I dette afsnit vil jeg gennemgå det historiske eksempel, som jeg har valgt til at beskrive hvilke formål en undervisning, der bygger på historisk fysik kan have. Gennemgangen bygger primært på en artikel af Gerald Holton (1978), der fandt Millikans laboratorienotater og har lavet et grundig historisk arbejde, med at afklare, hvordan kontroversen forløber, og hvilke omstændigheder der var medvirkende til dens forløb. Jeg har lavet en tidslinie over kontroversen, som kan findes bagerst i kapitlet (s. 64-65).

5.1 Udgangspunktet

Kontroversen mellem Robert Andrews Millikan (1868-1953) og Felix Ehrenhaft (1879-1952) startede i 1910. De var uenige, om man kunne hævde, at elektronen havde en entydig ladning, og at denne ladning var den mindste, der fandtes. Millikan mente, at man kunne måle elektronens ladning, og han mente, at det er en lige så fundamental værdi for fysikken, som lyshastigheden er.¹⁵³ Ehrenhaft publicerede oprindeligt en artikel om måling af elementarpartiklens ladning i 1909,¹⁵⁴ men i løbet af foråret 1910 annoncerede han, at han målte værdier af elektronens ladning, der var meget mindre end den værdi, der blev betragtet som gældende, derfor kom han til konklusionen, at der ikke fandtes nogen mindste ladning, og at man skulle betragte elektricitet som et kontinuert fænomen, der ikke kunne kvantiseres.¹⁵⁵

Kontroversen forløb over mange år, og mange fremtrædende fysikere deltog i diskussioner om emnet ved videnskabelige møder. Da Millikan i 1923 modtog Nobelprisen for hans arbejde med bestemmelsen af elektronens ladning og den fotoelektriske effekt,¹⁵⁶ skulle man tro, at kontroversen var slut, men der var udbredt enighed i forskersamfundet om, at ingen af siderne havde vundet en overbevisende eksperimentel sejr, og at det derfor var den enkelte forsker, der måtte vælge hvilke side, der skulle arbejdes ud fra, atomismen eller antiatomismen, diskontinuert eller kontinuert opfattelse af elektricitet. Ehrenhaft udgav artikler om hans målinger af subelektroniske ladninger indtil 1940, men de fik ikke længere nogen opmærksomhed.¹⁵⁷

Millikan og Ehrenhaft var to meget forskellige forskere og på to forskellige stadier i deres karriere, da kontroversen startede. Millikan var over 40 år, nærmest ukendt og havde udgivet meget få videnskabelige artikler, hvorimod Ehrenhaft var omkring 30 år og allerede en anerkendt forsker ved Wiens Universitet. Han havde udgivet ca. 12 videnskabelige artikler.

¹⁵³ Holton, 1978, s.162

¹⁵⁴ Holton, 1978, s.163

¹⁵⁵ Holton, 1978, s.164

¹⁵⁶ Millikan beviste den fotoelektriske effekt eksperimentelt, på trods af at hans teoretiske udgangspunkt var forkert.

¹⁵⁷ Holton, 1978, s.220

Det er forløbet af deres videnskabelige karriere, der er afgørende for, hvilket standpunkt de tager i kontroversen. De var nemlig enige om, at det var et meget fundamentalt spørgsmål for fysikken, om der fandtes en mindste ladning, og om den kunne knyttes sammen med elektronen. De var (som udgangspunkt) også enige om hvilket forsøg, der skulle bruges til at påvise elementarladningen og teorien bag det, men de var uenige om, hvordan forsøgsresultaterne skulle fortolkes og især om eksperimentets rolle i forhold til godkendelse af forsøgsresultater.

Millikan blev Ph.d. i 1894 og det var A.A. Michelson, der hjalp ham med det eksperimentelle arbejde. Derefter kunne han ikke finde et job og tog til Tyskland i maj 1895. Et par måneder senere offentliggjorde W.C. Röntgen sin opdagelse af røntgenstrålingen, og kort til efter kom Becquerels offentliggørelse af sit arbejde med radioaktiv stråling, og hele fysiksamfundet var meget optaget af partikelfysik.¹⁵⁸ Michelson inviterede Millikan til USA for at arbejde under ham på fysikinstituttet på Chicago Universitet i 1896. Millikan begyndte at lave forsøg, der skulle bestemme ladningen af en elektron omkring 1907-08, og han udgav sin første artikel om emnet i 1908. (Se evt. tidslinien). Han blev i Chicago indtil 1921 for derefter at være med til at oprette og lede det teknologiske institut på Kaliforniens Universitet.

Mange af Millikans private noter er bevaret, og deraf kan man ifølge Holton se, at han har interesseret sig for partikelfysik siden hans tid i Tyskland, og af hans liste over mulige forskningsemner hæfter Holton sig især ved to emner. Det første, der er dateret 21. maj 1898, handler om luftmodstand og dens relation til hastigheden af et legeme i frit fald, og emne nummer ni fra 1903 handler om Stokes lov for vandpartikler i skyer. Begge disse spørgsmål endte med at blive meget centrale forskningsspørgsmål for Millikan i hans forsøg på at bestemme elementarladningen. Millikan havde også en liste over vigtige artikler, der var udgivet af forskellige forskere, og de havde emner som m/e Zeeman effekt, katode stråler og forskellige artikler, der bestemmer gennemsnitlige værdier af elementarladningen eksperimentelt. De var skrevet af J.J. Thomson, J.S. Townsend og H.A. Wilson.

Millikan har befundet sig i miljøer og i en tid, hvor der var en generel skepsis overfor atomteorien. Der var en gruppe af fremtrædende fysikere, primært i Europa, som f.eks. Ernst Mach, Perrin og von Lang, som ønskede, at fysik skulle basere sig på et fænomenologisk grundlag, der var fri for alle hypotetiske teorier. Millikans første lærer Pupin, der havde taget sin doktorgrad i Berlin, var antiatomist, men Millikan overtog på trods af en stor beundring for sin lærer ikke epistemologien. Han var overbevist om, at atomismen ville sejre.¹⁵⁹ Millikan byggede sin filosofiske forståelse af elektricitet på den amerikanske fysiker og politiker Benjamin

¹⁵⁸ Holton, 1978, s.167

¹⁵⁹ Holton, 1978, s.170

Franklin. Han havde omkring 1750 beskrevet elektricitet som bestående af meget fine partikler, der kan trænge ind i selv det tætteste materiale, og Millikan mente, at resultaterne fra den moderne fysik ville føre til resultater, der kunne verificere Franklins teori.

Ehrenhaft studerede både på universitetet og på det teknologiske institut i Wien og hans første arbejde omkring 1900-tallet bestod af at producere og studere uorganiske kolloider. Hans karriere ved Wiens universitet startede med, at han blev assistent for Victor von Lang i 1903, privatdocent i 1905, han underviste i statistisk mekanik fra 1909 og blev universitetslektor ved universitetet i 1912, og han blev leder af det tredje fysiske institut i 1920. Ehrenhaft var meget anerkendt for sit arbejde, og han modtog en videnskabelig pris fra Wiens Akademi i 1910. Mange fysikere, der iblandt Einstein, boede hos Ehrenhaft, når de var på besøg i Wien. Ehrenhaft opdagede fotoforese¹⁶⁰ (photophoresis) og navngav det i 1918. På grund af 2. verdenskrig flygtede han til USA i 1938, men han vendte til bage til sin position i Wien i 1946, hvor han døde i 1952.¹⁶¹

Man kan ikke vise, hvilke overvejelser Ehrenhaft har gjort sig om mulige forskningsemner. Der er ingen indikationer på, at han skulle være overbevist antiatomist, da han i starten af århundrede sluttede en artikel med et håb om, at hans arbejde ville være en ny støtte til den molekylære kinetiske teori,¹⁶² og da han den 4. marts 1909 udgav de første rapporter om en ny metode til at bestemme den elektriske elementarladning. Begge disse artikler understøtter eksistensen af elementarladningen.

Dette ændrede sig, da han i 1910 fremlagde de seneste resultater fra hans forskning. Nu var det ikke længere enkeltladede eller dobbeltladede partikler, han kunne rapportere om, for han fik resultater, hvor ladningen varierede mellem en tredjedel af de tidligere resultater og det dobbelte. Da Ehrenhaft ikke mente, at resultaterne kunne forklares med utilstrækkelighed i metoden, så konkluderede han, at en teoretisk antagelse om, at der fandtes en elementarladning, måtte medføre, at ladningen skulle være betydeligt lavere en hidtil antaget.¹⁶³ Ehrenhaft var blevet overbevist om antiatomismen, og årsagerne til den udvikling er svære at sige noget præcist om. Det er klart, at Ehrenhaft ændrede synspunkt i løbet af godt et år, da han senest i artiklen 10. april 1909 accepterede hypotesen om elektronens eksistens og i noten fra 21. april 1910 tog afstand fra hypotesen og senere i artiklen, der blev udgivet den 12. maj 1910, afviste den og foreslog falsifikation af elektronen som hans fremtidige forskningsemne.¹⁶⁴

¹⁶⁰ Opdagelsen bestod af, at han ved at bestråle mikroskopiske partikler af f.eks. grafit eller et metal med koncentreret lysstråler, kunne han få dem til at absorbere lyset og bevæge sig i samme retning som lyset eller i modsatte retning, alt efter lysstrålens intensitet. Det kan kun foregå i en gas eller en væske ikke i vakuum.

Ref:<http://www.chiroweb.com/archives/08/03/15.html>

¹⁶¹ Holton, 1978, s.169

¹⁶² Holton, 1978, 185

¹⁶³ Holton, 1978, s.198

¹⁶⁴ Holton, 1978, 219

For at få en fornemmelse for, hvad der kan have været medvirkende til, at Ehrenhaft skifter standpunkt, beskriver Holton de ydre omstændigheder. Der var en indflydelsesrig gruppe af fysikere i Europa, der ønskede, at fysikken skulle beskæftige sig med forhold, der kunne beskrives fænomenologisk og dermed kunne beskrives med sanselige elementer, der ikke kunne opløses yderligere, som farve, lyd, tryk, rum, tid osv. Dette udelukker enhver form for hypotetisk forskning, hvor man forsøger at klarlægge omstændighederne ved usanselige objekter som elektronen. Mach var en af de mest indflydelsesrige medlemmer af denne gruppe, og Holton beskriver Ehrenhafts beundring for Mach og sammenfaldet med, at en ledende stilling blev ledigt på "Machs Universitet" i Prag, hvor Mach og hans ligesindede blev opmærksomme på Ehrenhaft og han på dem, er forhold, man bliver nødt til at have med i forståelsen for hans udvikling.¹⁶⁵ Lampa, der var en af Machs elever og havde været assistent for von Lang, som Ehrenhaft havde været det, skrev i et brev til Mach, der er dateret 1. maj 1910, at Ehrenhafts resultater er opløftende for deres synspunkt.

*"Even then Ehrenhaft had found particles with half electrons – in the meantime, Lang has told me, he appears to have observed some with 1/3, 1/5 electrons. It would be just too beautiful [Es wäre doch zu schön] if the electron were now to undergo the same fate as the atom did as a result of cathode rays."*¹⁶⁶

Lampas sidste bemærkning om resultaterne fra J.J. Thomsons eksperiment med katoderøret, er et godt eksempel på, hvor forskellige Millikans og Ehrenhafts forskningsmiljøer var. Millikan beskriver i sin selvbiografi, hvordan netop dette eksperimentet havde givet ham det endegyldige bevis for, at katodestrålerne hverken bestod af æter eller bølger men af materielle partikler med elektrisk ladning.¹⁶⁷ De europæiske forskere brugte forestillingen om en ladet partikel som et heuristisk værktøj, der ikke findes i virkeligheden, men kan bruges til at huske nogle fænomeners opførsel. J.C. Maxwell beskriver, hvordan man kan anvende den molekylære partikel til at forstå elektrolyse i hans banebrydende værk fra 1873.

*"The theory of molecular charges may serve as a method by which we may remember a good many facts about electrolysis. It is extremely improbable, however, that when we come to understand the true nature of electrolysis we shall have obtained a secure basis on which to form a true theory of electric current and so become independent on these provisional hypotheses."*¹⁶⁸

Den gruppe af fysikere, som Ehrenhaft kom til at tilhøre, anså altså ethvert eksperiment, hvor "de ladede partikler" ikke kunne bevises direkte, men bruges som et værktøj til at forklare eksperimentet, som et bevis på at "den ladede partikel" kun var en forestilling og ikke et reelt fænomen.

¹⁶⁵ Holton, 1978, 170

¹⁶⁶ Holton, 1978, s.223

¹⁶⁷ Holton, 1978, s.176

¹⁶⁸ J. C. Maxwell, *Treatise on Electricity and Magnetism*, Oxford, 1873, Holton, 1978, s.179

Der er ikke tvivl om, at Ehrenhafts eksperimentelle resultater har givet ham grund til at sætte spørgsmålstegn ved elektronens eksistens og størrelsen af dens ladning, men begivenhederne omkring Ehrenhaft har også været gunstige for at ændre synspunkt. Ehrenhafts laboratoriebog er bortkommet i krigen, og derfor er det kun muligt at gisne om årsagerne. En ting er dog sikkert, det har passet Machisterne fint, at Ehrenhaft kunne fremlægge sine resultater på lige net-op det tidspunkt.

*"In this dark period for the Machist, Ehrenhaft must have appeared to them as a bright new star. He, in turn, can hardly have been oblivious to the favorable impression his preliminary new findings were making on them just in that provisional stage of his work and just when they were looking for new ideas – and for new men."*¹⁶⁹

5.2 Millikans epistemologiske standpunkt

Når man forsker, er det afgørende, hvilket epistemologisk standpunkt man har, da det vil lægge retningslinierne for forskningen. Millikan og Ehrenhaft havde to forskellige epistemologiske holdninger til forholdet mellem teori og eksperiment, og til hvordan man kunne beskrive elektricitet. Det er vigtigt at adskille de to, da den første er en holdning til, hvordan man laver god forskning og den anden er et udtryk for ens grundlæggende forestilling om, hvilken verden forskningen skal beskrive, og derfor får den også en stor betydning for udformningen og udførelsen af forskningen.

Millikan tog udgangspunkt i resultaterne fra J.J. Thomsons eksperimenter om katode stråling og formulerede nogle "ledende antagelser" som udgangspunkt for hans eksperimentelle arbejde:

1. *What are the masses of the constituent of the atom torn asunder by X-rays and similar agencies?*
2. *What are the values of the charges carried by these constituents?*
3. *How many of these constituents are there?*
4. *How large are they, i.e., what volumes do they occupy?*
5. *What are their relations to the emission and absorptions of light and heat waves, i.e., of electromagnetic radiation?*
6. *Do all atoms possess similar constituents? In other words, is there a primordial subatom out of which atoms are made?*¹⁷⁰

Det sidste punkt henviser til J.J. Thomsons opdagelse af, at forholdet mellem ladningen og massen (e/m) var uafhængig af, hvilken gas han brugte og derfor antog, at hans resultater galdt for alle stoffer. Millikan antager implicit eksistensen af elementarladningen i hans ledende antagelser og i hans forskningsproblem.

¹⁶⁹ Holton, 1978, s.224

¹⁷⁰ Niaz, 2000, s.482

*"...whether the electron which had first made its appearance in Faraday's experiments on solutions and then in Townsend's and Thomson's experiments on gases is after all only a statistical mean of charges which are themselves divergent."*¹⁷¹

Niaz (2000) beskriver, at Millikan ledende antagelser sammen med hans opstillede forskningsproblem er et skoleeksempel på Lakatos videnskabsteori, hvor antagelserne og forskningsproblemet kan betragtes som den hårde kerne, der definerer videnskaben, og som man ikke fraviger. Millikan har ved flere lejligheder givet udtryk for, at han opfattede elektronen som en diskret partikel med en entydig elektrisk ladning, og i hans selvbiografi gengiver han nogle af de oplevelser, han havde, mens han observerede oliedråbeeksperimentet.

*"He who has seen that experiment and hundreds of investigators have observed it, [has] in effect SEEN the electron. But the electron itself, which man has measured...is neither an uncertainty nor a hypothesis. IT IS A NEW EXPERIMENTAL FACT that this generation in which we live has for the first time seen, but which anyone who will may henceforth see."*¹⁷²

Millikan beskriver også andre steder, hvordan han kunne se elektroner springe på og af, når en oliedråbe pludselig ændrede sin bevægelse.¹⁷³ Millikans åbenlyse brug af teoretiske og epistemologiske antagelser til at udvikle sine forsøg og udvælge sine resultater er ualmindelig, da fremlæggelsen af videnskabelige resultater ofte optræder på baggrund af observationer, som teorien er vokset ud af. Det er netop denne arbejdsmetode, der er medvirkende til, at kontroversen med Ehrenhaft bliver så langvarig, men det vil blive beskrevet efter en gennemgang af Ehrenhafts epistemologiske udgangspunkt og en gennemgang af udviklingen af eksperimenterne, der munder ud i Nobelprisen.

5.3 Ehrenhafts epistemologiske standpunkt

Der findes ikke nær så mange kilder om Ehrenhafts epistemologiske overvejelser, da hans notesbog er gået tabt, og da det ikke var ham, der endte med at vinde kontroversen. Jeg synes alligevel, at man kan sige, at Ehrenhaft tillagde observationerne en større rolle, end Millikan gjorde. Ehrenhafts forskningsarbejde om fotoforese og brownske bevægelser¹⁷⁴ består eksperimentelt af betragtninger af meget små partikler gennem et mikroskop, og da Ehrenhaft først rapporterede om målinger af ladninger på små partikler og kædede dem sammen med elemen-

¹⁷¹ Niaz, 2000, s.483, han citerer Millikans bog fra 1947

¹⁷² Holton, 1978, s.174 fra R.A. Millikan, 1950 *Autobiography*, New York. Holton kommenterer på rigtigheden af citatet, da Millikans selvbiografi blev skrevet, da han var over 80, og da der derfor er usikkerhed om rigtigheden af nogle af udsagnene. De fleste af dem er gengivelser af tidligere udgivelser, og ovenstående citat er (uden de understregningen med de store bogstaver) en gengivelse af Millikans tale i forbindelse med modtagelsen af Nobelprisen.

¹⁷³ Holton, 1978, s.174

¹⁷⁴ Brownske bevægelser er en beskrivelse af de vilkårlige molekyllære bevægelser, der hele tiden foregår som en konsekvens af termisk fluktuation.

tarladningen, så var det et fænomen, han havde opdaget i forbindelse med studier af brownske bevægelser, og altså ikke noget han decideret havde søgt efter. Hans metode lignede meget Millikans, han brugte dog ikke væsker og et horisontalt elektrisk felt i modsætning til Millikans vertikale, men metoderne vil jeg komme nærmere ind på i næste afsnit.

Da Ehrenhaft havde gennemført målinger med et vertikalt felt, kom han med de overraskende resultater, at målingerne gav værdier fra $7,53 \cdot 10^{-10}$ esu til $1,38 \cdot 10^{-10}$ esu, hvilket svarer til værdier fra 1.56 eV til 0,87 eV ($1\text{eV} = 1,602 \cdot 10^{-10} \text{ C} = 4,803 \cdot 10^{-10} \text{ esu}$). Som det tidligere er blevet beskrevet konkluderer Ehrenhaft, at der må findes subelektroniske ladninger.¹⁷⁵ Det bliver beskrevet, som om det er observationerne, der dikterer konklusionerne, men de ydre omstændigheder og Machs påvirkning af Ehrenhafts arbejde er også vigtige årsager til, at han tolker sine resultater, som han gør. Det er ikke muligt for Ehrenhaft at tilhøre det gode selskab af fysikere i Wien, hvis han ikke arbejder hypotetisk med "den ladede partikel," og hans forsøgsresultater giver ham en god grund til at fastslå, at elektronen er hypotetisk.

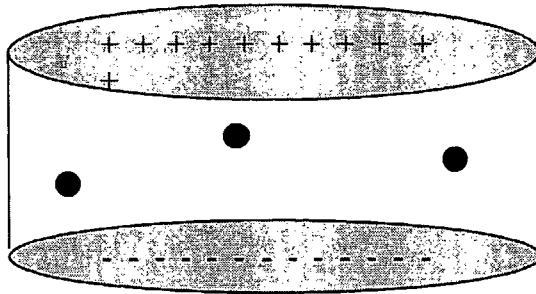
5.4 Millikans opdagelse af oliedråbeforsøget

Millikan og hans elev L. Begeman tog udgangspunkt i Wilsons procedure for at lave målinger af elementarladning i 1907. De ville forbedre proceduren, så de kunne præcisere værdien af e . Metoden bestod af, at man laver skyer af små dråber vand i et dampkammer. Kammeret er placeret mellem to horisontale plader, der er en ladet kondensator, hvis man sætter spænding over dem. For at lave en måling observerede Millikan og Begeman to skyer af ladede dråber. En, der faldt med en hastighed, der var bestemt af tyngdekraften og en anden med en hastighed, der både var bestemt af tyngdekraften og den elektrisk kraft, den ladede kondensator påvirkede skyen med. Ved at anvende Stokes lov på dråberne, for at tage højde for gnidningskraften, som den omgivende luft påvirker skyen med og at antage, at hver dråbe består af en enkelt ladet ion, at skyerne ikke fordamper under målingerne, og at alle skyerne er ens, så kan man beregne størrelsen af ladningen.¹⁷⁶ Denne metode kalder Holton metode I.

¹⁷⁵ Holton, 1978, s.198

¹⁷⁶ Holton, 1978, s.181

Teoretisk gennemgang af den generelle metode der bruges i Millikan Ehrenhaft kontroversen.



Millikan og Ehrenhaft betragtede partikler, der var ioniserede. De kunne beregne elementarladningen ved hjælp af de fysiske kræfter, der påvirker partiklen.

Kræfter der virker på partiklen, når kondensatoren ikke er tændt:

Tyngdekraften får partiklen til at falde i et frit fald, $F_t = m \cdot g$

Gnidningskraften, der er givet ved Stokes lov, er et udtryk for hvordan luften påvirker det frie fald.

$$F_s = 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_1$$

Den resulterende nedadrettede er givet ved: $F_{res} = mg - 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_1$, hvor $m = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot \rho$ og ρ er oliens densitet, g er tyngdeaccelerationen, r er partiklens radius, η er luftens viskositet og v_1 er den konstante hastighed partiklen daler med.

Når der sættes spænding over kondensatoren opstår der et elektrisk felt i kondensatoren og det påvirker partiklen med en elektrisk kraft, hvis retning er afhængig af feltretningen. Hvis feltet er nedad, vil den elektriske kraft virke opad og derfor modvirke tyngdekraften og man kan få partiklen til at stå stille.

Den elektriske kraft er ved et vertikalt nedadrettet felt givet ved: $F_E = q \cdot E$

Den resulterende kraft på partiklen bliver $F_{res} = q \cdot E - m \cdot g - 6 \cdot \pi \cdot r \cdot \eta \cdot v_2$,

q er partiklens ladning, E er størrelsen af det elektriske felt, v_2 er den konstante hastighed som måles på dråben og de øvrige størrelser er givet ovenfor.

Ved at få partiklen til at stå stille kan man måle dens radius og ved at skrue ned for feltet, får partiklen en konstant hastighed v_2 , man kan måle og derved beregne ladningens størrelse.

Millikan mener, at der især er to forhold, som skal forbedres i Wilsons metode. Antagelsen om, at skyerne er ens, og at de ikke fordamper, skal retfærdiggøre antagelsen om, at det er den samme sky, man måler på, både når der er et elektrisk felt over kondensatoren, og når det er slukket. Det andet forhold er, at man antager, at det elektriske felt er ensartet mellem pladerne.¹⁷⁷ Derfor vil Millikan forsøge at klarlægge størrelsen af fordampningen af skyen ved at ophæve tyngdekraften med den elektriske kraft, og derfor bruger han et kraftigere elektrisk felt, så skyen står stille i så lang tid, at han kan observere fordampningen. Han laver et meget kraftigere E-felt og bruger et batteri på 10000 V, hvor Wilsons brugte et på 4000 V.

I starten fandt han, at han ikke kunne lave observationer på skyen, da den spredte sig i individuelle dråber, og han troede, at eksperimentet var ødelagt, indtil han opdagede, at han kunne observere dråbernes bevægelser og kunne gentage processen med at lave dem. Herfra begyndte han, at lave målinger på individuelle dråber, og det var disse målinger Millikan offentliggjorde i februar 1910.¹⁷⁸ Denne metode refereres som metode II i tidslinien, appendiks A.

Millikan var dog stadig ikke tilfreds med metoden og påpegede selv fire fejlkilder, som han ville arbejde på at minimere. Der er mangel på stilstand i luften omkring den dalende dråbe (konvektion). Det elektriske felt betragtes stadigt som et ensartet felt, og randbetingelser tages ikke med i betragtningerne. Dråbens fordampning er gradvis, og der er problemer med at kortlægge omfanget af den. Millikan mener, at der skal indføres en korrektion af Stokes lov, fordi dråberne er så små.

For at formindske fordampningen begyndte Millikan at bruge oliedråber i stedet for vand (han havde også forsøgt med alkohol), og han bestemte en korrektion af Stokes lov eksperimentelt.¹⁷⁹

I 1910 udgiver Millikan en artikel, hvor han beskriver, hvordan forsøget er blevet forbedret. Den åbenlyse forbedring er brugen af olie i stedet for vand, men dertil har han undersøgt, at omgivelsernes påvirkning af dråben er uafhængig af ladningen på dråben og derfor ikke påvirker resultaterne. Man kan antage, at oliedråberne opfører sig som en kugle af fast stof og at densiteten af olien er ens i luften og i flasken, Millikan har lavet en korrektion af Stokes lov, der er en bedre udelukkelse af støv og konvektion og et forbedret optisk system.¹⁸⁰

Holton beskriver, at Millikan opdagede eksperimentet, selv om han erkender, at "opdagelse af eksperimenter" ikke er entydigt behandlet af videnskabsfilosofien. Holton mener, at Millikan opdagede eksperimentet, fordi han kædede dråberne sammen med eksistensen af elementarladningen. Ingen var i tvivl om at dråberne eksisterede, og Millikan brugte den samme opstil-

¹⁷⁷ Niaz, 2000, 483

¹⁷⁸ Niaz, 2000, s.485

¹⁷⁹ Goodstein beskriver, at han afsatte målingerne så de afspejlede en lineær sammenhæng og derfra kunne han bestemme en konstant faktor som korrektion af Stokes lov.

¹⁸⁰ Holton, 1978, s.201

ling som andre forskere, og havde det samme ærinde, men andre forskere blev ved med at måle på skyer. Opdagelsen består af, at han fandt en metode til at måle på de enkelte dråber og dermed på de enkelte ladninger. Han beregnede derfor ikke en gennemsnitlig værdi af elementarladning men en aktuel ladning. Lige præcis den mulighed, at der på en af oliedråberne kun sad en enkelt ladning, medfører, at man ikke længere kan nøjes med at betragte elektronen som et heuristisk værktøj, den blev virkelig. Holton citerer Ernest Nagels beskrivelse af eksperimentet.

*"It is unlikely that Millikan (or anyone else) would have devised the oil-drop experiment if some atomistic theory of electricity had not first suggested a question that seemed important in the light of the theory and that the experiment was intended to settle."*¹⁸¹

Han beskriver hvor teoribestemt Millikans arbejde var, og at netop dette forhold gjorde, at han så, at eksperimentet kunne bruges, selv om han ikke fik fastholdt skyerne, der var det oprindelige formål. Det skal senere vise sig, at denne tætte tilknytning til teorien også hjælper Millikan i bearbejdningen af forsøgsresultaterne.

Det beskrives af Holton, at Ehrenhaft efter 1910 brugte den samme metode som Millikan, men med det formål at modbevise resultaterne. Ehrenhaft målte på partikler af sølv eller platin, men han havde som Millikan mulighed for at måle partiklernes fald og stigning, når det elektriske felt blev lagt over kondensatoren. Det er altså primært det stærke vertikale E-felt, der er ens for de to forskere.¹⁸² Millikan påpeger, at Ehrenhaft antager, at metallet har den samme densitet på buen og som løsreven partikler, og at dette ikke er undersøgt. Det var nok derfor, at Millikan bemærkede, at oliens densitet var den samme i dråben som i flasken. Ehrenhaft havde bedre muligheder for at lave sine observationer, da han kunne bruge et betydeligt bedre mikroskop.

5.5 Millikans etik

I artiklen i *Philosophical Magazine* fra februar 1910 afviser Millikan Ehrenhafts resultater på trods af, at de stemmer godt overens med hans egne. Millikan mener, at Ehrenhafts metode i sig selv afkræfter værdien og har måske også en fornemmelse af, at Ehrenhaft vil modarbejde hans arbejde.

"Millikan's decision was grounded in his suspicions, plausible but far from proved, that the value obtained by Ehrenhaft was invalidated by the method used to obtain it. As we shall soon see, Millikan was also sensitive to the obverse, to the possibility that his own results of measurement were at times unwelcome and disconfirmatory, but that even without a

¹⁸¹ Holton, 1978, s.185 i note 75

¹⁸² Holton, 1978, s.197-98

solid analysis of the causes he could not continue to accept his hypothesis and reject the apparent falsification of it."¹⁸³

Millikans sikkerhed på sine resultater er åbenlys, da han i sin beskrivelse af behandlingen af dataene er meget ærlig. Millikan beskriver, hvordan han og Begeman giver måleresultaterne stjerner, alt efter hvor gode de er og dertil vægter resultaterne af de forskellige målinger fra 1-7, så værdierne tæller forskelligt i et vægtet gennemsnit. Det vægtede gennemsnit gav værdien for elementarladningen $e = 4,85 \cdot 10^{-10}$ esu, og det simple gennemsnit gav en værdi på $4,70 \cdot 10^{-10}$ esu. Selv om der var en sammenhæng mellem antallet af stjerner og vægtningen, så bliver den ikke forklaret, og den er ikke lineær. Millikan anerkender sin viden som en vigtig del af forsøget, og selv om den ikke er let at kvantisere og beskrive i optegnelserne, bruges den åbenlyst.

Med en tilsvarende åbenhed indrømmede Millikan også, at 7 observationer var blevet udeladt, fordi de ydre betingelser for forsøget ikke havde været i orden. De seks af observationerne ville ikke havde ændret på den gennemsnitlige værdi af elementarladningen, men i beskrivelsen af hvorfor han udelader tre af disse, afslører Millikan både en redelighed og en uredelighed overfor videnskaben.

*"Second, I have discarded three observations which I took on unbalanced drops, timing them as they rose against gravity under the influence of the field, and then again as they fell under gravity between the same cross-hairs, when the field was thrown off. Although all of these observations gave values of e within 2 per cent. of the final mean, the uncertainties of the observations were such that I would have discarded them had they not agreed with the result of the other observations, and consequently I felt obliged to discard them as it was."*¹⁸⁴

Dette sidste udsagn sår tvivl om, Millikan i andre tilfælde ville afvise målinger, fordi resultaterne ikke stemmer overens, eller om han bare gør opmærksom på, at det ingen effekt havde på hans endelige resultat, at han så bort fra disse tre målinger. Dette er et eksempel på, at Millikan tror på sine antagelser, og derfor tager han risikoen og siger implicit at hans teoretiske overvejelser ikke er årsagen til, at observationerne ikke kan bruges, og at han derfor ikke vil lade sig forsinke med det arbejde, der ligger i at finde sandsynlige årsager til, at man kan se bort fra målingerne. Denne fremgangsmåde medfører også implicit, at man anser en falsifikation af tesen og det verdensbillede, der arbejdes ud fra som usandsynlig.

"Millikan's confidence was explicit. He announces: 'there is no theoretical uncertainty whatever left in the method, unless he adds, it be an uncertainty as to whether or not

¹⁸³ Holton, 1978, s.192

¹⁸⁴ Holton, 1978, s.194. Han citerer Millikans artikel fra februar 1910 s.220, og selv om han ikke noterer det, så tror jeg, at det er Holtons understregning, da jeg mener, at det er usandsynligt, at det er Millikans.

Stokes' law applies to the rate of fall of these drops on the gravity" On the next page even this doubt is laid to rest: It is scarcely conceivable that Stokes law fails to hold for them" " 185

Da den sidste måling, der ikke tages med, ikke rigtig begrundes, men det konstateres blot, at den giver et resultat, der er 30% lavere end den endelige værdi, har man virkelig en fornemmelse af en forsker, der er sikker i sin sag.

Til at beregne en værdi af elementarladningen bruger Millikans en serie af målinger, der består af 7 målinger, hvor han bruger gennemsnittet af de forskellige målte værdier som spændingen over E-feltet og tiden, som dråbens hastighed beregnes ud fra, til at beregne en gennemsnitlig værdi, som derefter divideres med et heltal, der antages at være lig med det antal ladninger, der sad på dråben. Han har seks måleserier og tager til sidst gennemsnittet af resultaterne fra de seks serier og finder $e = 4,7 \cdot 10^{-10}$ esu.

5.6 Kontroversen ruller

I sit angreb på Millikan og hans resultater præsenterer Ehrenhaft først og fremmest sine egne resultater, der giver værdier fra $7,53 \cdot 10^{-10}$ esu til $1,38 \cdot 10^{-10}$ esu. Ehrenhafts metode ligner Millikans meget, men Millikan kritiserer ham for ikke at lave en korrektion på Stokes lov, for ikke at bekymre sig om Brownske bevægelser, når han arbejder med partikler, der er endnu mindre end dem, Millikan måler på og for at antage at densiteten i de metalpartikler, der bliver frigjort fra den elektriske bue, har den samme densitet, som metallet har i elektroden. Ehrenhaft afviser korrektionen af Stokes lov, da han mener, at den bare vil gøre hans resultater endnu mindre og kommenterer ikke på densiteten. Ehrenhaft angreb herefter Millikan direkte ved at efterregne på hans målinger, hvor han beregnede værdien for elementarladningen for hvert enkelt måling, og han fik resultater, med en lige så stor spredning, som hans egne, dog ikke med de meget lave værdier, som han selv fik (værdier lå mellem $8,60 \cdot 10^{-10}$ esu til $29,82 \cdot 10^{-10}$ esu). Ehrenhaft viste, at der ikke var nogen lineær sammenhæng mellem den beregnede samlede ladning på dråben, og det heltal Millikan dividerede med, for at få en værdi for e . En dråbe med en samlet ladning $q = 15,59 \cdot 10^{-10}$ esu, antog Millikan havde 3 ladninger, mens en anden dråbe med $q = 15,33 \cdot 10^{-10}$ esu, antog Millikan havde fire ladninger. Dermed kom Millikans resultater til at se ud, som om de kunne bevise begge teorier – at der fandtes en entydig elementarladning, eller at ladningerne var kontinuert fordelt på dråberne. Millikan fik meget behændigt afværget Ehrenhafts angreb ved at offentliggøre sine nye målinger, hvor han målte på oliedråber, og da deres fordampning er meget mindre end vanddråbers, kunne han derfor udføre målinger på den enkelte dråbe i meget længere tid. Nu kunne han både måle friktionsladningen, og de ioner som dråberne optog fra den omgivende luft. Da dråberne ikke fordampede, kunne Millikan måle på dem i lang tid, og han kunne observere den samme dråbe mens

¹⁸⁵ Holton, 1978, s.194-95, Han citerer Millikan artikel fra februar 1910

den faldt og steg igen, når det elektriske felt blev lagt over kondensatoren. Millikan lavede en korrektion af Stokes lov, og mente at metoden var

*"...free from "all questionable theoretical assumptions" and the limitation on the accuracy of determining is only the accuracy with which the value of the viscosity of air (μ or η) is known."*¹⁸⁶

Han havde sammen med Fletcher arbejdet fra December 1909 til maj 1910 med at måle på dråber af olie, kviksølv og glycerin, og de fandt at

*"in every case the original charge on the drop [to be] an exact multiple of the smallest charge which we found that the drop caught from the air." Between one thousand and two thousand changes of charge were observed, yet "in no single instance has there been any change which did not represent the advent upon the drop of one definite invariable quantity of electricity, or a very small exact multiple of that quantity."*¹⁸⁷

Millikan er stadig meget åben om, at det ikke er alle de eksperimentelle målingerne, han kan bruge, men i denne artikel giver han mulige begrundelser for sorteringen. Han mener, at de tre målinger, der ikke kunne bruges, bestod af to dråber, der var smeltet sammen.¹⁸⁸

5.7 Dråbe nr. 41

Millikans artikel fra august 1913 bliver af Holton beskrevet som hans mest autoritative artikel om elementarladningen. Måleudstyret var nu optimeret, metoden fuldt udviklet, og han annoncerede, at den største afvigelse fra middelværdien af e var 0,5% og $e = 4,774 \pm 0,009 \cdot 10^{10}$ esu.¹⁸⁹ Igen i denne artikel beskriver Millikan forsøgsresultaterne.

*"Millikan Writes, in italics and without repeating the previous qualification: "It is to be remarked, too, that this is not a selected group of drops but represents all of the drops experimented upon during 60 consecutive days, during which time the apparatus was taken down several times and set up anew." In his book The Electron, Millikan uses this passage and all the data of the 1913 paper in chapter five, "The Exact Evaluation of e ." He adds for extra emphasis: "These [58] drops represent all of those studied for 60 consecutive days, no single one being omitted."*¹⁹⁰

Grunden til, at netop disse udsagn er interessante, er, at Holton fandt Millikans personlige laboratorieoptegnelser, hvor han kunne identificere de beregninger Millikan udførte på den måling der bliver præsenteret som dråbe nr. 41 i artiklen fra 1913. Den næste måling ender med at blive sorteret fra, da Millikan skønner, at resultaterne ikke stemmer overens. Millikan

¹⁸⁶ Holton, 1978, s.201. Han citerer s.426 i Millikans artikel fra september 1910

¹⁸⁷ Holton, 1978, s.201. Han citerer s. 440 i Millikans artikel fra september 1910

¹⁸⁸ Holton, 1978, s.202

¹⁸⁹ Holton, 1978, s.203

¹⁹⁰ Holton, 1978, s.205. Han citerer først fra Millikans artikel fra august 1913 og siden fra Millikans bog fra 1917, *The Electron*, Chicago. (Jeg har fremhævet Millikan kursivering med en fed skrift)

er holdt op med at tildele målingerne stjerner i fuld offentlighed, men mens målingerne på dråbe nr. 41 får beskrivelsen "*Beauty. Publish this surely, beautiful,*" så får den næste måling følgende beskrivelse "*Error high, will not use, it was a failed run – or effectively, no run at all.*" Han undersøgte ikke dataene fra denne måling yderligere, men begyndte at lave en ny måling.¹⁹¹

5.8 Ehrenhafts etik

Ehrenhaft ville have opponeret mod den sortering, som Millikan laver i laboratoriet, da en af hans rettesnore var, at alle måleresultater skal medtages. Det er især begrundelserne for sorteringen, der er et problem.

*"From Ehrenhaft's point of view, it is the assumption of integral multiples of e that forces one to assume further, without proof, a high "error" to be present and thus leads one to the silent dismissal of such reading and hence of the possibility that the quantum of electric charge may $0,1 e$."*¹⁹²

Ehrenhaft giver udtryk for, at observationerne bør diktere teorien, og han mener f.eks., at en korrektion af Stokes lov skulle udspringe af de empiriske metoder og ikke bygge på forestillinger om elementarladningen. Netop det store uforbeholdne brug af observationer bliver en af årsagerne til, at Ehrenhaft ikke kan vinde kontroversen men også grunden til, at det videnskabelige samfund ikke kan afvise hans tese og få afsluttet fejden.

*"For many years to come, those who read Ehrenhaft's papers or heard his talk were disturbed, puzzled, and unable to propose definite explanations for his seemingly anomalous results. In retrospect, it is clear that at least one methodological difficulty had entered the experiment, and it is significant that the remedy for it would not normally be suggested in a public scientific meeting. Ehrenhaft and his colleagues appear to have used all their assiduously collected readings, good, bad, and indifferent; they did not apply the kind of discrimination we saw at work in Millikan's private analysis of his data. On the contrary, the bias now was in the opposite direction. The "window" was opened and all "measurements" were admitted."*¹⁹³

Der er ikke kilder til at udtale sig om Ehrenhafts konkrete forhold mellem teori og eksperiment, men jeg synes, at det skal bemærkes, at hans metode også gav Ehrenhaft de bedste resultater i forhold til hans tese.

¹⁹¹ Holton 1978, s.209

¹⁹² Holton 1978, s.210

¹⁹³ Holton 1978, s.216

5.9 Konklusion

At kontroversen handlede om, hvilken grundlæggende opfattelse videnskaben skulle have om verden, beskriver Ehrenhaft så malende ved en mindehøjtidelighed for Mach 1925

*"Mach [appears] as an advocate of the much more modest, phenomenological point of view which finds satisfaction merely with the description of the phenomena and despairs of other possibilities. The others are advocates of views that through statistical methods and speculative discussions concerning the constitution of matter, are reflected in atomism; they believe themselves able to get down to the true Being of things.....Who dares to render judgment in this battle of two worlds?"*¹⁹⁴

Jeg synes, at den dramatiske beskrivelse indgyder den respekt for kontroversen, som den fortjener, for det var i denne tid, hvor opdagelserne af kernefysikken, den specielle relativitetsteori og senere kvantemekanikken, at det endelige slag stod om, hvilken grundlæggende opfattelse af verden man skulle bruge til at undersøge den med, og om det var den pragmatiske tilgang til undersøgelserne eller den ideologiske fænomenologi, der skulle bruges til at bearbejde de eksperimentelle målinger.

Et andet vigtigt omdrejningspunkt for kontroversen er forskellene på opfattelserne af forholdet mellem teori og observationer. Holton introducerer begrebet *"Suspension of Disbelief,"* der skal forstås i modsætning til begrebet *"Suspension of Belief."*¹⁹⁵ Det sidste begreb er en konsekvens af naturvidenskabens selvforståelse og siger, at forskeren skal udelukke sine forestillinger om resultaterne, når han laver forsøget, der skal eftervise hans teori, for ellers bliver forsøget og efterbehandlingen af det påvirket. Holtons begreb om at man skal være i stand til at udelukke sin tvivl, hentyder til Millikans tro på sine teoretiske antagelser og sin grundlæggende forestilling om kvantificeringen af ladningen, og han mener, at hvis Millikan ikke havde været i stand til at udelukke tvivlen og til at sortere i resultaterne, så ville han ikke have opnået andet end at opdage oliedråbeeksperimentet. Det er nogle meget uhåndterlige begreber, da man ikke ville mene, at Millikan havde bedrevet ordentlig videnskab, hvis han ikke havde haft ret, og Holton beskriver da også selv, at *"suspension og disbelief"* kun virker, når forskeren har ret i sin hypotese, men derfor kan udelukkelsen af tvivlen godt være nødvendig for at finde resultaterne. Det er med til at gøre videnskaben til en levende proces, der ikke kun er afhængig af metoderne, men i lige så høj grad af menneskerne.

¹⁹⁴ Holton, 1978, s.221-22

¹⁹⁵ Holton, 1978, s.212

Oversigt over Millikan Ehrenhaft kontroversen

1 9 0 7

1907 Millikan udgiver to artikler om den fotoelektriske effekt.

1 9 0 8

1908 Millikan og hans elev L. Begeman udgiver en artikel, hvor de optimerer Wilsons metode.
Reference: R.A.Millikan and L.Begeman, "On the Charge Carried by the Negative Ion of an Ionized Gas," *Physical Review*, 26 (1908), 197-198 Holton, 1978, s.182, note 64

1 9 0 9

1909 4. marts Ehrenhafts første rapport om ny metode til at måle elementarladninger.
Reference: F.Ehrenhaft, "Eine Methode zur Messung der elektrischen Ladung kleiner Teilchen zur Bestimmungen des elektrischen Elementarquantums,"
Anzeiger Akad. Wiss. (Vienna) 7 (1909), 72. Holton, 1978, s.186, note 76, nr.7

18. marts Ehrenhaft udgiver en længere rapport om hans metode.
Reference: F.Ehrenhaft, "Eine Methode zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums, I,"
Sitzungber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl. (Vienna), 118 (1909), 321-330
Holton, 1978, s.186, note 76, nr. 8

10. April Ehrenhaft udgiver en artikkel, om måling på individuelt ladede partikler og han mener, at Millikans værdi er for lav. Artiklen udkom først 1.maj 1909
Reference: F.Ehrenhaft, "Eine methode zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums, I," *Physikalische Zeitschrift*, 10 (1909), 308-310
Holton, 1978, s.186, note 76, nr. 9

August Millikan fremlægger sine resultater af målinger på vanddråber, metode II, ved det årlige møde hos The British Association for the advancement of Science.

Oktober Millikan udgiver et abstrakt om hans resultater fra forsøg med vanddråber, metode II.
Reference: R.A.Millikan, "A New Modification of the Cloud Method of Measuring the Elementary Electrical Charge, and the Most Probable Value of That Charge" *Physical Review*, 29 (1909), 560-561. Holton, 1978, s.190, note 94

1 9 1 0

1910 Februar Millikan udgiver sine resultater fra forsøg med vanddråber, metode II, i artiklen anerkender han nogle resultater, men afviser andre, bl.a. Ehrenhaft
Reference: R.A.Millikan, "A New Modification of the Cloud Method of Determining the Elementary Electrical Charge and the Most Probable Value of That Charge," *Philosophical Magazine*, 19 (1910), 209-228,
artiklen blev indleveret d.9.10.1909, Holton, 1978, s.163, note 6

- 1910** **21. April Ehrenhaft udgiver en note til Vienna Academi Session om målinger af subelektroniske Værdier.** Reference: F.Ehrenhaft, "Über die kleinsten messbaren Elektrizitätsmengen. Mitteilung der Methode Zur Bestimmung des elektrischen Elementarquantums," *Zweite vorläufige Anzeiger Akad. Wiss. (Vienna) no.10, s.118-119* Holton, 1978, s.198 note 108
- 23.April Millikan udgiver et abstract om sine resultater fra forsøg med oliedråber, metode III.** Det er første gang, han måler på enkelte ladninger og den samme dråbe i hele målingen. Reference: R.A.Millikan, "The Isolation of an Ion and a Precision Measurement of Its" charge," *Physical Review-31 (1910), 92* Holton, 1978, s.197, note 107
- 12.maj Ehrenhaft offentliggør beregninger af Millikans forsøgsresultater fra artiklen fra februar** De miskrediterer Millikans beregningsmetode. Reference: F.Ehrenhaft, "Über die Messung von Elektrizitätsmengen, die kleiner zu sein scheinen als die Ladung des Einwertigen Wasserstoffions oder Elektrons und von dessen Vielfachen abweichen," *Sitzungsber. Akad. Wiss., Math.-Naturw. Kl. (Vienna), 119 (1910), 815-866* Holton, 1978, s.198, note 110
- 30.September Millikan udgiver sine resultater fra forsøg med olidråber, metode III** Reference: R.A.Millikan, "The Isolation of an Ion, a Precision Measurement of Its Charge and the Correction of Stokes' Law, " *Science, 32 (1910), 436-448.* Holton, 1978, s.197 note 107

1 9 1 3

- 1913** **August Millikan udgiver sin endelige artikel om olidråbeforsøget, der nu er fuldt udviklet.** Artiklen indeholder beregninger af dråbe nr.41 Reference: R.A. Millikan, *On the Elementary Electrical Charge and the Avogadro Constant," Physical Review, 2 (1913), 109-143 .* Holton, 1978, s.202 note 122

1 9 1 7

- 1917** **Millikan udgiver sin bog om elektronen** Reference:R.A.Millikan: *The Electron: Its Isolation and Measurements and the Determination of Some of Its Properties Chicago, 1917* Holton, 1978, s.163 note 7

1 9 2 3

- 1923** **Millikan modtager Nobelprisen for sit arbejde med bestemmelsen af e og for sit arbejde med den fotoelektriske effekt.**

1 9 5 0

- 1950** **Millikan udgiver sin selvbiografi** Reference: R.A.Millikan, *Autobiography, 1950, New York* Holton, 1978, s.166 note 14

6. Eksempler på Undervisning ud fra Millikan Ehrenhaft kontroversen

I dette afsnit vil jeg beskrive fire videnskabshistoriske og videnskabsfilosofiske vinkler man kan bruge i forbindelse med fysikundervisning, der tager udgangspunkt i Millikan Ehrenhaft kontroversen. Kontroversen er dog interessant i sig selv, og man kan forestille sig at eleverne vil få en anden oplevelse af faget fysik, alene ved at lære den at kende i forhold til den oplevelse, en almindelig fysikundervisning giver. Mange af de aspekter, som jeg tror, at eleverne vil finde spændene, vil selvfølgelig få mere indhold og dybde, hvis de også bearbejdes i undervisningen, men jeg mener ikke, at man behøver at gennemgå alle aspekterne, for at få udbytte af eksemplet.

6.1 Historiens linearitet

I indledningen beskriver Steuwer, hvordan en historisk gennemgang af et emne kan perspektivere elevernes forståelse af fysik og give dem et billede af videnskabens natur, som de ikke bliver præsenteret for i den almindelige undervisning. Dette eksempel viser, at den naturvidenskabelige metode, der bruges i fysikundervisningen, ikke altid kan overføres på den udviklingen af viden, der foregår i det videnskabelige miljø, selv om det ofte præsenteres sådan. Den naturvidenskabelige metode bliver beskrevet i lærebøger som en meget lineær proces. I *Fysikkens verden* beskrives den naturvidenskabelige metode i introduktionen.

*Grundlaget for fysiks beskrivelse af naturen er den naturvidenskabelige metode. Den er karakteriseret ved eksperimentelle målinger og ved matematiske sammenhænge og love, der sætter de målte størrelser i forbindelse med hinanden. Det skal altså for det første være sådan, at man kan foretage matematiske beregninger med de målte størrelse, og for det andet skal alle beregninger stemme med de eksperimentelle målinger. Eller sagt på en anden måde: Alle forklaringer og love skal bygge på og stemme med eksperimenter.*¹⁹⁶

Dette historiske eksempel belyser, hvordan den videnskabelige metode ikke er uafhængig af personlige interesser, når den bruges til at etablere ny viden. I lærebøgerne beskrives udviklingen lineært, og f.eks. beskriver *Fysikkens verden*, hvordan J.J. Thomson kunne regne, ud at elektronerne eksisterede i alle stoffer, da han kunne finde det samme forhold mellem ladningen og massen (e/m) for forskellige gasser. Ifølge *Fysikkens Verden* kendte han størrelsen af elementarladningen fra forsøg med ioner, så han antog, at elektronen måtte have en lige så stor ladning, der dog havde modsat fortegn.¹⁹⁷ Det må være Rutherfords og Geigers forsøg med alfakerner, der hentydes til, men de fandt en værdi for e , der var $4,65 \cdot 10^{-10}$ esu og Thomson arbejdede på dette tidspunkt med en størrelse af elementarladningen, der var 30%

¹⁹⁶ Elvekjær og Degn, 1988 bd.1 s.11

¹⁹⁷ Elvekjær og Degn, 1988 bd.2 s.94

lavere.¹⁹⁸ Så det må primært være idéen om, at partiklen havde en ladning, og at den skulle have modsat fortegn, så atomet var neutralt, Thomson fik fra Rutherfords og Geigers resultater. Størrelsen af elementarladningen var ikke endelig bestemt på dette tidspunkt, og Millikan bruger Thomsons eksperiment til at opstille sine teoretiske antagelser. Der kan derfor ikke have været enighed i det videnskabelige samfund om, at elementarladningen eksisterede, da han lavede sine målinger, og han kunne derfor heller ikke bestemme elementarladningens størrelse.

I Orbit 3 gennemgås Millikans eksperiment og det indledes med sætningen:

*Den amerikanske fysiker Robert Millikan udførte i årene 1910-13 en række målinger, hvor det lykkedes ham at bestemme elementarladningen. Millikans målinger var det første eksperimentelle bevis for at, at ladning er kvantiseret, altså at frie ladninger kun forekommer som et helt antal elementarladninger.*¹⁹⁹

Herefter beskrives oliedråbeforsøget, og man fornemmer, hvordan eleven skal motiveres til at lave forsøget ved blandt andet at blive motiveret af dets betydning set i et historisk perspektiv. Jeg synes, at historien kunne udnyttes bedre, hvis Millikans forsøg blev perspektiveret og elevernes også lærte om præmisserne for hans arbejde. Selv om Millikans værdi for elementarladningen kun er 0.06%,²⁰⁰ fra den værdi vi bruger i dag, så bestemmer man i dag elementarladningen ud fra den kvantemekaniske Klitzingkontant.²⁰¹ Bestemmelsen af elementarladningen er et godt eksempel på, at et nyt paradigme, kvantemekanikken, giver nogle helt nye metoder til at løse problemer i det gamle paradigme.

Det er eksempler som disse, der er medvirkende til, at eleverne opfatter naturvidenskab som en upersonlig virksomhed. Hvis man vil inddrage det historiske aspekt, så må man gøre det i historiens ånd og ikke bruge historien misvisende for at krydre undervisningen.

Både Millikans og Ehrenhafts arbejde var naturligvis præget af den naturvidenskabelige metode. Dette er især tydeligt i de artikler og noter, hvor de offentliggør deres resultater. Millikan bruger sine teoretiske antagelser i udførelsen af hans forsøg, og det er meget synligt i hans første artikel på området, at de har en fremtrædende rolle for hans arbejde, men efterhånden som resultaterne bliver bedre, og forsøgene får færre fejlkilder, så skjuler Millikan også i højere grad, hvilken rolle antagelserne har. Udviklingen fra hans artikel fra februar 1909, hvor han vurderer brugbarheden af sine forsøgsresultater ved at tildele dem stjerner i artiklen og vægte resultatet efter antallet af stjerner, til han i artiklen fra september 1910 flere gange på-

¹⁹⁸ Holton, 1978, s.182

¹⁹⁹ Brydensholt et.al., 2000, 207

²⁰⁰ Millikan fik $e = 4,774 \pm 0,009 \cdot 10^{-10}$ esu $\approx 1,592 \pm 0,003 \cdot 10^{-19}$ C

²⁰¹ Elementarladningen kan f.eks. bestemmes vha. naturkonstanten, Klitzing-konstanten, der er $K_k = 2,41797 \cdot 10^{14}$ Hz, og $e/h = K_k$, e er senest bestemt i 1995 til at være $e = 1,602177 \cdot 10^{-19}$ C. ref: Kittel *Introduction to Solid State Physics*, 1996.

peger, at alle målingerne er medtaget, og at der er en stor konsistens resultaterne imellem. Holtons fund af Millikans laboratorienoter viser, at han stadig afviser forsøg på baggrund af hans antagelser, nu bliver det bare ikke offentliggjort længere. Millikan bliver mere bevidst om, at hans metode falder udenfor den accepterede brug af den naturvidenskabelige metode, og han begynder at præsentere resultaterne på det videnskabelige miljøes præmisser. Han ændrer dog ikke sin metode af den grund.

Ehrenhaft bruger den naturvidenskabelige metode til at retfærdiggøre, at alle målingerne skal tages med, når man laver eksperimenter, og at Millikans resultater derfor er manipuleret efter en teori, der antager, at elementarladningen eksisterer. Men er det i bakspejlet i orden at medtage alle målinger, hvis man har en teoretisk begrundelse for, at det ikke er alle målinger, der er i overensstemmelse med målemetoden. Skulle Ehrenhaft havde sorteret målinger fra, hvor Stokes lov ikke længere kunne bruges fordi de brownske bevægelser fik for stor en betydning²⁰². Ehrenhaft argumenterer for. At han ikke behøver at lave korrektion af Stokes lov, da den ville gøre hans resultater endnu lavere, og da han mener, at korrektioner skal dikteres af eksperimentet og ikke af teorien.

Jeg mener, at det netop var forholdet mellem eksperiment og verifikation i den naturvidenskabelige metode, der var med til at holde liv i kontroversen så længe, for det var ikke almindeligt i det videnskabelige samfund at kritisere forskeres metode ved at påpege, at de tog for mange data med og ikke sorterede i dem.

En anden grund til, at kontroversen blev så grundlæggende, var, at den var et af de mest tydelige eksempler på, at det fysiske verdensbillede var i gang med at ændre sig fra en opfattelse af, at verden skulle beskrives ved fænomenologiske betragtninger, til at den skulle beskrives ved hjælp af matematiske betragtninger og usanselige størrelser. Det er vigtigt at blive undervist i dette skift, da det er grundlæggende for vores forståelse af fysikken i dag, og kontroversen mellem Millikan og Ehrenhaft er et eksempel på mødet mellem det gamle paradigme og begyndelsen på det nye.

Dette eksempel kan bruges til at opøve elevernes forståelse for videnskabelig argumentation, som Matthews (1994) beskriver som et af formålene med at bruge historisk fysik i undervisningen. Eleverne får også en mere autentisk oplevelse af, hvordan fysisk viden udvikler sig, ved at kende den historiske beskrivelse, og det er muligt at fokusere på forskellen på en forklaring og et bevis i mange forskellige situationer i eksemplet.

²⁰² Da Stokes lov antager at legemet bevæger sig i en uendelig ensartet viskøs væske, hvis oliedråberne nærmer sig molekylestørrelser, kan man ikke betragte væsken for viskøs, da luftmolekylerne vil påvirke oliedråberne og de brownske bevægelser vil få en større betydning.

6.2 Eksperimentets forhold til teorien og omvendt

Dette eksempel sætter fokus på forholdet mellem teori og eksperiment, de to forskere bruger grundlæggende den samme eksperimentelle metode, men udførelsen af metoden afgør, om metoden beviser eller afviser eksistensen af elementarpartiklen. Det er også netop udførelsen af forsøget, der udgør forskellen mellem forskning og undervisning. I undervisning er det den simple udgave af den naturvidenskabelige metode, der er gældende, for det er det ikke ny viden, der skal etableres, men eftervisning af allerede etableret viden, der er formålet. De eksperimentelle målinger beskrives ved matematiske sammenhænge og love, man allerede kender. Eleverne ved, at lovene gælder for målingerne, og man kan ikke hævde, at forklaringerne, eleverne bruger til at forklare deres eksperiment, bygger på deres målinger. Deres forklaringer bunder i teori, og det er eksemplificering og erkendelse af teorien, der er formålet for eksperimentet.

Ifølge Holton kan man ikke forvente, at forskere bruger Poppers falsifikationsprincip i afklaringsfasen, hvor det er vigtigt, at forskeren holder fast i sine principper, da han ellers ikke vil være i stand til at opstille de nødvendige hypoteser eller til at udvikle eksperimenter. Denne betragtning gælder både for Millikan og Ehrenhaft (Dog først for Ehrenhaft fra december 1909). Når teorien først er etableret, er det et kendetegn ved naturvidenskabelige metode, at man forsøger at få afprøvet teoriens holdbarhed ved at afprøve den i mange forskellige eksperimenter efter falsifikationsprincippet. Hvor man forsøger teoretisk at forestille sig situationer, der kan afvise teorien, for på den måde at vise dens holdbarhed.

Der findes også teoretiske fysikere, der alene på baggrund af teoretiske overvejelser og beregninger alene foreslår ny viden. Det er afhængigt af hvilket emne, man forsker indenfor om det er muligt at bruge eksperimenter til at undersøge det. Einstein indførte tankéksperimenter til at belyse konsekvenserne for oplevelser af rum og tid i arbejdet med den specielle relativitetsteori. Bohrs udvikling af atommodellen byggede også på teoretiske overvejelser, men en del af disse overvejelser byggede på resultater fra andres eksperimenter.

Jeg synes, at det er vigtigt, at eleverne lærer om eksperimentets rolle og især, at det ikke altid har en altafgørende rolle i virkelighedens udvikling af fysik, sådan som det beskrives i lærebøgerne. Det er også vigtigt, at de lærer formålene med deres fysikforsøg i undervisningen at kende, da det kan hjælpe dem til at forstå undervisningssituationen bedre. En bedre forståelse af formålene med undervisningsforsøg er ifølge Driver et.al (1996) afgørende for om eleverne har det samme formål med udførelsen af forsøget som læreren og for om eleverne har mulighed for at lære, det samme som læreren underviser i.

Jeg synes, at det er et åbent spørgsmål i dette historiske eksempel, om det var Millikan eller Ehrenhaft, der udførte den bedste videnskab, og derfor synes jeg, at det er godt til en klassediskussion, hvor det rigtige svar ikke er givet på forhånd, men eleverne tvinges til at tage stilling.

6.3 Videnskabssociologi

Det er meget tydeligt, at de to forskere arbejder indenfor hver deres forskningsmiljø, og at der er forskellige syn på verden indenfor de to miljøer. Der er forskel på hvilke fænomener, man mener der skal undersøges. Ehrenhafts årsager til at undersøge, om der eksisterer en elementarladning, er at kunne afvise det og ikke at kunne bekræfte det. Dette skal ikke sammenlignes med Poppers falsifikationsprincip, for det er Ehrenhafts teoretiske grundlag, der dikterer, at opfattelsen af elementarpartikel skal modbevises, og derfor er en afvisning af elementarpartiklen en verifikation af teorien.

I Millikans forskningsmiljø er man tilhænger af teorien om kvantificering af fysiske størrelser som elektricitet og lys, og man skelner ikke mellem forskningsobjekter uanset om de er hypotetiske eller ej. Der er en større frihed til at vælge forskningsemne. I Ehrenhafts forskningsmiljø var der en stærk styring fra Mach side om hvilke emner, der var acceptable, og dette prægede Ehrenhaft i sådan en grad, at han faktisk forlod sine oprindelige synspunkter og forskning, der understøttede idéen om en elementarpartikel, der havde en entydig ladning.

Millikans forskning er nærmest et skoleeksempel på Lakatos' model for videnskab, hvor de teoretiske antagelser er den hårde kerne, der ikke fraviges, selv om de eksperimentelle resultater måske indikerer, at man bør tage dem op til overvejelser. Holton påpeger, at det netop er Millikans overbevisning om, at teorien er rigtig, der er medvirkende til, at han udvikler forsøget og finder beviser for, at elementarladningen eksisterer.

6.4 De personlige ambitioner

Millikans personlige ambitioner spiller en stor rolle i hans valg af forskningsemne. Da han kom tilbage til Amerika, havde han brugt meget tid på undervisning og skrevet nogle meget populære undervisningsmaterialer. Han ledte efter et forskningsemne, han kunne give sig i kast med for han havde en stor ambition om at blive en respekteret forsker, og den del af hans ambition havde han endnu ikke fået opfyldt. Holton beskriver, hvordan Millikan, et stykke tid før han begynder at udvikle Wilsons eksperiment, har vurderet hvilket emne, han skulle vælge ud fra videnskabelige artikler. Det er også sandsynligt, at Millikan har vurderet at en præcisering af en eksisterende fundamental konstant, var et forskningsemne, der havde en større chance for succes end at prøve at bevise noget helt nyt. Da Millikan startede, var der ingen af de forskere, der undersøgte emnet som arbejdede på at afvise eksistensen, selv Ehrenhaft havde publiceret en artikel, der talte for elementarladningen. Millikan havde brug for succes som forsker, og da han var i 40'erne er det sandsynligt, at han godt vidste, at det var ved at være sidste chance. I Millikans arbejde med optimere eksperimentet mellem 1910 og 1913 arbejdede han sammen med en kandidat, Harvey Fletcher, men da de skulle til at udgive deres arbej-

de, lavede Millikan en aftale med Fletcher om, at han kunne udgive deres resultater alene, og så fik Fletcher lov til at udgive deres resultater om brownske bevægelser som sin Ph.d.-afhandling.²⁰³ Fletcher var formentlig skuffet, men havde nok ikke andre muligheder end at acceptere aftalen, og han sørgede for, at den rigtige sammenhæng ikke blev offentligt kendt, før både Millikan og han selv var døde.²⁰⁴ Goodstein (2001) mener ikke, at det var Ehrenhaft, der var Millikans største rival, men at det var J.J. Thomson, da de begge ønskede at blive husket som den forsker, der opdagede elektronen, og at det var medvirkende til, at Millikan præsenterede sine resultater, som han gjorde og ønskede at stå som den eneste forsker på artiklen i 1913.²⁰⁵

Ehrenhaft var noget yngre da kontroversen startede og hans nye stilling ved Wien universitet og den opmærksomhed, som Lampa og von Lang i forbindelse med det ledige stilling i Prag gav ham, har uden tvivl været med til at motivere Ehrenhaft til at ændre standpunkt og søge efter et kontinuert spektrum af ladning. Hans nye indstilling er i tråd med det forskningsmiljø, han arbejdede i og havde en stor ambition om at gøre karriere indenfor. Han bliver af Lampa i et brev til Mach beskrevet som et nyt håb, og han forblev trofast overfor deres tilgang til forskningen. Resten af hans forskningskarriere brugte han på at udgive artikler om subelektroniske ladninger og fremvise eksperimenter, der skulle illustrere, at der fandtes magnetiske monopoler.

²⁰³ De bestemte N_e , hvor N er avogadros konstant.

²⁰⁴ Goodstein, 2001, s.2

²⁰⁵ Goodstein, 2001, s.7

7. Konklusion

Jeg har argumenteret for, hvorfor fysik i ungdomsskolerne har en berettigelse for alle elever, da viden om fysik og den naturvidenskabelige metode er vigtig for at kunne deltage i et demokratisk samfund, og fordi naturvidenskab har haft og stadig har en vigtig rolle for hvordan vestens civilisation udvikler sig.

Jeg har fremlagt forskningsresultater, der argumenterer for, at en almendannende fysikundervisning også kvalificerer de elever, der ønsker en naturvidenskabelig uddannelse, og det historiske eksempel, der er beskrevet i kapitel 5, er et eksempel på, at en almendannende undervisning, både kan sætte elever i stand til at vurdere videnskabeligt arbejde bedre, efter de har lært om processerne, og at få dem til at forstå hvilken rolle eksperimenter har i en uddannelsessituation og hvilken rolle de har i en udviklingssituation.

Jeg har argumenteret for, hvorfor jeg mener, at det almendannende aspekt i undervisning bør tilrettelægges, så der bliver en større forståelse i befolkningen, for hvordan fysik udvikler sig, og hvilken betydning de naturvidenskabelige fag har for vores samfund. Dette vil være med til skabe en større forståelse for, hvorfor det er vigtigt at forske og bruge penge på fysikforskning, og fysikerne vil opnå større anerkendelse for deres arbejde, og opfattelserne af dem vil blive mere menneskelig.

Hvis det bliver klart for eleverne, at fysik handler om mere end Newtons 2. lov, så tror jeg at flere vil interessere sig for faget og ikke fravælge det, når det er muligt, og jo flere der interesserer sig for fysik i ungdomsuddannelserne, jo flere vil være åbne overfor muligheden af et studie i fysik. Jeg mener dertil, at en almendannende fysikundervisning vil ruste de kommende studerende både fagligt og menneskeligt, da faget jo opleves anderledes i gymnasiet og på universitetet.

Jeg har vist, at fysik kan blive humaniseret af, at inddrage et historisk aspekt i undervisningen. Jeg mener ikke, at man kun skal bruge historien til at opbløde faget, for det medfører ofte, at historien bliver beskrevet lineært og dermed bekræfter elevernes opfattelse af at fysik som et fag uden personligt præg. Udviklingen mod ny viden foregår sjældent, som den bliver beskrevet i lærebøgernes gennemgang af den naturvidenskabelige metode, men hvis den bliver beskrevet sådan, så kan det være med til gøre eleverne fremmedgjorte overfor faget. Hvis historien bruges som et middel til, at beskrive hvordan fysisk viden i virkeligheden bliver udviklet og hvor mange forskellige aspekter, der spiller ind i processen, kan eleverne både fokusere på forskellene på hvordan viden bliver beskrevet i den historiske gennemgang og hvordan den

beskrives i lærebøgerne. Hvis man fokuserer på, hvorfor der er en forskel, kan man opnå, at eleverne bliver fokuseret på deres egen læring.

Det eksempel jeg præsenterer, kan også bruges til undervise i eksperimentets rolle i udvikling og i undervisning som metakognitivt emne. Det almindelige aspekt, der består af at få en oplevelse af, at kende til omstændighederne for hvordan viden har udviklet sig og få en fornemmelse for hvor stort et spring, det var for hele det videnskabelige samfund at kvantificere opfattelsen af energi. Dette dækker en stor del af FNU's punkter om hvilke aspekter, der som minimum bør indgå i en almindelig undervisning. Hvis eleverne skal blive i stand til "at kende bærende idéer i dagens naturvidenskabelige verdensbillede – og nogle træk i dets historiske udvikling, at besidde og kunne trække på et vist niveau af almen naturvidenskabeligt frembragt viden i relevante situationer, at forstå de metoder hvormed naturvidenskaber opnår viden og erkendelse, særligt betydning af iagttagelse, eksperiment, model og kvantitative tilgang, at forstå, respektere og værdsætte styrker og begrænsninger i den naturvidenskabelige metoder, værdier, beviser og kendsgerninger" og til sidst "at kende til naturvidenskabernes plads i vores kulturarv; i en idéhistorisk og filosofisk sammenhæng"²⁰⁶ er det nødvendigt, at undervisning med historisk fysik tager historien alvorligt for derved også at tage fysikken alvorligt.

²⁰⁶ FNU, 2003, s.12

8. Litteraturliste

- Baird, J.** og Northfield, J. 1995. i Dolin, J. og Ingerslev, G (Eds) *Erfaringer fra PEEL projektet*. Klim, Århus
- Aikenhead, Glen S.** 1996 *Science Education: Border Crossing into the Subculture of Science*, Studies in Science Education, 27, 1-52
- Ausubel, D.P.** 1966. *Meaningful Reception Learning and The Acquisition of Concepts*, i H.J. Klausmeier og C.W. Harris (Eds), *Analyses of Concept Learning*, Academic Press, New York
- Bjerregaard, Marianne Wilcken, Christiansen, Frederik Voetman, Hansen, Jørn Skov, Jensen, Klaus Dahl, Schmidt, Ole** 1995. *Metaforer i fysikken*, Tekst nr. 308 i tekstrækken fra IM-FUFA, Roskilde Universitetscenter. Roskilde.
- Brown, John Seely, Collins, Allan, Duguid, Paul,** 1989, *Situated Cognition and the Culture of Learning*. Educational Researcher, 32-42
- Brydesholt, Morten, Gjøe, Tommy, Jespersen, Lis, Keller, Ole, Møller, Jan, Vaaben, Jens.** 2000. Orbit 3 Systime, Århus
- Christensen, Claus og Meyer, Thorsten,** 1898 Manhattan Projektet – Da videnskaben mistede uskylden, Munksgaard, 1989
- Coburn, Wm.W.** 1996. *Constructivism and Non-Western Science Education Research*, International Journal of Science Education, 4(3): 287-302
- Danmarks evalueringsinstitut** 2001. *Fysik i skole – skolen i fysik*, Danmarks Evalueringsinstitut, København
- DeBoer, George E.** 2000. *Scientific Literacy: Another Look at Its Historical and Contemporary Meanings and Its Relationship to Science Education Reform*, Journal of Research in Science Teaching, 37 (6): 582-601
- Dolin, Jens** 2002 *Fysikfaget I forandring – læring og undervisning i fysik i gymnasiet med fokus på dialogiske processer, autenticitet og kompetenceudvikling* RUC, Roskilde

Driver, Rosalind, 1989, *The Construction of Scientific Knowledge* i Robin Millar *Doing Science: Images of Science in Science Education*

Driver, R og Easley, J. 1978, *Pupils and Paradigms: a review of literature related to concept development in adolescent science students*, *Studies in Science Education*, 5, 61-84.

Driver, Rosalind, Guesne, Edith, Tiberghien, Andrée 1985 *Childrens Ideas in Science*. Open University Press, Philadelphia

Driver, Rosalind, Leach, John, Millar, Robin, Scott, Phill 1996 *Young People's images of science*. Poen University Press, Buckingham

Elvekjør, Finn, Nielsen, Børge Degn, 1988. *Fysikkens verden bd. 1-3* Gjellerup og Gad, København

FNU, 2003. *Fremtidens Naturfaglige Uddannelser, strategiplan 2003-08 og videre frem*, <http://www.fremtidensnaturfagligeuddannelser.u-net.dk/rapport030228/rapport030228.htm>

Gagné, Robert M. 1967. *The conditions of learning*, Holt, Rhinehart and Winston, inc. New York, Chicago, San Francisco

Goldbech, ole og Thomsen, Poul V. 1992. *Undervisning på folkeskoleniveau – med konstruktivistisk indfaldsvinkel* i Albert Chr. Paulsen og Henry Nielsen *Undervisning i Fysik – den konstruktivistiske idé*.

Goodstein, David. 2001. *In the Case of Robert Andrews Millikan American Scientist*; 2001, s.54-50. Jeg har den fra internettet på adressen: <http://www.its.caltech.edu/~dg/MillikanII.pdf>

Hansen, Gert, Krogh, Lars Brian, Lund, Kirsten Brink, Martinsen, Poul, Nyborg, Inger Marie, Sørensen, Christian Bech, Villadsen, Pia, Østergaard, Ove, 1990. *Fysikkens verdensbillede*. Budolfi Tryk, Aalborg

Hennessy Sara, 1993 *Situated Cognition and Cognitive Apprenticeship: Implications for Classroom Learning* *Studies in Science education*, 22: 1-41

Hansen et. al. 1998. *Træk af kognitionsforskningen historie i Kognitionspsykologi – en introduktion*. Unge pædagoger, København?

- Holton, Gerald**, 1978. *Subelectrons, presuppositions, and the Millikan-Ehrenhaft dispute* *Historical Studies in the Physical Sciences*, 9: 161-224
- Ingerslev, Gitte og Dolin, Jens**, 1995. *PEEL-projektet – et australsk læringsforsøg* Forlaget Klim, Århus
- Irwin, Allan R.** 2000. *Historical Case Studies: Teaching the Nature of Science in Context* *Science Education* 84: 5-26
- Lave, Jean.** 1988. *Formidling eller praktisk forståelse*. Udkast 2 s.150-180
- Matthews, Michael R.** (red) 1991. *History, Philosophy and Science Teaching*, 1-6. OISE Press, Teachers College Press, Toronto & New York.
- Matthews, Michael R.** 1994. *Science Teaching- The Role of History and Philosophy of Science*. Routledge, London.
- Nersessian, Nancy J.** 1989. *Conceptual Change in Science and in Science Education*. Synthese 80, 163-84.
- Nersessian, Nancy J.** 1995a. *How do Scientist Think? Capturing the Dynamics of Conceptual Change in Science i Diagrammatic Reasoning Computational and Cognitive Perspectives* red. B Chandrasekaran, J. Glashow og H. Narayanan (137-83). AAAI Press, Menlo Park Californien.
- Nersessian, Nancy J.** 1995b. *Should Physicist Preach What They Practice? Constructive Modeling in Doing and Learning Physics*. *Science & Education* 4: 203-26
- Nersessian, Nancy J.** 1997. *Conceptual Change and Incommensurability: A Cognitive-Historical View*, *Danish Yearbook of Philosophy* 32:111-52
- Niaz, Mansoor.** 2000. *The Oil Drop Experiment: A Rational Reconstruction of the Millikan-Ehrenhaft Controversy and Its Implications for Chemistry Textbooks*. *Journal of Research in Science Teaching*, vol 37, 5: 480-508
- Nielsen, Henry**, 1987. *Fysikken og den industrielle revolution*. AKA-Print, Århus

Nielsen, Henry & Paulsen, Albert Chr. (red) 1992. *Undervisning i fysik – den konstruktivistiske idé*. Gyldendal, København.

Nielsen, Henry og Thomsen, Poul V. 1989. Den historisk-filosofiske dimension i fysikundervisningen. *Noter/ Historielærerforeningen for Gymnasiet og HF*, nr.102, s.27-33

Niss, Mogens. 1999. *Kompetence og uddannelsesbeskrivelse*, Uddannelse.
<http://udd.uvm.dk/199909/udd09-3.htm?menuid=4515>

Niss, Mogens. 2000. *Gymnasiets opgave, almen dannelse og kompetenser*, Uddannelse.
<http://udd.uvm.dk/200002/udd02-4.htm?menuid=4515>

Novak J.D. og Gowin D.B. 1991/1984. *Learning how to Learn*. Cambridge University Press, Cambridge.

Paulsen, Albert Chr. 2003. *Naturfag i skolen i et kritisk demokratisk dannelsesperspektiv*. I *Naturfagdidaktikk – perspektiver, forskning, utvikling*, red. Doris Jorden og berit Bungum, Gyldendal Akademis, Oslo

Piaget, Jean. 1959 *Ligevægtsbegrebets rolle i psykologien* i Knud Illeris' 2000 *Tekster om læring*, Roskilde Universitetsforlag, Roskilde

Scott P.H. og Driver, R. 1998. *Learning about Science Teaching: Perspectives From an Action Research Project*. I B.J. Fraser og K.G. Tobin (Eds) *International Handbook of Science Education* Vol 2 s. 761-789, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht

Sjøberg, Svein 1992, *Når virkeligheden konstrueres – læringspsykologi* i Albert Chr. Paulsen og Henry Nielsens *Undervisning i Fysik – en konstruktivistisk idé*

Sjøberg, Svein 1998. *Naturfag som allmenndannelse – en kritisk fagdidaktikk*. Ad Notam Gyldendal, Oslo.

Solomon Joan 1994. *The Rise an Fall of Constructivism* *Studies in science Education*, 23: 1-19

Stuewer, Roger H. 1997/98. *History and Physics*. I Tiberghien, Andrée, Jossem, E Leonard og barojas, Jorge (Eds) *Connecting Research in Physics Education with teacher Education*. Bogen ligger på internettet <http://www.physics.ohio-state.edu/~jossem/ICPE/TOC.html>

Quale, Andreas 2003. *konstruktivisme i naturvitenskapen: Kunnskapssyn og didaktikk*. I *Naturfagdidaktikk – Perspektiver Forskning Utvikling*. Red. Doris Jorden og Berit Bungum. Gyldendal Akadamis, Oslo

Undervisningsministeriet, Direktoratet for Gymnasieskolerne og HF, 1988. Fysik – bekendtgørelse og vejledende retningslinier. Undervisningsministeriet, København

Undervisningsministeriet, 1999a. *Bekendtgørelse om gymnasiet, studenterkursus og enkeltfagsstudentereksamen*. Undervisningsministeriet, København.

Undervisningsministeriet, 1999b. *Undervisningsvejledning for gymnasiet – FYSIK*. Uddannelsesstyrelsen, København.

Undervisningsministeriet, 2001. *Kompetenceudvikling og pædagogisk praksis – et oplæg fra et netværkssmeniat på Rødding højskole januar 2001*, Undervisningsministeriet, København

White, Richard T. 1988. *Learning Science* Blackwell Publisner, Oxford

Vygotsky, Lev Semenovich. 1962. *Thought and Language* The Massachusetts institute of Techno-logy, Massachusetts.

Baggrundslitteratur.

Adey, P.S. og Shayer M. 1994. *Really Raising Standards: Cognitive Intervention and Academic Achievement*, Routledge, London

Andersen, Hanne, 2003. Notat 10 Den ændrede opfattelse af naturvidenskabens arbejdsmetode og struktur, <http://www.fremtidensnaturfagligeuddannelser.u-net.dk/notater/notat10.htm>

Matthews, Michael R. 1999. *Time for Science Education: How the History and Philosophy of Pendulum Motion can Contribute to Science Literacy*. (Et abstract, der er baseret på Matthews bog af same titel.)

Referat:

Projektet starter med at gennemgå udviklingen af fysikundervisningens læseplaner og deres forhold til det almendannende aspekt af undervisningen. Derefter gennemgås den individuelle konstruktivistiske og den socialkonstruktivistiske læringsteori og nogle undervisningsstrategier og projekter som teoriene har inspireret. Forudsætningerne og formålene med en almendannende fysikundervisning og mulighederne for at bruge historisk fysik til at dække formålet beskrives. Det historiske eksempel: Millikan Ehrenhaft kontroversen gennemgås, for at danne baggrund for gennemgangen af hvilke aspekter af undervisningen man kan dække med eksemplet. Millikan Ehrenhaft kontroversen er et eksemplarisk eksempel på, at den lineære beskrivelse, som historisk fysik ofte får i lærebøgerne, ikke giver et godt billede af, hvordan viden udvikler sig indenfor naturvidenskaben, hvilken rolle eksperimenter har for verificeringen af viden og hvilke roller forskermiljøet og de personlige ambitioner har for synet på verden og udførelsen af videnskaben.

Summary:

This project starts off describing the syllabi's of science and how they handle teaching science literacy. Proceeding follows the examination of the individual and social constructive theory of learning; some teaching strategies and projects, which developed from the constructive theories, are described. The conditions and purpose of a science literacy teaching, and the possibilities of using historical physics to do that, are described. The historical case: The Millikan Ehrenhaft Controversy is described as a basis for covering which of the different aspects of science teaching can be used. The controversy is an example of the fact, that the linear description of historical physics seen in the science textbooks, gives the students a wrong picture of how knowledge developed in science; the role that experiments of verification of knowledge and the role the science community and personal ambitions play for the scientific worldview and the accomplishments of science.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

- 417/03 The Semiotic Flora of Elementary particles
By: Peder Voetmann Christiansen
- 418/03 Militermatematik set med kompetencebriller
3. modul projektrapport af: Gitte Jensen og specialrapport af: Jesper Thrane
Vejleder: Tine Wedege
- 419/03 Energy Bond Graphs – a semiotic formalization of modern physics
By: Peder Voetmann Christiansen
- 420/03 Sternung og Musikalsk Konsonans
Et matematisk modelleringsprojekt af: Claus Jørgensen
Vejleder: Johnny Ottesen
- 421/03 OPGAVESAMLING
Bredde-kursus i fysik 1976 – 2003.
Denne tekst erstatter tekst nr. 370/99