

Carl Angell

Trond Ekern

Anders Isnes

# Etterutdanning i fysikk etter R-94

Skolelaboratoriet ved Fysisk institutt  
Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling  
Universitetet i Oslo

# Innhold

<b>1. NY LÆREPLAN</b>	<b>6</b>
<b>1.1 Noen refleksjoner om fysikkfaget</b>	<b>6</b>
1.1.1 Skolefysikkens mål - allmenndannelse og studieforberedende	6
1.1.2 Fysikk er et eksperimentelt fag	7
1.1.3 Fysikkforståelse	7
<b>1.2 Læreplanen for fysikkfaget og Læreplan Generell del</b>	<b>8</b>
<b>1.3 Læringssynet i den nye læreplanen</b>	<b>10</b>
<b>1.4 Taksonomiske nivåer i læreplanen</b>	<b>11</b>
<b>2. FYSIKKDIDAKTIKK</b>	<b>12</b>
<b>2.1 Hva er didaktikk?</b>	<b>12</b>
<b>2.2 Konstruktivisme</b>	<b>12</b>
2.2.1 Hva er konstruktivisme?	12
2.2.2 Alternative forestillinger	14
2.2.3 Metakognisjon	15
2.2.4 Konstruktivisme og undervisning	15
2.2.5 Eksempler fra TIMSS	16
2.2.6 Konsistens i elevtenkning	21
2.2.7 Intuitiv fysikk og impetusteorien	23
2.2.8 Fysikkforståelse og forklaringer i fysikk	25
<b>2.3 Oppsummering</b>	<b>26</b>
<b>3. BEGREPSAPPARATET I FYSIKK</b>	<b>27</b>
<b>3.1 Fysiske størrelser</b>	<b>27</b>
<b>3.2 Bruk av modeller i fysikkundervisning</b>	<b>27</b>
3.2.1 Modelltyper	27
3.2.2 Undervisning om modeller?	28
3.2.3 Teorier	28
3.2.4 Lover	29
3.2.5 Likninger	29
3.2.6 Hypoteser	30
<b>4. EKSPERIMENTALFYSIKK</b>	<b>31</b>
<b>4.1 Læreplanen og eksperimentell fysikk</b>	<b>31</b>
<b>4.2 Eksperimentets mange budskap</b>	<b>32</b>

		3
4.2.1	Eksperimentet som «bli kjent med»-redskap	32
4.2.2	Eksperimentet som innføring i et emne	32
4.2.3	Eksperimentet som illustrasjon	33
4.2.4	Eksperimentet som fasit	33
4.2.5	Eksperimentet som øving i å utforme forsøk	33
4.2.6	Eksperimentet som repetisjon og testing	34
4.2.7	Eksperimentet som differensieringsmiddel	34
<b>4.3</b>	<b>Åpne og lukkede øvinger</b>	<b>34</b>
<b>4.4</b>	<b>Laboratorierapporter.</b>	<b>35</b>
4.4.1	Mottakerbevissthet	35
4.4.2	Bearbeiding av rapporter	36
<b>5.</b>	<b>INFORMASJONSTEKNOLOGI I FYSIKKUNDERVISNINGEN</b>	<b>38</b>
<b>5.1</b>	<b>Læreplanen og IT.</b>	<b>38</b>
<b>5.2</b>	<b>Hvilke muligheter har vi i fysikkfaget?</b>	<b>38</b>
<b>5.3</b>	<b>Noen tanker om bruk av IT i fysikkundervisningen</b>	<b>39</b>
<b>6.</b>	<b>ET EKSEMPEL - BEVEGELSE I LUFT OG VANN</b>	<b>40</b>
<b>6.1</b>	<b>Teori</b>	<b>40</b>
<b>6.2</b>	<b>Fall i væsker</b>	<b>40</b>
<b>6.3</b>	<b>Luftmotstand</b>	<b>41</b>
<b>6.4</b>	<b>Forsøk med luftmotstand</b>	<b>41</b>
<b>6.5</b>	<b>Forsøk med vannmotstand</b>	<b>43</b>
<b>7.</b>	<b>PROSJEKTARBEID</b>	<b>45</b>
<b>8.</b>	<b>VITENSKAPSTEORI</b>	<b>47</b>
<b>8.1</b>	<b>Naturvitenskap - hva er det?</b>	<b>48</b>
<b>8.2</b>	<b>Innledning: Hvorfor bry seg med vitenskapsteori?</b>	<b>48</b>
8.2.1	Naturvitenskap -- en avgrensing?	50
<b>8.3</b>	<b>Vitenskapsteori -- teori(er) om vitenskap</b>	<b>50</b>
8.3.1	Vitenskapshistorie	51
8.3.2	Vitenskapsfilosofi	52
8.3.3	Vitenskapssosiologien	52
8.3.4	To hovedperspektiv på vitenskapen	53
<b>8.4</b>	<b>Det 'klassiske' synet: Empirismen</b>	<b>54</b>
8.4.1	Kritikk av induktivismen	58
8.4.2	Svar på kritikken	60
8.4.3	Observasjon og teori: Hva kommer først?	61
<b>8.5</b>	<b>Karl Popper og falsifikasjonismen</b>	<b>63</b>
8.5.1	Falsifiserbarhet	63

<b>8.6</b>	<b>Falsifiserbarhet -- et strengt krav?</b>	<b>65</b>
8.6.1	Jo mer falsifiserbar -- desto mer vitenskapelig?	65
8.6.2	Dristighet	65
8.6.3	Hypotetisk-deduktiv metode	66
8.6.4	Popper: 'kritisk rasjonalitet'	67
8.6.5	Historisk kritikk av falsifikasjonismen	67
8.6.6	Er falsifikasjon mulig?	69
<b>8.7</b>	<b>Imre Lakatos: 'forskningsprogram'</b>	<b>70</b>
<b>8.8</b>	<b>Thomas Kuhn: vitenskapens paradigmer</b>	<b>71</b>
<b>8.9</b>	<b>Teknologi er <i>ikke</i> det samme som naturvitenskap</b>	<b>73</b>
<b>8.10</b>	<b>Oppsummering så langt: Et konstruktivistisk syn på vitenskapen</b>	<b>77</b>
<b>8.11</b>	<b>Oppgaver</b>	<b>79</b>
8.11.1	Skal elever lære om vitenskapens vesen?	79
8.11.2	Hva kan falsifiseres?	79
8.11.3	Vitenskapens idealer -- eller selvros?	79
8.11.4	Lærebøker og vitenskapssyn	80
8.11.5	Er vitenskapen subjektiv?	81
8.11.6	Autoritær eller åpen?	81
8.11.7	Foranderlig eller stabil?	81
8.11.8	Oppdage eller oppfinne?	82
8.11.9	Svindel?	82
8.11.10	Er forsøk med dyr etisk forsvarlige?	82
8.11.11	Vitenskapelig bevist?	83
8.11.12	Forvalter naturviterne Sannheten?	83
8.11.13	Vitenskap = naturvitenskap?	83
8.11.14	Vitenskapelig metode: En definisjon?.	84
8.11.15	Bare en teori?	84
8.11.16	Naturvitenskap og teknologi	84
8.11.17	Teknologi som skolefag?	85
<b>9.</b>	<b>HISTORISK-FILOSOFISK DIMENSJON I FYSIKKUNDERVISNINGEN - VÅRT VERDENSBILDE</b>	<b>86</b>
<b>9.1</b>	<b>Begrunnelser for historisk - filosofisk dimensjon i fysikkundervisningen i videregående skole</b>	<b>86</b>
9.1.1	Læreplanen	86
9.1.2	Hvorfor historisk fysikk?	86
9.1.3	Hvilke temaer skal vi behandle?	87
9.1.4	Hvordan kan undervisningen legges opp?	87
<b>9.2</b>	<b>Noen tanker om utviklingen av vårt verdensbilde</b>	<b>88</b>
<b>10.</b>	<b>VURDERING I FYSIKKFAGET</b>	<b>90</b>
<b>10.1</b>	<b>Vurdering i videregående opplæring</b>	<b>90</b>
<b>10.2</b>	<b>Hva sier læreplanen i fysikk om vurdering?</b>	<b>90</b>
<b>10.3</b>	<b>Eksempeloppgaver i fysikk</b>	<b>90</b>
<b>10.4</b>	<b>Eksamen og tester</b>	<b>91</b>
10.4.1	Eksamen og funksjon	92

10.4.2	Klassisk testteori. Reliabilitet og validitet	93
10.4.3	Fysikkeksamen og reliabilitet	95
10.4.4	Er eksamen rettferdig?	97
10.4.5	Oppsummering	99

## **11. FORSLAG TIL LITTERATUR** **101**

# 1. Ny læreplan

## 1.1 Noen refleksjoner om fysikkfaget

### 1.1.1 Skolefysikkens mål - allmenndannelse og studieforberedende

Skolefysikken har i følge læreplanen en vid målsetting. På den ene siden skal skolefysikken være et "hardt" realfag der evnen til presise matematiske formuleringer av fysiske problemstillinger er viktig, og på den andre siden et fag av mer kvalitativ karakter som skal gi grunnlag for naturvitenskapelige oppfatninger og meninger og delaktighet i samfunnet. Det er lett å si at vi selvsagt skal ha begge deler. Skolefysikken **må** være et bredt anlagt fag, slik at de mer allmenne aspektene blir ivaretatt samtidig som skolefysikken bør gi et godt grunnlag for videre fysikkstudier.

Sagt på en litt annen måte så har vi med to kryssende oppfatninger av hva som er viktig i en moderne allmennutdanning i fysikk. Den ene oppfatningen legger vekt på at fysikk er et orienteringsfag som formidler kunnskaper av stor samfunnsmessig og kulturell betydning. Et slikt synspunkt fører til sterk vektlegging av sammensatte og kompliserte temaer som f.eks. energiproblematikk, stråling og helse og kosmologi. Med en slik vinkling blir faget i stor grad et deskriptivt fag.

Den andre oppfatningen er at skolefysikken skal gi en innføring i fysikk som fagdisiplin og som et metodefag. Med et slikt utgangspunkt er det naturlig å legge større vekt på de grunnleggende deler av fysikk som mekanikk, termodynamikk og elektromagnetisme og fysikkens eksperimentelle grunnlag. Dette er viktig for dem som får bruk for fysikk seinere i sin utdanning. Imidlertid er det også viktig som en del av en allmenndannelse.

Kritikken av fysikkfaget i skolen går bl. a. ut på at faget har for liten tilknytning til virkeligheten eller dagliglivet. På den ene siden er det lett å slutte seg til en slik kritikk, men på den andre siden er det et poeng at skolefysikken **ikke bare** skal handle om dagliglivet. Fysikk dreier seg også om å lage modeller av virkeligheten. Ofte stemmer modellene bra overens med virkeligheten, i andre tilfeller er de dårlige eller grove tilnærminger til virkeligheten.

Grunnleggende begreper som akselerasjon, kraft, spenning, felt o.l. er vanskelige. Når slike begreper introduseres for elever i skolen, er det ikke tilstrekkelig med forenklete matematiske formuleringer. Få elever vil få noen dypere forståelse for Newtons lover ved å regne ut en ukjent størrelse når de to andre er gitt. Kvalitative problemstillinger som ikke stiller krav til regning, må **sammen** med kvantitative problemer danne grunnlaget for fysiske begreper.

Det er naturlig å peke på betydningen av naturfaglige kunnskaper for å forstå og kunne være delaktig i politiske og samfunnsmessige oppgaver. Dette har med demokratisk deltakelse og medansvar å gjøre. Men det har også å gjøre med at samfunnet trenger mennesker med utdanning i fysikk. Et samfunn som det norske, er avhengig av høy teknisk og naturvitenskapelig kompetanse. Det blir derfor en oppgave for skolen å legge forholdene til rette for å kunne gi den kompetansen som trengs. I et slikt perspektiv blir det kanskje ikke noen motsetning mellom det allmenndannende og det mer studieforberedende perspektivet. Kanskje til og med tvert imot. Et fysikkfag som

appellerer til flere elever slik at flere velger det, kan være med på å heve den generelle naturfaglige kompetansen, samtidig som flere kan bli motivert til videre utdannelse innen naturfagene.

### 1.1.2 Fysikk er et eksperimentelt fag

Det er overraskende at elevene ikke ser den eksperimentelle siden av faget som viktigere enn de gjengitte undersøkelsene viser. Men det behøver ikke være eksperimenter i seg selv som er lite attraktivt. Det kan være elevenes mer eller mindre dårlige erfaringer med elevøvelser og rapportskriving som er utslagsgivende for deres holdninger. Hvis f eks elevøvelser blir sett på som et nødvendig onde som en må gjennomføre fordi det kreves, og ikke fordi det er en naturlig og integrert del av undervisningen, er det ikke vanskelig å forstå en negativ holdning til den eksperimentelle fysikken. Elevøvelsene **kan** oppfattes som rene ritualer der alt egentlig er kjent på forhånd. Nå er det imidlertid **ikke** slik at en i skolen skal tro at elevene selv gjennom eksperimenter skal kunne finne fram til naturlover. Det er misforstått og naivt. Men derimot kan det tilrettelegges for, og gjennomføres, en mer utfordrende og eksperimentell fysikkundervisning enn det som ofte gjøres i dag.

### 1.1.3 Fysikkforståelse

Fysikk har en image av å være et vanskelig fag der den vitenskapelige tradisjonen er sterkt forankret. Men når vi stiller spørsmål om hva vi mener med forståelse i fysikk, er det kanskje lettere å se på hva vi mener skolefysikken **ikke** skal være. Det skal ikke være et puggefag der innsetting i formler og overfladisk reproduksjon er fremtredende. Det er en forskjell mellom det å kunne mestre kvantitative innsettingsoppgaver og til dels vanskelige regneoppgaver, og oppgaver der en mer kvalitativ analyse er det primære. Og det viser seg at mange elever som mestrer regneoppgaver, altså behersker formelapparatet, ikke er i stand til å analysere relativt enkle kvalitative problemstillinger. Det blir dermed et slags paradoks at skolefysikken skal beholde et vitenskapelig preg med presise matematiske formuleringer samtidig som et slikt høyt presisjonsnivå kan være et hinder for å knytte fysikkfaget til "virkeligheten" rundt oss, og for en dypere forståelse for fagets begreper, lover og teorier.

Fysikkforståelse er ikke noe som vi kan formulere kort. Fysikkforståelse handler om å regne på Newtons lover, elektromagnetisk induksjon, optiske fenomener osv., og det handler om teorier, lover, begreper og om eksperimenter, men det skal også handle om filosofi, verdensbilde og ikke minst **undring**. Evnen til å undre oss trenger vi ikke lære. Den er medfødt, men evnen til undring kan glemmes! Det er viktig å kunne plassere fysikkfaget inn i denne tradisjonen med et historisk-filosofisk perspektiv. Og det kan få slike konsekvenser at det blir viktig å forstå forskjellen på en aristotelisk og en newtonsk oppfatning av krefter og bevegelse. Det blir viktig å kunne gjøre kvalitative analyser. Det blir viktig å kunne se fysikken i en historisk utvikling. Det er flere som har påpekt likheten mellom elevers intuitive ideer og forklaringer og teorier til tidligere generasjoners filosofer og naturvitere. For et fysikkfag som for ensidig legger vekt på presise matematiske formuleringer, mister lett dette undrende perspektivet. Og, minst like viktig, en instrumentell forståelse knyttet til et formelapparat er ikke tilstrekkelig til hverken å **forstå eller ha glede av fysikk!** Med andre ord kan de omtalte samfunnsmessige og historisk-filosofiske perspektivene være av overordnet karakter. Noe som kan overrisle faget, sette det inn i mer utfordrende sammenhenger. Og, ikke minst, **være redskaper for begrepsutviklingen**. I dette perspektivet kan intensjonene

med skolefysikken formuleres ved at en bør bevege seg vekk fra en alt for sterkt vitenskapspreget undervisning til en presentasjon av fysikk som en menneskelig aktivitet, og der en ser på fysikk som et redskap til å forstå verden vi lever i.

## 1.2 Læreplanen for fysikkfaget og Læreplan Generell del

Læreplanen i fysikk og Læreplan Generell del må sees i sammenheng når vi skal legge til rette for læring og undervisning i fysikk. Generell informasjon i fysikkplanen inneholder formuleringer om at undring, observasjon, eksperiment, teori, teknologi, levestandard, miljø og samfunn er viktige stikkord for fysikkundervisningen. Allerede her ser vi at læreplanen legger opp til et vidt perspektiv på fysikkfaget og fysikkundervisningen.

Det faglige innholdet i 2FY og 3FY er beskrevet i læreplanens kapittel 2 «Mål og hovedmomenter». Som i de andre faglige læreplanene finner vi her mål og hovedmomenter som forteller hva elevene skal kunne. Derimot sier den faglige læreplanen ikke noe om hvordan målene skal nås. I Læreplan Generell del finner vi likevel et kunnskaps- og lærings syn som vi skal komme tilbake i neste avsnitt. Uansett kan vi si at elever, lærere og lærebokforfattere langt på vei står fritt til å finne egnede arbeidsmåter for å nå målene.

Sammenlikner vi de faglige målene for fysikkfaget i den nye læreplanen med de tilsvarende formuleringer i den tidligere fagplanen for fysikk, er det relativt små endringer. Det som er viktig å forholde seg til, er de perspektivene på fysikkfaget som den nye læreplanen omtaler. Det kan selvfølgelig diskuteres i hvilken grad disse perspektivene er nye. Også i den forrige fysikkplanen var det formuleringer som tok opp noen av disse momentene. Likevel mener vi at de perspektivene som følger nedenfor er kommet tydeligere fram både i den nye læreplanen for fysikk og i læreplanens generelle del. Kort kan vi si at det dreier seg om disse perspektivene:

- Fysikk i historisk sammenheng  
I hovedmoment 1f står det at elevene skal kjenne til noen viktige epoker i fysikkens historie. Videre blir utviklingen av vårt verdensbilde nevnt, og sammenhengen mellom fysikk og teknologisk utvikling
- Undring, nysgjerrighet og relevans  
Den generelle delen av læreplanen inneholder mange formuleringer om undring, nysgjerrighet og kreativitet. Det legges også stor vekt på at fysikkfaget må knyttes til daglige fenomener slik at elevene kjenner seg igjen. Relevans er et stikkord her.
- Fysikk og samfunn  
I mål 1 leser vi at elevene skal kjenne til eksempler på vekselvirkninger mellom fysikk og samfunn. I hovedmomentene til dette målet nevner læreplanen sammenhengen mellom fysikk og teknologi, kunnskaper i fysikk som forutsetning for konstruktivt arbeid med miljøproblemer og etiske problemer som faget reiser.
- Vitenskapsteori og fysikkens begrepsapparat  
I mål 1 krever læreplanen at elevene skal ha kunnskaper om bruk av modeller, hypoteser og teoridannelse i fysikken.
- Eksperimentelle arbeidsmåter og bruk av IT



I mål 2 leser vi at elevene skal kunne bruke eksperimentelle arbeidsmåter. De skal kunne foreslå og utføre egne eksperimenter og bruke IT-utstyr ved registrering og analyse av måldata.

- Grafer, tabeller og koplings skjemaer

Flere steder nevner læreplanen at elevene skal kunne tegne, tolke og bruke grafer, tabeller og koplings skjemaer (hovedmomentene 3a, 5c og 5d).

Fysikkfagets eksperimentelle karakter kommer tydeligere fram enn i tidligere læreplaner. I tråd med intensjonene med målstyrte læreplaner, er det imidlertid ikke lenger krav om et bestemt antall timer elevforsøk. Derimot poengteres fagets eksperimentelle natur eksplisitt i de felles målene (kap. 2.1) og i mål 2 i planen for både 2FY og 3FY. Med andre ord er kravet til å drive eksperimentalfysikk styrket. Omfanget av elevforsøk bør derfor ikke reduseres i forhold til kravene i planen av 1990.

Læreplanen forutsetter at elevene i 2FY arbeider parallelt med matematikkursene 2MX/2MY, og at det i 3FY forutsettes kunnskaper i matematikk innenfor enkelte områder av 3MX/3MY.

Læreplanen for 2FY bygger på 5-timers kurset i naturfag fra 1.klasse i videregående opplæring. Mål og hovedmomenter som vi finner i læreplanen for naturfag på grunnkurset, blir derfor ikke gjentatt i læreplanen for 2FY. Når vi for eksempel leser hovedmoment 6e i læreplanen for 2FY, som sier at elevene skal kunne gjøre greie for radioaktive serier, fusjon og fisjon, er det viktig å være klar over at deler av kjernefysikken er tatt med i naturfagplanen for grunnkurset. Hva elevene kan av dette når de kommer til 2FY, vil nok variere. Det er derfor viktig av læreren er godt orientert om hva som behandles i 1.klasse i videregående opplæring. Det er spesielt målene 4 og 5 i læreplanen for Grunnkurs naturfag som har betydning for fysikkundervisningen. Vi har gjengitt disse målene nedenfor:

#### Mål 4

Elevene skal kunne gjøre rede for sentrale sider ved energibegrepet. De skal se sammenhengen mellom energibruk i samfunnet, vår levemåte og de belastningene denne bruken påfører naturmiljøet. De skal få et bedre grunnlag for å vurdere ulike alternativer ved omforming og bruk av energi for å kunne begrense miljøproblemene.

#### Hovedmomenter:

Elevene skal

- kjenne til sammenhengen mellom kraft, energi og effekt, og kunne bruke enheter fra SI-systemet
- kunne bruke begreper og uttrykk i forbindelse med energi og effekt energiformer, energioverganger og energikjeder, virkningsgrad, bevaring av energi (1. Hovedsetning) og energikvalitet (2. Hovedsetning)
- ha tilegnet seg grunnleggende kunnskaper om elektrisk energi, og kunne gjøre rede for sammenhengen mellom strøm, spenning, resistans, energi og effekt
- kunne gjøre rede for bruk av energi i hjem og samfunn (bruk av elektrisk energi, elektriske apparater, sikkerhet i hjem og samfunn, energibruk i ulike samfunn, konsekvenser av energibruk, energisparing, ENØK)
- kunne gjøre rede for forskjellen på fornybare og ikke-fornybare energikilder og kjenne deres muligheter og bruk

**Mål 5**

Elevene skal ha kjennskap til begreper i lydlæra og i strålingsfysikk som er nyttig for å forstå noen utvalgte miljøproblemer som er aktuelle i yrke og samfunn.

**Hovedmomenter:**

Elevene skal

- kjenne grunnbegreper i forbindelse med lyd (svingninger, frekvens, bølgelengde, lydfart, desibelskalaen)
- ha kjennskap til skader som kan oppstå pga lyd og støy, og hva vi kan gjøre for å redusere mulige skadevirkninger av lyd
- gjøre rede for viktige emner knyttet til strålingsfysikk (elektromagnetisk spekter, ioniserende stråling, radioaktiv stråling, bakgrunnsstråling, halveringstid, doser, ozonlag og drivhuseffekt)
- kjenne til strålingskilder i vårt miljø, hvilke virkninger de forskjellige strålingskildene kan gi, hvordan vi kan skjerme oss mot stråling, og i hvilke sammenhenger vi har nytte av stråling fra ulike kilder

**1.3 Læringssynet i den nye læreplanen**

Reform 94 er blitt lansert som en strukturreform, en rettighetsreform og en innholdsreform. Innholdsreformen handler om synet på kunnskap og læring. Flere steder i Læreplan Generell del finner vi formuleringer som er i samsvar med det vi kaller et konstruktivistisk læringssyn.

Selv om begrepet konstruktivisme er en samlebetegnelse for flere beslektete læringsteorier, har de det til felles at det er eleven som konstruerer eller skaper kunnskapen sin når han eller hun er i kontakt med lærestoffet. Andre læringsteorier legger vekt på at læring er overføring av kunnskap fra for eksempel lærer til elev eller fra bok til elev. Etter slike teorier vil det lærestoffet som læreren forstår, i prinsippet også kunne bli forståelig for elevene. Det gjelder bare å finne den rette vanskegraden.

I en konstruktivistisk forståelse er læring en dynamisk prosess. Elevene får en viktigere rolle i læringsprosessen ved at han eller hun selv konstruerer kunnskapen sin. Lærerens rolle er å tilrettelegge gjennom undervisningen, være inspirator og skaffe informasjon. Selve læringen er det som skjer inne i hodet på eleven. På den måten blir læringen avhengig av elevenes muligheter til å skape den kunnskapen som læreren ønsker. Dette er nærmere utdypet i kapittel 2 Fysikkdidaktikk.

Dette synet kommer som sagt til uttrykk i den måten læreplanen er skrevet på, ikke minst i den generelle delen av læreplanen. Her følger noen sitater:

*«Eleven bygger i stor grad selv opp sin kunnskap, opparbeider sine ferdigheter og utvikler sine holdninger.»*

(side 18)

*«Opplæringen må knyttes til egne iakttagelser og opplevelser. Den legges opp slik at elevene etter hvert får praktiske erfaringer med at kunnskap og ferdigheter er noe de selv kan være med på å utvikle.»*

(side 19)

*«Elevene kommer til skolen med lærelyst: med behov for å bli tatt på alvor, for å bli avholdt som den man er, med trang til å bli løftet og utfordret, med ønsker om å prøve krefter og bruke muskler. God undervisning viser omsorg for disse sidene ved elevene - og for at ulike elever har ulike evner, behov og motivasjon i ulike fag og faser.»*  
(side 21)

#### **1.4 Taksonomiske nivåer i læreplanen**

Det som kanskje er mest uvant for oss lærere med den nye læreplanen, er målformuleringene. Når vi leser målene og hovedmomentene i læreplanen, kan vi stille oss spørsmål om hvor langt det er meningen vi skal gå, hvor mye stoff skal være med, hvilke oppgaver og hva slags oppgaver kan vi forvente at elevene skal kunne løse osv. En kortfattet og målformulert læreplan gir ikke alltid klare svar på slike spørsmål. Vi legger merke til at læreplanen bruker formuleringer som «Elevene skal ha grunnleggende kunnskaper om...» i målene 3, 4, 5, 6 og 8.

For de andre målene finner vi andre formuleringer. I mål 1 her det at «elevene skal ha kunnskaper om» fysikkens begreper, samfunnsaspekt og den historiske sammenhengen, «elevene skal kunne bruke» eksperimentelle arbeidsmetoder i mål 2, og «elevene skal ha kjennskap til» termofysikken i mål 7:

I hovedmomentene finner vi flere formuleringer: ha oversikt over, kunne bruke, kjenne eksempler på, kunne gi eksempler på, kunne utføre, kunne vurdere, kunne identifisere og analysere, kjenne til virkningen av, kunne gjøre rede for, kunne tegne og tolke og kunne gjøre beregninger med. Vi går ut fra at språkbruken er gjennomtenkt, men likevel blir det langt på vei et vurderingsspørsmål for lærebokforfattere og for den enkelte lærer hvor grundige kunnskaper og ferdigheter vi skal forlange av elevene.

Ulike nivåer for læring kan vi beskrive i taksonomier (her: kunnskapshierarki). Blooms taksonomi brukes i mange sammenhenger og den har disse nivåene (meget kortfattet gjengitt):

1. Faktakunnskap: gjengi, angi, liste opp, gjenkjenne
2. Forståelse: forklare, formulere, løse, betegne
3. Anvendelse: bruke kunnskap i nye situasjoner, forutsi, beregne, fortelle med egne ord
4. Analyse: finne likheter og forskjeller, utlede, skille ut, klassifisere
5. Syntese: velge ut og sette sammen kunnskap fra ulike kilder, utlede, planlegge, oppsummere, kombinere, generalisere
6. Vurdere: bedømme, diskutere, begrunne, forsvare, kritisere

Denne taksonomien er ikke tilpasset noe bestemt fag, og det er innlysende at plasseringen av de ulike stikkordene kan diskuteres. Men den kan likevel være en hjelp til å analysere læreplanen. For de fleste målene og hovedmomentene i fysikkplanen kan elevene få oppgaver og bli testet på flere taksonomiske nivåer. I større oppgaver som for eksempel eksamensoppgaver, er oppgaven ofte bygd opp med en progresjon fra det enkle til det mer krevende, der de meste krevende oppgavene ikke kan besvares med å gjengi fakta. De krever analyse, syntese eller vurdering.

## 2. Fysikkdidaktikk<sup>1</sup>

### 2.1 Hva er didaktikk?

Begrepet didaktikk brukes om den delen av pedagogikken som har med undervisning å gjøre, nærmere bestemt de vurderinger som er knyttet til det innholdsmessige aspektet ved undervisningen. Didaktikk handler om vurderinger knyttet til begrunnelser, utvalg, strukturering og tilrettelegging av undervisningsinnhold, eller sagt på en annen måte: Om undervisningens **hva**, **hvordan** og **hvorfor**. Fagdidaktikk er fagenes didaktikk, altså knyttet til et bestemt fag eller fagområde.

Fagdidaktiske problemstillinger spenner over et vidt område. Det kan være vitenskapsteoretiske eller vitenskapshistoriske spørsmål, det kan være problemstillinger med et komparativt perspektiv, det kan være spørsmål om sosiale målsettinger eller likestillingsperspektiver, og det kan være spørsmål knyttet til lærings- og utviklingspsykologi o.l. Metodiske problemstillinger knyttet til undervisningen og problemstillinger angående testing, eksamen og evaluering er også sentrale.

Svein Sjøberg skriver i boka «Naturfagenes didaktikk»:

*Det holder ikke med generell pedagogisk kunnskap, like lite som det holder med bare å beherske selve vitenskapsfaget. Kunnskap om barn og læring er ikke nok, like lite som avansert fagkunnskap er tilstrekkelig. Den gode lærer er kjennetegnet ved at hun behersker fagstoffet på en måte som gir mening for elevene, at hun bruker assosiasjoner, metaforer, bilder, eksempler, illustrasjoner som treffer elevene hjemme - som gir mening for dem.*

Når det gjelder fysikk som fag og som skolefag i særdeleshet, står en ovenfor en rekke valg både med hensyn til innhold og metode. Fagdidaktikken, eller fysikkdidaktikken i denne sammenhengen, kan bidra til at valgene blir **begrunnede** valg, der en er bevisst hvilke faglige og ikke-faglige hensyn en tar.

Fagdidaktikk er viktig fordi en trenger et perspektiv på faget, et perspektiv ut over lover og teorier en har tilegnet seg. En må kjenne hva som er karakteristisk for fagfeltet, og en må kunne sette faget inn i et bredere historisk, filosofisk og samfunnsmessig perspektiv. Mange oppfatter naturvitenskapen som et nokså sterilt byggverk av autoritær, objektiv evig sannhet. En viktig oppgave for fagdidaktikken blir å utvide og nyansere dette ensidige perspektivet.

## 2.2 Konstruktivisme

### 2.2.1 Hva er konstruktivisme?

Naturfagdidaktikken domineres for tiden av et konstruktivistisk syn på kunnskap og læring,

---

<sup>1</sup> Dette kapitlet bygger på deler av dr.scient.avhandlingen til Carl Angell: «Elevers fysikkforståelse - en studie basert på utvalgte fysikkoppgaver i TIMSS. Avhandlingen kan skaffes ved henvendelse til Fysisk institutt, UiO

og konstruktivisme som teorifundament for naturfagdidaktisk forskning både her i landet og internasjonalt, har en meget solid posisjon.

Konstruktivisme er en erkjennelsesteori eller kunnskapsteori (epistemologi). Epistemologi er en gren av filosofien, og er læren om vår erkjennelse, om dens karakter og om den måten vi oppnår erkjennelse på. Epistemologien er opptatt av spørsmålene: **Hva er kunnskap? Hvordan tilegnes kunnskap?**

Konstruktivisme genererer syn på læring og læringsprosessen som har konsekvenser for undervisning, og den genererer syn på hvordan vitenskapelig kunnskap oppstår og utvikler seg. Konstruktivisme er ikke én læringsteori eller én teori for undervisning. Til det er den alt for generell. Konstruktivisme er en slags overordnet idé på det filosofiske plan. Det konstruktivistiske læringssynet kan betraktes som en motpol til behaviorisme. Behaviorisme konsentrerer seg om den rent observerbare atferd og ser bort fra alle modeller av hva som foregår inne i hodet på folk. Behavioristene betrakter dermed elevene som objekt, ikke som subjekt. I et konstruktivistisk perspektiv derimot, betraktes eleven som subjekt med ansvar for sin egen læring.

Grunnprinsippene i konstruktivismen er ifølge Ernst von Glasersfeld:

1. *Kunnskap mottas ikke passivt, men bygges aktivt opp av det tenkende subjekt. Kunnskap er altså et resultat av menneskets mentale aktivitet.*
2. *Ervervelse av kunnskap er en tilpasningsprosess der individet organiserer sine sanseinntrykk slik at de passer i forhold til dets erfaringsverden. Erkjennelse er ikke en oppdagelse av en ontologisk<sup>2</sup> virkelighet.*

En akseptering av det første punktet omtales som **triviell konstruktivisme**. En akseptering av også det andre punktet kaller von Glasersfeld **radikal konstruktivisme**. I en radikal fortolkning kan en hevde at ikke bare vår kunnskap om virkeligheten er konstruert, men også selve virkeligheten. De fleste tilhengere av konstruktivisme går nok ikke så langt.

Teoriene til den amerikanske læringspsykologen David P. Ausubel har også bidratt til utviklingen av et konstruktivistisk perspektiv på læring. Meningsfull læring knyttes til eksisterende kunnskap. Nytt stoff og allerede etablert kunnskap tilpasses hverandre. Det eleven allerede vet er den viktigste faktoren som influerer læring. Ausubel har uttrykt det slik i sin ofte siterte tese:

*If I had to reduce all of educational psychology just to one principle, I would say this: the most important single factor influencing learning is what the learner already knows. Ascertain this and teach him accordingly.*

Ikke minst har arbeidene til Rosalind Driver<sup>3</sup> gitt vesentlige bidrag til et konstruktivistisk syn på læring. Hun forsøker å gi lærere i naturfagene en forståelse for hvordan elever tenker og hvilke vanskeligheter de har med å forstå de mer abstrakte

<sup>2</sup> Ontologi er gresk og betyr læren om alle tings vesen og sammenheng

<sup>3</sup> Rosalind Driver fra England er fysiker og naturfagdidaktiker

ideene som de blir presentert for. Et av Drivers hovedpunkter er at lærere i naturfagene må erkjenne og forholde seg til **alternative forestillinger** som elevene bringer med seg til skolen.

### 2.2.2 Alternative forestillinger

Elevene bygger altså opp begreper og forståelse gjennom erfaring, og det kan føre til alternative forestillinger. Det er forestillinger som ikke passer med begreper og teorier vi som naturvitere har, og det viser seg å være vanskelig å rydde dem av veien. Kortfattet kan vi si at for alternative forestillinger gjelder:

- De er fornuftige sett fra elevenes side
- De bygger på erfaring
- De kan på et vis forstås
- De deles av mange
- De er motstandsdyktige overfor undervisning

Forholdet mellom vitenskapelige begreper og hverdagslige erfaringer utgjør et sentralt poeng. Teoretiske begreper utvikles ikke fra umiddelbare erfaringer, like lite som de refererer direkte til slike erfaringer. Galilei, f. eks., utviklet sin vitenskap i opposisjon til den tids aristotelisme. Både Galilei og Aristoteles bygde på erfaringer, men det var forskjellige typer erfaring de bygde på. Ved studier av bevegelse bygde Aristoteles på erfaringer han fikk gjennom observasjoner av naturen. Galilei bygde derimot på den erfaring han fikk ved å gjøre kontrollerte, systematiske og reproduerbare eksperimenter. Men Galilei idealiserte eksperimentbetingelsene, og dermed oppnådde han at jo mer han lyktes i å forbedre eksperimentene, jo mer fjernet han seg fra den konkrete virkelighet.

Det er med andre ord få som vil kunne lære f. eks. newtonsk mekanikk fra hverdagslige erfaringer. «Virkeligheten» oppfører seg tilsynelatende ikke-newtonsk.

Rosalind Driver fremhever at studier av elevideer eller alternative forestillinger om naturfaglige fenomener tyder på at det er felles trekk ved dem som kan kartlegges og beskrives. Hun oppsummerer et konstruktivistisk syn på læring slik:

1. *Learning outcomes depend not only on the learning environment but also on the knowledge of the learner*
2. *Learning involves the construction of meanings. Meanings constructed by students from what they see or hear may or may not be those intended. Construction of meaning is influenced to a large extent by our existing knowledge*
3. *The construction of meaning is a continuous and active process.*
4. *Meanings, once constructed are evaluated and can be accepted or rejected.*
5. *Learners have the final responsibility for their learning.*
6. *There are patterns in the types of meanings students construct due to shared experiences with the physical world and through natural language.*

### 2.2.3 Metakognisjon

I den konstruktivistiske tradisjonen blir betydningen av evnen til å se på sin egen læring og sin egen lærings situasjon i et metaperspektiv ofte fremhevet. Det innebærer å ha et bevisst forhold til spørsmål av typen:

- Hva lærer jeg om?
- Hvorfor lærer jeg om dette?
- Hva er målet? Hvordan kan jeg nå målet?
- Hva har jeg lært?

Denne typen tenkning og refleksjon er viktig for å fremme læring. Dessuten er refleksjon over selve lærestoffet og refleksjon over læringsprosessen nært knyttet til hverandre. I et slikt metaperspektiv blir også lærerens refleksjon over egen undervisning viktig.

### 2.2.4 Konstruktivisme og undervisning

Det er utvilsomt rom for svært ulike tolkninger av hva som er konstruktivistiske prinsipper, og ikke minst hva som er undervisningsmessige konsekvenser. Men til tross for at konstruktivismen kan fremstå som noe diffus, har den hatt stor betydning som en bredt akseptert teori innenfor det naturfagdidaktiske fagfeltet. Kanskje nettopp på grunn av denne åpenheten der ulike syn kan integreres, er noe av svaret på hvorfor konstruktivisme har hatt slik suksess. Konstruktivisme har utvilsomt muliggjort en økende innsikt i elevers ideer og begreper. Men det er ikke gjort like store fremskritt når det gjelder undervisningsmessige konsekvenser.

Det er naturligvis reist kritikk mot konstruktivisme som epistemologisk teori. Noen vil hevde at konstruktivisme i beste fall bare er sunn fornuft. Konstruktivisme er svært generell, nærmest bare en idé på det filosofiske plan. Den gir ingen anvisninger på hva som er «konstruktivistisk undervisning». Dessuten dreier mye av kritikken mot konstruktivisme seg om den sterke fokuseringen på den enkelte og den individuelle konstruksjonsprosessen, og dermed en neglisjering av den sosiale dimensjonen i en læringsprosess.

Selv om konstruktivisme, og spesielt konsekvensene av den, kan forstås eller tolkes ulikt, gir den en ramme å arbeide innenfor. Til tross for kritikken som er fremkommet, settes det ikke spørsmålsteget ved ideen om at kunnskapstilegnelse kan betraktes som en konstruksjon, og at læring er en aktiv prosess.

Konstruktivismen gir med andre ord oss som lærere en teoretisk ramme om vår virksomhet. En slik bevisstgjøring kan i seg selv virke positivt inn på undervisningen. Dessuten kan en slik teoriramme som har vist seg å fungere for mange, vise mindre intuitivt «konstruktivistiske» lærere en måte å forbedre undervisningsmetoder på. Vi kan kanskje si at konstruktivisme støtter en form for interaktiv, antidogmatisk og engasjerende undervisning som utvikler kritisk sans og forståelse.

Undervisning i tråd med et konstruktivistisk lærings syn, kan oppsummeres i følgende punkter:

- Undervisningen må ta hensyn til elevenes erfaringer, deres eksisterende kunnskaper og teorier.
- Læreren bør prøve å danne seg et bilde av elevenes forestillinger.
- Elevene bør hjelpes til å bli bevisst sin egen måte å tenke på.
- Elevene bør formulere forventningene sine.
- Elevenes teorier bør utfordres gjennom eksperimenter og diskusjoner.
- Elevene bør stimuleres til å sette nytt stoff i sammenheng med sin eksisterende kunnskap og sine erfaringer fra hverdagen.

### 2.2.5 Eksempler fra TIMSS<sup>4</sup>

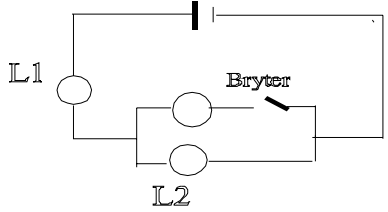
TIMSS (The Third International Mathematics and Science Study) er en internasjonal komparativ studie i matematikk og naturfag. Et hovedmål for TIMSS er å finne fram til faktorer som fremmer læring i realfag. Det ble bl a gitt faglige tester til elevgrupper på forskjellige alderstrinn. Elever som hadde valgt fysikk fordypning siste året i videregående skole (i Norge 3FY), var en slik gruppe. Analyser av resultatet fra TIMSS-testen kan gi oss verdifull kunnskap om elevers forestillinger og elevers tenkning om sentrale begreper og fenomener i fysikk. I de to følgende eksemplene er analysene basert på norske elvers svar.

#### Eksempel 1

Først skal vi analysere en oppgave en oppgave som handler om relativt enkel elektrisk krets. Oppgaven er typisk 2FY-oppgave i elektrisitetlære. Dette er ikke stoff som prøves til eksamen i 3FY, og representerer dermed områder av fysikken som elevene som deltok i TIMSS-testen, normalt ikke hadde vært borte i på vel et år. Oppgaven representerer imidlertid svært sentrale områder av norsk skolefysikk. Elektrisitetlære er sentralt fagstoff både på ungdomstrinnet og 1. klasse i videregående skole.

Oppgaven er gjengitt i følgende ramme.

Tre identiske lamper er koplet i kretsen som vist på figuren. Lampene  $L_1$  og  $L_2$  lyser når bryteren er åpen.



Hvilke forandringer kan observeres i lyset fra de to lampene når bryteren lukkes? Begrunn svaret.

Denne oppgaven ble rettet og rettingen ble kodet etter et spesielt utarbeidet kodeskjema som er gjengitt i neste ramme. Løsningen av oppgaven framgår av kodeskjemaet.

<sup>4</sup> Det blir etterhvert utgitt flere rapporter fra TIMSS-prosjektet. Mer informasjon kan fås ved ILS (Institutt for lærerutdanning og skoleutvikling, UiO). Se også <http://www.ils.uio.no/timss/>



<b>Kodeskjema for oppgaven</b>	
<b>Kode</b>	<b>Svar</b>
<b>Riktig svar</b>	
20	Riktig svar med formelregning <i>Eksempel: Strømmen i kretsen med åpen bryter er <math>I_1 = I_2 = U/2R</math>. Med lukket bryter er <math>I_1' = U/(R+R/2) = 2U/3R &gt; I_1</math>, som betyr at <math>L_1</math> lyser sterkere. Dessuten er <math>I_2' = I_1'/2 = U/3R &lt; I_2</math>, som betyr at <math>L_2</math> lyser svakere.</i>
21	Riktig svar med begrunnelse uten formelregning. <i>Eksempel: Med lukket bryter avtar den totale resistansen på grunn av parallellkoplingen. Totalstrømmen øker og <math>L_1</math> lyser sterkere. Spenningen over <math>L_1</math> øker og spenningen over parallellkoplingen avtar. Dermed lyser <math>L_2</math> svakere.</i>
<b>Delvis riktig svar</b>	
10	Som kode 21, men mangelfull begrunnelse for at $L_2$ lyser svakere.
11	$L_1$ lyser sterkere på grunn av mindre resistans. Ingenting eller feil om $L_2$ .
<b>Ikke riktig svar</b>	
70	$L_1$ blir uforandret og $L_2$ lyser svakere, fordi strømmen er konstant og deler seg ved parallellkoplingen.
71	Begge lampene vil lyse svakere fordi ny lampe skal også lyse/mer resistans i kretsen/samme spenning skal drive en lampe til.
72	$L_1$ lyser svakere. Ingenting eller feil om $L_2$ .
79	Andre ikke riktige svar
99	Ikke svart

Rettingen gav resultatet som er gjengitt i følgende tabell.

<b>Oppgave</b>		
Kode	Frekvens	Prosent
20	2	1,2
21	5	3,0
10	7	4,2
11	15	9,0
70	69	41,3
71	27	16,2
72	4	2,4
79	33	19,8
Ikke svart	5	3,0
	-----	-----
Total	167	100,0

Elever som har fått kodene 20 eller 21, som det riktignok er få av, viser, etter nærmere undersøkelser, en svært høy gjennomsnittskåre på hele testen. Det er altså meget gode elever som får denne oppgaven helt riktig. Det samme gjelder i litt mindre grad for dem

som har fått kode 10 eller 11. Kode 70 er det i gjennomsnitt de noe svakere elevene som får, mens kode 71 er gitt til elever som har nokså gjennomsnittlig totalskåre. Det er ganske mange som har vanskelig tolkbare svar, eller svar som ikke passer inn i noen kategori. Omtrent 20 % er kodet 79.

Her er det imidlertid nødvendig med noen kommentarer til kodeskjemaet og rettingen. Kode 70 inneholder for såvidt et riktig resultat, nemlig at L2 vil lyse svakere. Mange begrunner det med at strømmen må dele seg når det blir en parallellkopling, noe som også i og for seg er riktig. Men helheten i resonnementet er galt. Poenget er at strømmen ikke er konstant, men at den øker. Dermed blir premissen for et "riktig" svar for L2 gal. Derfor er heller ikke disse svarene belønnet med poeng.

Resultatet av rettingen, og kodingen, er tankevekkende. Det er 40 % som svarer at L1 lyser like sterkt og at L2 lyser svakere med begrunnelsen at strømmen er konstant. Det er jo også riktig at strømmen er konstant i den forstand at det er samme strømmen som går ut og inn fra batteriet i en sluttet krets. Men her foretas det endringer i kretsen, og da holder ikke strømmen seg konstant. Det er meget tydelig at forestillingen om at noe skal være konstant er tilstede. Det er i og for seg ikke så rart. Det er jo et grunnleggende prinsipp i fysikken at vi er interessert i invariante størrelser. Bevaringslover utgjør som kjent et viktig fundament i fysikken. Men her bærer det galt avsted. Det er batterispenningen (elektromotorisk spenning) som er konstant. Det er grunn til å påpeke den massive oppslutningen elevene viser om forestillingen om konstant strøm.

16 % av svarene er kodet 71. Det vil si svar som inneholder forestillingen om at når en ny lampe koples inn i kretsen må det føre til at begge lampene lyser svakere. Begrunnelsen blir formulert litt forskjellig, men kjernen i resonnementet inneholder noe om økt resistans eller flere lamper som skal ha strøm (eller spenning) for å lyse.

Når det gjelder de svarene som er kodet 20 eller 21, er det først og fremst påfallende hvor få det er. Det er f. eks. bare 2 elever som gjennomfører et korrekt resonnement der de bruker formelregning i begrunnelsen. De som er kodet 21 har som det fremgår av kodeskjemaet, begrunnet svarene med at resistansen i parallellkoplingen blir mindre, dermed går det mer strøm gjennom L1, som dermed lyser sterkere. Det betyr også at spenningen over L1 øker, og at spenningen over parallellkoplingen avtar. Resonnementet for at L2 lyser svakere er dermed fullstendig for disse elevene.

De svarene som er kodet 10, er som oftest ganske like de som er kodet 21. Forskjellen består i at her er det en ufullstendig begrunnelsen for at L2 lyser svakere, De fleste skriver at strømmen må dele seg i parallellkoplingen. Det er for såvidt riktig, men ikke tilstrekkelig begrunnelse. Her kan det ligge en idé om at strømmen alltid blir mindre når en kopler inn nye lamper i parallell. Slik er det f. eks. **ikke** i det elektriske opplegget i vanlige hus. Koples en ny lampe på en kurs, og det er alltid i parallell, blir ikke lyset svakere i andre lamper av den grunn. Det kommer av at spenningen over parallellkoplingen er konstant. Her vil totalstrømmen øke slik at strømmen gjennom hver lampe ikke endrer seg. Hvis el-opplegget i hjemmet skulle være opphav til intuitive idéer her, burde flere ha svart at lampe 2 lyste uforandret, men det er det svært få som gjør. I oppgavene kompliseres imidlertid forholdene ved at det er en lampe eller motstand i serie med parallellkoplingen. Dermed får en redusert spenning over parallellkoplingen og svakere lys i lampene der.

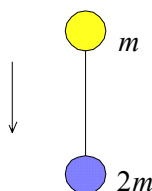
Det er gjort en rekke undersøkelser om elevers forståelse av enkle elektriske kretser. Resultatene fra oppgavene som er analysert her, bekrefter mange tidligere funn om mangelfull forståelse for forskjellen mellom strøm og spenning, manglende klarhet i distinksjoner mellom et mer diffust begrep som “elektrisitet” og energi/strøm osv. Det er dokumentert forestillinger om elektriske kretser som ikke passer med det vi ønsker skal være en naturfaglig forståelse, blant elever i forskjellig aldre og i mange ulike land. På bakgrunn av resultatene som er diskutert foran, viser det seg at til tross for at enkle kretser med parallellkoplinger er pensum på ungdomstrinnet, i 1. klasse videregående skole og i 2FY, er det et betydelig antall elever med 3FY som holder fast på forestillingen om mindre strøm på grunn av flere parallellkoplede motstander i kretsen, eller forestillingen om konstant strøm fra en strømkilde. Dette er åpenbart en forestilling som har stor motstandskraft mot vanlig naturfagundervisning. I den forstand vil mange kalle dette for en typisk alternativ forestilling.

Selv om oppgaver av denne typen tilsynelatende ser enkle ut, inneholder de ganske store vanskeligheter. Lukking av en bryter kan oppfattes som en liten forandring i kretsen, men det får (noe overraskende!) konsekvenser for alle størrelsene (strøm, spenning og resistans), som inngår. Det er en form for “lokal” tenkning i motsetning til en “global”. En “lokal” endring som lukking av en bryter, får konsekvenser for hele kretsen (“global”).

### Eksempel 2

Neste eksempel er hentet fra området mekanikk.

To kuler med masse  $m$  og  $2m$  er forbundet med en lett snor og holdt i ro. Systemet blir sluppet og faller fritt, som vist på figuren.



Hvor stort er snordraget når systemet faller?  $g$  er tyngdeakselerasjonen.

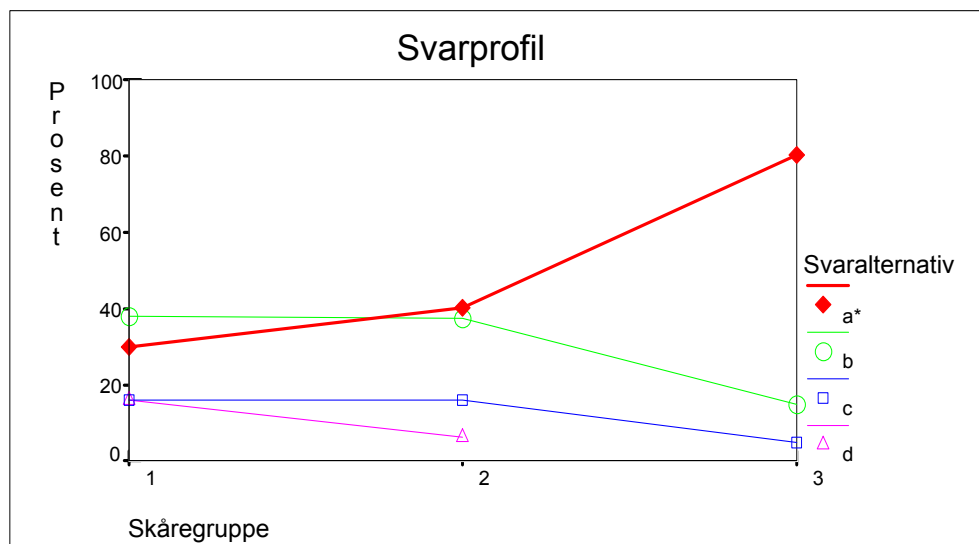
- A. 0
- B.  $mg$
- C.  $2mg$
- D.  $3mg$

De to kulene faller fritt. Det betyr at vi kan se bort fra eventuell luftmotstand. Da faller begge kulene med samme akselerasjon, og snordraget er null.

En kan kanskje si at det er et element av «luring» i denne oppgaven fordi kula med størst masse er plassert nederst. Det er imidlertid 47 % som svarer riktig på oppgaven. Størstedelen (32 %) av dem som svarer feil, velger distraktor b. Det er nok det mest

intuitive alternative svaret. Mange elever resonnerer trolig med at kula med størst masse må dra på den andre med kraften  $mg$ .

I den følgende svarprofilen kommer det fram interessante trekk ved svarene. Her er elevene delt i tre skåregrupper. Skåregruppe 1 er de 25 % svakeste elevene målt etter totalskåre på hele testen. Skåregruppe 2 er de 50 % av elevene som skårer middels, og skåregruppe 3 er de 25 % beste elevene.



*Svaralternativene i prosent fordelt på skåregrupper.*

Det er først blant de beste elevene at det skjer et markert skille i svarfordelingen. I skåregruppe 3 dominerer det riktige svaret (80 % riktig), men selv blant disse elevene er det omtrent 15 % som velger distraktor b, nemlig at snordraget er  $mg$ . De to andre alternativene er det liten eller ingen tilslutning til. I skåregruppe 2 ser vi at det er bortimot like mange (ca 40 %) som krysser av for riktig svar som krysser av for distraktor b. Distraktor c har tilslutning fra 16 % av elevene i denne skåregruppa. I skåregruppe 1 er det faktisk distraktor b som har størst tilslutning (38 %). Begge de andre distraktorene har tilslutning fra 16 %, og det er som vist omtrent 30 % som svarer riktig.

Oppgaven er tilsynelatende enkel, men det er bare blant de beste elevene at kunnskapene er solide nok til at de gjennomskuer problemstillingen. Påtakelig er det også at svarene sprer seg så mye blant middels gode elever i skåregruppe 2.

I en annen undersøkelse har vi gitt en variant av denne oppgaven. Kulene har byttet plass i forhold til oppgaven slik den er gitt i TIMSS. Nå er kula med masse  $2m$  plassert øverst. Dessuten er oppgaven både gitt som flervalgsoppgave og som åpen oppgave der elevene selv må formulere svaret.

På den åpne oppgavevarianten er det 10 % som svarer at snordraget er null med uriktig

begrunnelse. De fleste av disse begrunner det med at den øverste kula er tyngst, og svarene kan tolkes som et uttrykk for den aristoteliske forestilling at tunge steiner faller fortere enn lette steiner (når en kan se bort fra luftmotstanden).

I TIMSS er distraktoren  $mg$  kanskje det mest intuitive svaret. 32 % krysset også av for det svaret. Når kula med tyngden  $mg$  er øverst og kula med  $2mg$  er nederst er det ikke overraskende at ganske mange krysser av for snordraget  $mg$ . Men med kula med tyngden

$2mg$  øverst, blir andelen av elever som svarer  $mg$  mindre, og den blir enda mindre når oppgaven har et åpent format. Det tyder på at spørsmålsstillingen, oppgaveformatet og valg av distraktorer kan ha ganske stor betydning for hvordan elever svarer, og det igjen får konsekvenser for hvordan tolkningene av elevsvarene blir. Her vil vi først og fremst påpeke at endringene i svarfordelingene på disse tre oppgavevariantene, kan være indikasjoner på det vi vil kalle fragmentarisk kunnskap. Med det mener vi at kunnskapen kan ses på som bygget opp av kunnskapselementer som vekkes og kommer til syne under gitte betingelser.

I neste avsnitt vil vi gå nærmere inn på det fragmentariske i motsetning til det konsistente i elevers tenkning.

### 2.2.6 Konsistens i elevtenkning

Innenfor rammen av det som kan kalles det konstruktivistiske paradigmet, er det uten sammenligning undersøkelser og forskning i tilknytning til elevers faglige ideer og forestillinger om forskjellige emner som har dominert de siste 15 - 20 årene. I litteraturen er det brukt en rekke navn eller uttrykk på ideer som avviker fra teoriene til dagens naturvitere. Det er ingen tvil om at det er identifisert en rekke likheter i elevtenkning, og at det er kartlagt en rekke alternative forestillinger eller intuitive ideer som deles av mange i ulike deler av verden. Om forestillingene har rot utenom skolen eller ikke, er ikke så viktig. Derimot er det vesentlige spørsmål knyttet til i hvilken grad elevers ideer synes å være dyptsittende eller ikke, og i hvilken grad slike ideer eller forestillinger synes å ha stor motstandskraft mot undervisning. Og videre kan det reises spørsmål om slike forestillinger eller ideer konstituerer det som kunne kalles naive teorier.

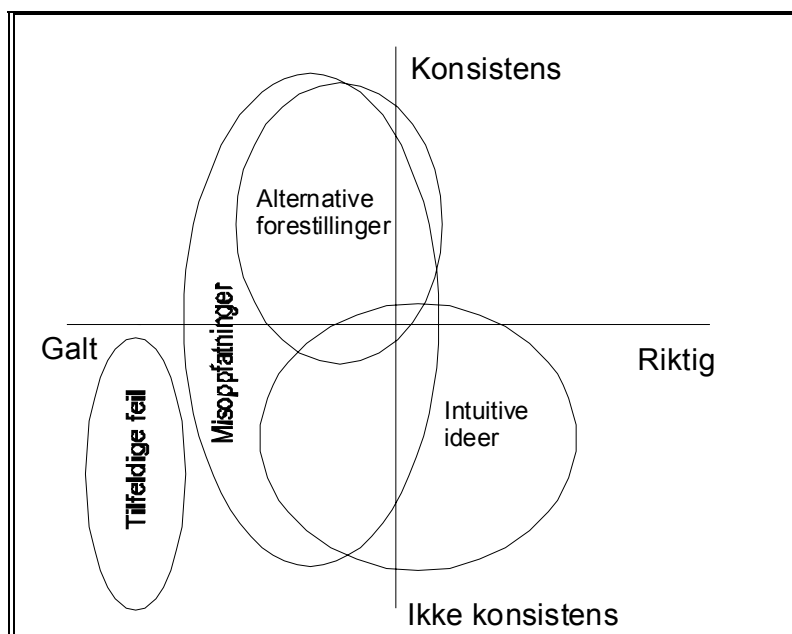
Her vil vi konsentrere diskusjonen omkring to termer. Det er **alternative forestillinger** og **intuitive ideer**. Termen **alternativ forestilling** assosieres med en beskrivelse av elevtenkning der oppmerksomheten rettes mot det gale, men som likevel impliserer en form for **ordnet kunnskapsstruktur**. En alternativ forestilling inngår i et system som utgjør elevens måte å tolke virkeligheten på. Dermed vil alternative forestillinger oppvise en form for konsistens. De deles av mange, og de kommer fram i ulike oppgaver eller problemstillinger. Alternative forestillinger kan riktignok inneholde elementer av noe riktig, men poenget er at fokus rettes mot det gale som elevene må konfronteres med, slik at de kan endre og dermed erstatte sine oppfatninger med korrekte vitenskapelige teorier. Litteraturen er så full av undersøkelser som har til hensikt å avdekke «alternative forestillinger» at det er grunn til å bruke betegnelsen «alternativ forestilling-paradigmet» eller «alternativ forestilling-bevegelsen».

Termen **intuitive ideer** vil vi benytte om elevers ideer som mangler den systematikk som kjennetegner vitenskapelige begreper eller teorier. Det er elevideer som beskrives

som en fragmentert samling forestillinger relativt løst forbundet med hverandre. Elever vil både med bakgrunn i erfaringer utenom skolen og i møte med fysikkbegreper i undervisningen, erverve forestillinger som ofte kan komme til uttrykk som intuitive eller spontane kunnskapselementer. Intuitive ideer kan være gale sett fra en naturviteres synspunkt, men vil ofte inneholde elementer av korrekt tenkning. Oppmerksomheten rettes mot det som er riktig, og som det kan bygges videre på i undervisningen. Dette i motsetning til «alternativ forestilling-paradigmet» som impliserer en undervisningsstrategi der konfrontasjon med alternative forestillinger og deretter en erstatning av disse med korrekte vitenskapelige teorier, er sentral. Intuitive ideer mangler konsistens i forhold til kontekst og mangler stabilitet i forhold til tid. I møte med oppgaver i fysikk vil elever nokså spontant kunne assosiere problemstillingene med noe som ligner, noe de har sett før, men som fører galt av sted i noen tilfeller og riktig i andre.

Slik som disse to termene er karakterisert her, vil alternative forestillinger langt på vei kunne konstituere «naive teorier». Intuitive ideer vil derimot ikke kunne oppfattes eller karakteriseres som teorier i vitenskapelig forstand.

Med forbehold om at andre vil legge vekt på andre aspekter ved begrepene, er det følgende et forsøk på å strukturere noen termer i forhold til dimensjonene riktig/galt og konsistens/ikke-konsistens.



*Alternative forestillinger, intuitive ideer, misoppfatninger og tilfeldige feil illustrert i forhold til de to dimensjonene riktig/galt og konsistens/ikke-konsistens.*

Figuren illustrerer hvordan disse fire begrepene kan oppfattes i forhold til hverandre og i forhold til dimensjonene riktig/galt og konsistens/ikke-konsistens. **Tilfeldige feil** er definitivt gale. Det er f.eks. regnefeil e.l. og er uten særlig interesse. **Misoppfatninger**

er i hovedsak gale forestillinger og blir brukt uten særlig skarpe avgrensinger.

**Alternative forestillinger** plasseres i hovedsak i området for gale, konsistente ideer.

**Intuitive ideer** er hovedsakelig ikke-konsistente forestillinger som kan inneholde betydelige innslag av korrekte oppfatninger. En viss overlapping i figuren markerer at grensene er uskarpe selv om distinksjonene mellom begrepene kommer klart fram.

Felles for disse begrepene, bortsett fra de tilfeldige feilene, er at de er uttrykk for elevers ideer som ofte er dyptsittende, at de deles av mange, og at de ofte er vanskelig å endre gjennom undervisning. Termen «alternative forestillinger» kan her oppfattes som en representant for alle termer som inneholder elementer av stabile, konsistente og i hovedsak gale forestillinger. Intuitive ideer beskriver derimot elevideer som ikke er konsistente, men som ofte inneholder elementer av korrekte forestillinger. Alternative forestillinger assosieres gjerne med ideer elevene har fått gjennom erfaringer utenom skolen. Intuitive ideer, slik som det brukes her, kan både være forestillinger basert på erfaringer utenom skolen og i møte med begreper og fenomener i undervisningen. Intuitive ideer kan også ha elementer av uferdige forestillinger i seg, eller former for mellomstadier i begrepsutviklingen.

Mange undersøkelser viser at intuitive ideer er ganske robuste, og at de forandrer seg relativt lite til tross for flere år med fysikkundervisning. Men selv om slike intuitive ideer utvilsomt eksisterer, kan det stilles mange temmelig grunnleggende spørsmål om hvordan en skal tolke og forholde seg til dem.

Med andre ord, en må kunne akseptere at elever (og andre) har begreper og forståelse av fenomener som ikke er i overensstemmelse med dagens vitenskap, men som likevel kan være verdifulle i hverdagslivet. Imidlertid må det også fremheves at i andre sammenhenger er det bare mer vitenskapelig begreper som kan bidra til en tilfredsstillende forståelse, og som kan medvirke til hensiktsmessig virksomhet. Mange elever holder fast ved sine alternative forestillinger fordi de har vist seg nyttige i visse sammenhenger. (Heller ikke såkalte eksperter, eller lærere, er alltid fri for alternative forestillinger!). Ved å ikke akseptere begreper eller oppfatninger som har vist seg nyttige og som stadig blir "bekreftet" av dagligdagse erfaringer, kan en gjøre det vanskelig for naturfag/fysikk-elevne å kommunisere med andre mennesker i dagligdagse situasjoner.

Vi vil hevde at **intuitiv fysikk** ikke er en konsistent teori, men at intuitiv fysikk er en fragmentert samling av ideer. Intuitiv fysikk blir dermed sett på som bestående av et stort antall fragmenter, og ikke som et lite antall integrerte strukturer som kan kalles «teorier». Kjernen her er at elever ikke bygger opp konsistente «teori-teorier», men at enkeltelementer kommer til syne under ulike forutsetninger, og at disse enkeltelementene er et bedre utgangspunkt for å vurdere og forstå elevtenkning enn mer tradisjonelle «alternativ forestillinger». Og ikke minst er det essensielt at en må bygge på disse intuitive ideene når en i undervisningen skal gi elever muligheter til å forstå sentrale fysiske fenomener og begreper.

### 2.2.7 Intuitiv fysikk og impetusteorien

Det som nevnt i kapittel 2, flere som har påpekt likheten mellom elevers intuitive ideer og forklaringer og teorier til tidligere generasjoners filosofer og naturvitere. Her følger et eksempel som klare historisek paralleller.

Impetus-teorien ble utviklet på 1300-tallet og var en reaksjon på Aristoteles bevegelseslære. Impetus-teorien forklarer fri bevegelse av legemer ved hjelp av en intern "kraft" som kalles impetus. Vertikalt kast av en ball er et godt eksempel. Den interne "kraften" kommer fra kasteren, kraften (altså impetus) bevares inne i ballen en tid og dør så sakte ut. På toppen av banen er kraften nøyaktig balansert av gravitasjonen. Gravitasjonen tar så over for den oppadrettede kraften, og ballen faller nedover. Det er rapportert en rekke slike impetusforestillinger. Med det menes altså at elever i visse tilfeller kan uttrykke forestillinger som langt på vei er i overensstemmelse med en slik impetus-teori.

Men det er ikke sikkert at en slik impusteorier utgjør en helhetlig teori for elevene. En kan f.eks analysere det vertikale kastet i lys av mer eller mindre fragmenterte kunnskapselementer. Den delen av kastet der hånden til kasteren er i kontakt med ballen og er uproblematisk fra et intuitivt synspunkt. Derimot er det et problem knyttet at ballen går oppover mens gravitasjonen skulle trekke den ned igjen. Hvordan ballen på en måte kan bevege seg "uavhengig" av gravitasjonen, må det finnes forklaring på, og forklaringen ligger i selve kastet. Det har skjedd en overføring eller en form for kommunikasjon fra kasteren. Toppen av banene kan tenkes som en form for likevektstilstand. Dessuten er det en vanlig erfaring at all indusert bevegelse dør ut. Bevegelsen oppover dør med andre ord ut, og gravitasjonen overtar. Vi kan altså hevde at det **ikke** er en systematisk og koherent teori (her impusteorier) som beskriver intuitiv fysikkforståelse, men mer eller mindre uavhengige kunnskapselementer.

Forestillingen om en "iboende" kraft som får et legeme til å bevege seg, er galt sett fra en fysikers synspunkt. Men forestillingen inneholder likevel noe riktig. Det "iboende" som et legeme kan ha, er bare ikke **kraft**, men **bevegelsesmengde**. Med andre ord kan det tenkes at impetusforestillinger ikke bør utrykkes, men snarere utvikles til å omfatte naturvitenskapelig kunnskap.

En kan si at det går en utvikling fra å se på misoppfatninger av begreper eller fenomener som det gjelder å utrykke, til å betrakte elevideer mer som alternative forestillinger eller intuitive ideer som på mange måter kan eksistere parallelt med vitenskapelige teorier og begreper, og som en kan bygge på.

Med andre ord, en må kunne akseptere at elever (og andre) har begreper og forståelse av fenomener som ikke er i overensstemmelse med dagens vitenskap, men som likevel kan være verdifulle i hverdagslivet. Imidlertid må det også fremheves at i andre sammenhenger er det bare mer vitenskapelig begreper som kan bidra til en tilfredsstillende forståelse, og som kan medvirke til hensiktsmessig virksomhet. Mange elever holder fast ved sine alternative forestillinger fordi de har vist seg nyttige i visse sammenhenger. (Heller ikke såkalte eksperter, eller lærere, er alltid fri for alternative forestillinger!). Ved å ikke akseptere begreper eller oppfatninger som har vist seg nyttige og som stadig blir "bekreftet" av dagligdagse erfaringer, kan en gjøre det vanskelig for naturfag/fysikk-elevne å kommunisere med andre mennesker i dagligdagse situasjoner. Energibegrepet er et godt eksempel. Hvis en klarte å erstatte elevens alternative forestillinger av energibegrepet (det ville sannsynligvis ikke være mulig!) med en akseptabel vitenskapelig forståelse, ville det føre til noe merkelig. Elevene ville ikke lenger kunne forstå dagligtale om energi, om energiforsyning eller energipolitikk!



### 2.2.8 Fysikkforståelse og forklaringer i fysikk

Vi har vært inne på problemstillinger knyttet til spørsmålet om hva er forståelse i fysikk. Her vil vi gå litt videre og stille spørsmålet: «Hva mener vi med en forklaring i fysikk?» Mange fysikklærere har utvilsomt fått (eller har stilt!) spørsmål om **hvorfor** f. eks. en stein faller til bakken hvis den slippes, eller **hvorfor** månen går i bane rundt jorda. En kan selvsagt si at begge disse fenomenene skjer fordi det virker gravitasjonskrefter, og en kan henvise til Newtons lover. Men er det en **forklaring**? Med forklaring kan en mene beskrivelsen av hvilke krefter som virker, hvilke lovmessigheter eller naturlover som en kan anvende for dette fenomenet, og hvilke prediksjoner en på dette grunnlaget kan gjøre. Det betyr at en kan beregne kastebaner eller månebanen, og en kan forutsi bevegelsene ut fra gitte begynnelsesbetingelser. Problemet er at en fortsatt bare beskriver fenomenene, og at en egentlig forsøker å besvare spørsmålet om **hvordan** steinen eller månen beveger seg. Det er lett å se at spørsmålene «**hvorfor**» fort fører til nye spørsmål. Et eksempel med spørsmål og svar kan illustrere dette poenget:

*Hvorfor faller en stein mot bakken?*

*På grunn av gravitasjonskrefter som virker fra jorda på steinen.*

*Hvorfor virker det gravitasjonskrefter?*

*Fordi jorda og steinen har masse og masser tiltrekker hverandre.*

*Hvorfor tiltrekker masser hverandre?*

*Det er fordi de vekselvirker med vituelle partikler som kalles gravitoner.*

*Men hvorfor foregår det en slik vekselvirkning? Hvordan "vet" massene om hverandre?*

Og slik kan en selvsagt fortsette.

En får med andre ord ikke svar på spørsmålet om **hvorfor** ting skjer, men en kan få svar på spørsmålet om **hvordan**! Og det er et helt sentralt aspekt ved fysikken. Det er lett å stille spørsmål om **hvorfor** når en egentlig mener **hvordan**. Når en drøfter spørsmål om hva som er en forklaring, hva som er forståelse og om hva som er kunnskap eller kompetanse i fysikk, er det viktig at slike nyanser kommer fram.

I en artikkel fra 1986 skriver Driver og Bell:

*In the educational press recently a scientist, reflecting on the task of teaching of science in schools, remarked, "science is about the real world and what could be easier than that". But is science about the real world? In a sense it is, but it is about a great deal more than that. It is about ideas, concepts and theories used to interpret the world.*

Driver og Bell peker på noe sentralt her, og mye av artikkelen deres går med til å gi eksempler på hvordan tilsynelatende enkle fenomener er vanskelig både å forstå og forklare. Problemet blir til og med enda mer presserende når vi behandler fysiske fenomener på 2FY/3FY-nivå der det stilles større krav til "nivået" på forklaringer enn på lavere skoletrinn. I skolefysikken er det vanlig å forenkle fenomener for å få fram grunnleggende prinsipper og lovmessigheter. F. eks. studerer vi bevegelser uten friksjon, kast uten luftmotstand osv. Men på den måten fjerner en seg også fra "virkeligheten". Et lett papirark og en blykule faller svært forskjellig mot bakken på

grunn av ulik virkning av luftmotstanden. I skolefysikken ser vi ofte bort fra fenomener som luftmotstand for at regningen skal bli enkel.

I boka «*Improving Science Education*» fra 1995 har Reinders Duit og David Treagust skrevet en artikkel der de bl a tar opp spørsmålet om forståelse i naturfag. De skriver ganske treffende:

*Students are often in full command of science terminology, and for example, might be able to provide the names of animals and plants, to write down the Schroedinger equation without any difficulties, or to provide key examples when presented with formulas. However, there very often is no deep understanding behind the facade of stored factual knowledge. Understanding, as we use the term here, includes an awareness of the basic qualitative ideas in which the facts and formulas are embedded and the ability to employ that knowledge in new situations. In this context, mere retrieval of stored items from memory does not indicate understanding.*

### 2.3 Oppsummering

Vi argumenterer for et syn på elevtenkning som innebærer at undervisningen bør bygge på elevers forestillinger, i motsetning til en konfrontasjonsmodell der alternative forestillinger søkes erstattes av korrekte vitenskapelig forestillinger. Med andre ord er det essensielt å bygge på elevenes eksisterende kunnskaper og forestillinger, eller elementer av korrekte ideer der kontinuitet fra fragmentarisk ustrukturert kunnskap til mer systematisk vitenskapelig forståelse er sentralt. Forbruk av elektrisk strøm, der begrepet strøm kan omfatte et uklart energibegrep, er et godt eksempel på at intuitive ideer kan danne utgangspunkt for ny forståelse.

Innenfor det konstruktivistiske paradigmet legges det avgjørende vekt på at læring er en aktiv prosess som foregår hos hver enkelt elev. Det betyr ikke en underkjennelse av lærerens betydning. Det blir ofte sagt at lærerens rolle blir som en tilrettelegger og inspirator. En lærers kunnskap om og forståelse av elevers intuitive ideer, blir nødvendigvis temmelig avgjørende i dette perspektivet. Læreren må kjenne til, og kunne diagnostisere, «vanlige» intuitive ideer. Med andre ord må læreren kunne utnytte og bygge på elevers eksisterende kunnskap og eventuelle intuitive ideer i den forstand at **læreren** i et mangfold av undervisningsstrategier **selv** kan **bestemme** og **begrunne** sine valg.

### 3. Begrepsapparatet i fysikk

I fysikkens beskrivelse av naturen gjør vi bruk av fysiske størrelser, likninger, lover, hypoteser, modeller og teorier. Dette begrepsapparatet gjør at vi kan utforske, beskrive og kommunisere om naturens fysiske egenskaper. Det er viktig at fysikkelevne får kjennskap til det naturvitenskapelige begrepsapparatet. I læreplanen for fysikk i videregående skole heter det i Mål 1:

*Elevene skal ha kunnskaper om bruk av modeller, hypoteser og teorier i fysikken.*

#### 3.1 Fysiske størrelser

Når vi beskriver naturen kvantitativt, arbeider vi med størrelser som kan måles. Målbare størrelser som lengde, tid og energi kaller vi **fysiske størrelser**. For hver størrelse har vi en eller flere målenheter.

SI-systemet (av fransk: "Système International d'Unités") er et internasjonalt enhetssystem basert på sju grunnenheter. Alle andre enheter i fysikken er sammensatt eller avledet av disse grunnene. SI-systemet er metrisk.

#### 3.2 Bruk av modeller i fysikkundervisning

Både i vitenskapsfaget fysikk og i fysikkundervisningen brukes modeller. Når vi bruker modeller i undervisningen, er det viktig å være oppmerksom på at modellen som er ment å være til hjelp for forståelsen, ofte også kan lede til misforståelser. Mens enkelte sider ved en modell ofte stemmer godt overens med den virkelige situasjonen, kan andre sider gi feilaktige assosiasjoner for elevene. En modell er hverken riktig eller gal, men kan være mer eller mindre egnet til å belyse fysiske fenomener. Modeller har alltid sine begrensninger.

##### 3.2.1 Modelltyper

Modeller som benyttes i naturvitenskap kan deles inn i noen hovedkategorier. For enkelte vanlig brukte modeller i fysikkundervisning kan det likevel være vanskelig å avgjøre hvilken kategori modellen tilhører.

##### Skalamodeller

En skalamodell har likhet med et fysisk objekt, et system eller en prosess i en bestemt målestokk. Skalamodeller kan noen ganger være mindre enn det de skal illustrere som for eksempel en skalamodell av planetsystemet. Andre ganger kan en bygge eller tenke seg skalamodeller som forstørrer et system som når en sammenlikner et atomkjerne med for eksempel en appelsin og så beregner modellstørrelsen til hele atomet.

Skalamodeller har gjerne en "riktig" målestokk for enkelte egenskaper, mens andre egenskaper ikke vil være gjengitt i korrekt forhold. Ser vi for eksempel på et modellfly, kan de geometriske dimensjonene stemme med det virkelige flyet, mens forholdet mellom masse og vingareal ikke nødvendigvis er korrekt. Når vi lager tegninger eller andre grafiske bilder av et fysisk system, kan bildet ses på som en skalamodell.

### **Analogimodeller**

En analogimodell er et objekt, et system eller en prosess hentet fra et område vi gjerne er godt kjent med som har viktige likhetspunkter med det “originale” systemet som vi ønsker å studere. Et eksempel på en vanlig brukt analogimodell er å sammenlikne en vanlig likestrømskrets med et vannrørsystem med pumpe, forgreninger, innsnevring osv. På viktige punkter finner vi da en korrespondanse mellom modellen og systemet vi ønsker å anskueliggjøre. Et annet eksempel på en analogimodell kan være å sammenlikne lys med vannbølger.

Når vi gjør bruk av analogimodeller i fysikk, er det viktig å skille mellom positiv, negativ og nøytral analogi. Positiv analogi er de egenskapene ved modellen som passer overens med det virkelige systemet, mens negativ analogi er egenskaper ved modellen som vi vet ikke passer overens med systemet. Dersom vi ikke vet om en egenskap ved modellen korresponderer med egenskaper hos systemet, sier vi at analogien er nøytral. En slik nøytral analogi kan gi ideer til videre undersøkelser. I undervisningen kan det være uheldig å bare fokusere på de positive analogiene. Dersom en ikke også diskuterer de negative analogiene ved modellen, kan elevene komme til å tro at modellen er gyldig også på områder hvor den i virkeligheten ikke passer.

### **Matematiske modeller**

En matematisk modell kjennetegnes ved at en fysisk prosess blir beskrevet ved hjelp av en matematisk likning. For eksempel er likningen  $F = kv^2$  en matematisk modell av luftmotstanden på et legeme. Hvert symbol i likningen korresponderer med en fysisk størrelse. En slik matematisk modell er enklere og mer abstrakt enn det virkelige fysiske systemet. Vanligvis må det virkelige systemet oppfylle bestemte betingelser for at den matematiske modellen skal være riktig. Dersom et fallende legeme ikke har en bevegelse som passer med likningen  $s = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ , er det ikke noe “galt” verken med det fysiske systemet eller med den matematiske modellen. Men det fallende legeme oppfyller ikke de betingelsene som modellen gjelder for.

#### **3.2.2 Undervisning om modeller?**

Det er ikke uvanlig at elevene ikke klarer å skille mellom modell og virkelig system. Betingelsene for at en modell skal ha gyldighet kan fort bli glemt og modellen kan bli anvendt på egenskaper ved systemet hvor den ikke er gyldig. Det kan kanskje være til hjelp å gi elevene litt undervisning om modellens generelle egenskaper. En annen ide er å la elevene møte eksperimentelle situasjoner hvor de kan foreslå og prøve ut egne modeller.

#### **3.2.3 Teorier**

Hva er forskjellen på en teori og en modell? Noen ganger brukes disse begrepene om hverandre. Ofte kan en modell være forholdsvis enkel, med en struktur som likner på fenomenet den skal illustrere. En teori er derimot mer omfattende, og kan gi mulighet til å løse problemer fra et vidt felt, ofte med matematisk presisjon.

Den spesielle relativitetsteorien, som bygger på to kortfattede og konsise grunnsetninger eller postulater, er et eksempel som viser viktige sider ved fysiske teorier. Med utgangspunkt i postulatene kom Einstein fram til konklusjoner som forandret vår oppfatning av tid, rom og energi. Teorien kunne forklare en rekke eksperimentelle

observasjoner og forutsi hva som vil hende i forsøk hvor partikler hadde fart opp mot lysfarten.

Ofte kan en rekke fenomener beskrives ved flere teorier. For eksempel vil eksperimenter i mekanikk ved moderate farter kunne beskrives både av Newtons mekanikk og av relativitetsteori.

Når en modell blir utviklet og modifisert slik at den blir tilpasset eksperimentelle resultater fra flere fysiske fenomener, kan den etterhvert bli til en teori. Atomteorien og bølgeteorien for elektromagnetisk stråling er eksempler på dette. Det er viktig å ikke blande sammen en modell eller en teori med det virkelige systemet eller fenomenet vi studerer. I naturvitenskap bruker vi begrepet teori om vår mest etablerte kunnskap. Teorien er selve rammeverket for det vi kan si vi vet. I vanlig språkbruk brukes derimot ordet teori ofte om løst funderte antakelser, som når en person for eksempel sier: «Jeg har en teori om at det blir mye snø til vinteren». Det at begrepet teori brukes på så ulike måter, kan skape misforståelser.

### 3.2.4 Lover

I naturvitenskap bruker en betegnelsen **lov** om presise formuleringer som fastslår regelmessigheter i naturen. Lovene har ofte gyldighet for et vidt spekter av fenomener. Energibevaringsloven er et eksempel på dette. Ofte kan en lov formuleres som en relasjon mellom fysiske størrelser. I Newtons 2. lov,  $F = ma$ , er en slik relasjon uttrykt ved en likning.

En lov må vise seg å være i overensstemmelse med eksperimenter over et vidt område. Loven uttrykker ofte en felles egenskap ved mange observasjoner.

Naturvitenskapelige lover er forskjellige fra politiske lover. Politiske lover er foreskrivende, de forteller oss hvordan vi bør oppføre oss. Naturvitenskapelige lover er derimot **deskriptive**, de sier ikke hvordan naturen burde være, men er ment å uttrykke noe om hvordan den virkelig er.

Vi kan aldri få testet fysikkens lover og teorier i alle de uendelig mange tenkelige tilfeller. Vi kan derfor ikke være sikre på at en lov er ufravikelig korrekt. Vi bruker betegnelsen lov når validiteten er blitt testet over et stort spekter av tilfeller, og når begrensningene er klarlagt. Selv da kan det vise nødvendig å modifisere eller forkast en lov etterhvert som en får nye informasjonen og kunnskaper.

Forskere arbeider normalt ut fra forutsetningen om at etablerte lover og teorier er holdbare. Men de kan likevel aldri se bort fra at ny informasjon kan endre gyldigheten til en gitt lov eller teori.

### 3.2.5 Likninger

I fysikk gjør vi bruk av matematiske uttrykk gjerne i form av likninger. Mange likninger er lover skrevet med matematiske symboler.

En likning kan være uttrykk for en  
- definisjon (F. eks.:  $E = F/q$ )

- grunnleggende side ved naturen (F. eks.:  $F = \gamma m_1 m_2 / r^2$ )
- eksperimentelt påvist sammenheng med begrenset gyldighet (F. eks.:  $U = RI$ )
- matematisk modell (F. eks.:  $s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ )

### 3.2.6 Hypoteser

Ofte gjør forskere antakelser som siden prøves ut eksperimentelt eller teoretisk. Slike antakelser kalles **hypoteser**. Da for eksempel Max Planck i 1900 arbeidet med å gi en matematisk beskrivelse av temperaturstråling, satte han fram en hypotese om at strålingsenergien var kvantisert. Han festet selv ikke særlig lit til sin egen hypotese, selv om den matematiske beskrivelsen som den ledet til, viste seg å stemme meget godt med empiriske resultater. En hypotese kan styrkes eller avkrefte ved forsøk. Dersom det ikke lar seg gjøre å avkrefte en hypotese, vil den etterhvert kunne bygges inn i teorien. Også skoleelever kan danne seg mer eller mindre velfunderte hypoteser som de siden kan etterprøve ved eksperimenter.

## 4. Eksperimentalfysikk

### 4.1 Læreplanen og eksperimentell fysikk

Læreplanens kapittel 1 slår fast at opplæringen både i 2FY og 3FY i stor grad skal bygge på forsøk og øvinger. I hovedmomentene under mål 2 leser vi at elevene skal kunne utføre eksperimenter innenfor ulike områder av faget, og at de skal kunne foreslå og utføre egne eksperimenter. Videre nevner læreplanen bruk av måleapparater, usikkerhetsberegninger og færemomenter ved eksperimentelt arbeid, og elevene skal kunne observere, tolke og presentere måleresultater på ulike måter.

Som nevnt tidligere vektlegger læreplanen arbeidet med eksperimenter og elevøvinger uten å stille noe minstekrav til medgått tid eller antall øvinger. I den forrige planen var det et krav om dokumentert laboratoriearbeid som svarte til minst 12 timer arbeid i kurset 2FY og minst 8 timers arbeid i kurset 3FY. Dersom vi leser planen samlet, er kravet til å drive eksperimentalfysikk styrket i forhold til tidligere.

Hva elevene lærer av arbeidet i fysikklaboratoriet, avhenger i stor grad av elevens egen innstilling til elevøvingsarbeidet. Men andre faktorer betyr også mye: tilgjengelig utstyr, organisering av arbeidet og hvordan instruksjon og veiledning blir gitt.

Om en elevøving bør komme før eller etter at det teoretiske stoffet er gjennomgått, er en vurderingssak. Noen ganger kan en elevøving være en god start på et nytt fysikkemne. Andre ganger krever øvingen teorikunnskap og passer bedre etter at teorien er gjennomgått. Et godt og variert arbeid med elevøvinger bør være viktig og lærerikt for elevene. Gjennom arbeid med eksperimentalfysikk kan elevene tilegne seg viktige kunnskaper og ferdigheter. Men da må også hensikten med en øving være tydelig slik at prosessen fram mot resultater også er en del av kunnskapstilegnelsen.

Nedenfor finner du noen mål for arbeidet med elevøvinger:

- Elevøvingene kan bidra til at elevene utvikler en spørrende holdning og blir kjent med naturvitenskapelige metoder å løse problemer på .
  - Elevene bør lære å
    - stille spørsmål om naturen og sette opp hypotese
    - finne fram til eksperimenter og metoder for å teste hypoteser
    - observere, undersøke og ordne materiale
    - trekke konklusjoner uten å generalisere for vidt
    - vurdere og forbedre forsøk
- Elevøvingene kan bidra til at elevene får en dypere faglig innsikt.
  - Elevene bør få
    - illustrert fysikkemnene eksperimentelt
    - bedre forståelse av fysikkens lover og teorier
    - felles knagger å knytte teorien til
    - bevisstgjort sine hverdagserfaringer
    - innse at det vi observerer er personavhengig og påvirket av kunnskaper og antagelser
- Elevøvingene kan hjelpe elevene til å tilegne seg grunnleggende ferdigheter.

Elevene bør

- få øving i å bruke sansene til observasjoner
- bli kjent med og kunne bruke måleapparatur
- få øving i å bruke fagspråk i muntlig og skriftlig kommunikasjon

Observasjoner spiller en viktig rolle i fysikk. Vi observerer direkte eller indirekte ved hjelp av måleinstrumenter. Observasjoner forutsetter at vi bruker sansene våre, og i fysikken spiller synssansen en helt dominerende rolle. Det er viktig av vi lærer elevene forskjellen på å se og å observere. Elevene bør lære seg å rette oppmerksomheten mot det som er sentralt i et forsøk. Observasjon i vår sammenheng er en mer bevisst handling enn å se.

Observasjoner er personavhengige. Kunnskapen vår, tidligere erfaringer og holdningene våre er med på å farge de observasjonene vi gjør. Vi har alle erfart at når vi lar flere personer beskrive en og samme hending, kan beskrivelsene ofte variere mye. Vitenskapsteoretikere sier at observasjonene er teoriavhengige.

Som fysikklærere ser vi ofte at elevene blander sammen rene observasjoner med forklaringer og kunnskaper. De lar teoriene sine komme klart til uttrykk i beskrivelsen av observasjonene. Vitenskapsteoretikeren Thomas Kuhn sier at alle observasjonene er styrt av det herskende paradigmet, og at det bestemmer hva vi ser, og hvordan vi ser det. At eksperimenter og observasjoner er teoriavhengige, innebærer at når to mennesker ser mot samme utsnitt av verden, ser de faktisk forskjellige ting. De tolker ikke bare observasjonene forskjellig. Det er viktig at læreren tar opp disse erkjennelsessidene ved fysikkfaget med elevene.

## 4.2 Eksperimentets mange budskap

Et hvert elevforsøk eller demonstrasjon har et eller flere budskap til elevene. Og det er viktig at vi som lærere har et bevisst forhold til hva slags budskap vi ønsker å formidle i ulike eksperimentelle situasjoner. Nedenfor skal vi kategorisere forskjellige budskap som blir formidlet til elevene gjennom forsøk, vel vitende om at det ikke er noen klare skillelinjer mellom flere av kategoriene. Utformingen av et forsøk avgjør blant annet hvilket budskap som blir formidlet.

### 4.2.1 Eksperimentet som «bli kjent med»-redskap

Det å gjøre elevene kjent med utstyret, er her viktigere enn selve innholdet. I forsøk bruker vi gjerne utstyr som elevene er lite kjent med fra dagliglivet. For at utstyret skal bli brukt rett, må elevene få øving i å bruke det. Usikkerhet i hvordan utstyret skal brukes, er ofte en hindring for å få utført forsøkene på en god måte. Målinger av tid, temperatur, volum, vekt, masse, kraft, strøm osv forutsetter at elevene blir gjort kjent med måleapparaturen gjennom eksperimenter.

### 4.2.2 Eksperimentet som innføring i et emne

Elevene kommer til undervisningen med svært forskjellige erfaringer. Når læreren skal begynne et nytt emne, blir det derfor en oppgave å sørge for at elevene får en bedre felles plattform. Det kan for eksempel skje ved at vi gjennomfører demonstrasjonsforsøk eller gjør elevøvinger. På den måten får både læreren og elevene noen «knagger» å knytte teorien til i den videre undervisningen.



Eksperimenter egner seg også godt om motivasjonsmiddel når klassen skal ta fatt på et nytt emne. En mulighet er da å la noen forklaringer «henge i lufta» til seinere under mottoet: «Dette skal vi lære noe om. Vi kommer tilbake til det noe seinere». Kanskje kan læreren lykkes i å vekke nysgjerrighet om emnet.

#### 4.2.3 Eksperimentet som illustrasjon

Her er budskapet å illustrere et emne eksperimentelt. Ofte kan eleven ha gjort mange erfaringer om emnet utenfor skolen, men erfaringene er gjerne «ubevisste». Eksperimentet skal da «vekke» eleven og gjøre erfaringene bevisste.

Videre kan eksperimentet gi elevene erfaringer som de vanskelig kan få fra sine observasjoner i hverdagen. Det kan skyldes at eksperimentet krever utstyr som ikke alle har tilgang til. Eksperimentet som illustrasjon kan da gi elevene erfaringer som det er vanskelig å tilegne seg utenfor skolen, men som danner et viktig grunnlag for forståelse.

#### 4.2.4 Eksperimentet som fasit

I et slikt forsøk skal elevene få bruke sine kunnskaper og erfaringer til å spå resultatet av forsøket før det blir utført: Hva kommer til å skje under eksperimentet? Budskapet er altså: Sett opp en hypotese og bruk eksperimentet som fasit.

Når elevene får sammenlikne resultatet av eksperimentet med hypotesen sin, gir vi dem mulighet til å korrigere sine oppfatninger eller i hvert fall til å stille spørsmål ved oppfatningene sine.

Det er mange grunner til å la elevene lære seg å sette opp hypoteser:

- Elevene blir aktivisert
- Problemet blir avgrenset
- Elevene tar utgangspunkt i sine erfaringer og kunnskaper
- Elevene skal i følge læreplanene bruke naturvitenskapelig arbeidsmåte

Vanligvis kan elevene formulere hypoteser hver for seg eller i grupper på to elever. Under en lærestyrt diskusjon kan det likevel være best at hele klassen stiller hypoteser. Læreren bør da skrive opp alle forslagene på tavla, og elevene fører dem inn i arbeidsbøkene sine.

Det er ikke alltid lett for elevene å sette opp hypoteser. Av og til der det nesten umulig for dem å gjette hva som kommer til å skje under gitte betingelser. Hypotesen blir da en ubegrunnet gjetning, og en bør vurdere nøye om denne formen da har noen verdi.

#### 4.2.5 Eksperimentet som øving i å utforme forsøk

Vi understreker igjen at fysikk i stor grad handler om strategier for å finne ut av ting, med andre ord metoder for å skaffe seg kunnskap om naturen. Strategier for å finne ut av en problemstilling innebærer blant annet å kunne gjennomføre forsøk for å finne mulige sammenhenger. Hvordan skal vi undersøke om noe er tilfellet, eller om det fins en sammenheng?

For elevene handler det om å velge passende utstyr og målemetoder. De må ha noe kjennskap til laboratorieutstyr, til rutiner og måleteknikker. Elevene må også kjenne til

viktige sikkerhetsrutiner ved laboratoriearbeid. Se ellers avsnittet om Åpne og lukkede øvinger. Dersom selve problemstillingen for forsøket er gitt, kan elevene i noen sammenhenger selv finne framgangsmåten og utforme forsøket.

#### **4.2.6 Eksperimentet som repetisjon og testing**

I noen sammenhenger kan eksperimentet brukes i avslutningen på undervisningen om et emne, som repetisjon eller i forbindelse med elevvurdering eller testing. I slike situasjoner kan vi endre noe på et tidligere forsøk og la elevene gjennomføre det, eller velge et forsøk der elevene kjenner hele framgangsmåten og alt utstyret fra tidligere forsøk. Nå kan de bruke metoden og utstyret i en annen og ny sammenheng.

#### **4.2.7 Eksperimentet som differensieringsmiddel**

I naturfag er det ofte et problem å finne gode måter å differensiere på. Hvordan kan vi møte elevenes ulike evner og interesser for fysikkfaglige problemstillinger?

I en eksperimentell situasjon er det i alle fall mulig å differensiere noe i enkelte forsøk. En del elever klarer å sette opp hypoteser og gå nokså langt i den skriftlige bearbeidningen av forsøkene. For andre elever bør kravet kanskje være at de skal gjennomføre forsøket og bare observere og skrive en rapport om disse observasjonene.

I noen forsøk ligger det også godt til rette for variasjon i hvor langt en går i det eksperimentelle. Forsøket kan utvides slik at de som raskt blir ferdige med det alle skal gjennom, kan gå noe videre:

Opgavene for de elevene som trenger flere utfordringer, kan være:

- å foreslå forbedringer av eksperimentet
- å formulere nye hypoteser eller problemstillinger med forslag til hvordan de eventuelt kan undersøkes

Vanligvis inneholder eksperimentene mer enn ett budskap. Det er derfor viktig å være seg bevisst hva eksperimentet skal belyse, og innpasse det i en konkret sammenheng. Som i kommunikasjon ellers gjelder det å sende færrest mulig budskap samtidig. Dermed øker sjansene for at mottakeren oppfatter dem. Små endringer i eksperimentet og i problemstillingene kan endre et budskap.

### **4.3 Åpne og lukkede øvinger**

Et hvert forsøk har et eller annet problem som elevene skal finne ut av, en prosedyre for gjennomføring og vanligvis et resultat. Disse tre kategoriene kan entydig være gitt på forhånd, eller de kan være åpne, det vil si at de må defineres. Problemstillingen kan altså være gitt eller åpen, gjennomføringen kan være gitt eller åpen, og resultatet kan også være gitt eller åpent.

Dersom vi vurderer øvinger i lærebøker med dette for øyet, kan vi finne ut noe om hvilken strategi boka har med hensyn til sterk styring eller stor frihet for den som skal gjennomføre eksperimentet. Resultatet av en slik vurdering kan vi sette opp i en tabell med kategoriene åpen og lukket. Vi vil anbefale at lærere vurderer øvingene ut fra et slikt enkelt analyseskjema for å bevisstgjøre seg selv hvor åpen eller lukket en øving er.

	Åpen ?	Lukket?
Problem		
Gjennomføring		
Resultat		

Flere av forsøkene vi finner i lærebøker, er helt lukkede. Det vil si at problem og gjennomføring er gitt og i tillegg er resultatet gitt enten ved at det står i oppgaven, eller ved at svaret fins i læreboka. Nå kan vi spørre om det er noe galt med det? Svaret er både ja og nei. Det kommer an på hva forsøket går ut på, og hvilket budskap vi ønsker å formidle til elevene gjennom forsøket.

I den nye læreplanen er det lagt vekt på at elevene i større grad skal møte elevøvinger som er så åpne som mulig, ja de skal også ha mulighet for å formulere problemer selv som de skal finne metoder for å undersøke. Dette er med andre ord øvinger som er helt åpne.

## 4.4 Laboratorierapporter.

### 4.4.1 Mottakerbevissthet

Hvem skriver elevene egentlig rapport til? Til læreren, til sensor eller til seg selv? Vi vet at elevene mange ganger spør læreren om hvor mye de skal ta med i rapporten når det gjelder tegning av utstyr, forklaring av framgangsmåte, teoristoff osv. Flere av disse spørsmålene kunne elevene selv ha avklart dersom de hadde klart for seg *hvem* de skrev rapporten til.

Mottakerbevissthet er en norsk oversettelse av det engelske begrepet «sense of audience». I nyere språkvitenskap og kommunikasjonsforskning er mottakerbevissthet et sentralt begrep, og i fysikken bør det være et mål å utvikle mottakerbevissthet når det gjelder elevenes rapporter. De skriver ikke en rapport til læreren på samme måte som til en medelev.

Dersom vi holder oss til de aktuelle mulighetene innenfor skolens fire vegger, får vi denne lista over potensielle mottakere:

- eleven selv
- medelever i klassen som ikke var til stede ved øvingen
- andre elever, for eksempel elever på lavere klassetrinn
- læreren
- andre voksne som er knyttet til skolen

Den viktigste og mest åpenbare mottakeren er selvsagt læreren. Men i skolen har dette forholdet knapt vært synliggjort. Elevenes skriftlige produkter har vært rettet til en slags «ikke-person».

Når elevene skal arbeide med rapporter i fysikk, kan det være nyttig å variere noe på målgruppa. De fleste gangene bør læreren være mottakeren, og da er det kanskje ikke nødvendig med en utførlig beskrivelse av utstyr og oppstilling. Kanskje rapporten til læreren bare skal inneholde observasjonene som er gjort, og konklusjonene?

Andre ganger kan det være elever i en annen klasse på samme nivå som er målgruppa. Da er det viktig med forsøksbeskrivelse av utstyr og oppstilling. Selvsagt hører også observasjonene og konklusjoner på grunnlag av observasjoner og teori med her. Elevene vet noe om hva de kan vente av kunnskaper på det nivået de selv er.

En annen interessant mulighet er å la elevene skrive til elever på et lavere klassetrinn. De må da tenke nøye gjennom hvor mye og hva slags informasjon det er viktig å få med i rapporten. En lærer i 2. Klasse kan for eksempel gjøre avtale med en lærer i 1. Klasse om at elevene hennes skal lese gjennom rapportene fra fysikkelevne og sette merker og spørsmålstegn der det er noe de ikke forstår. Deretter får elevene i 2. Klasse rapportene tilbake for å forbedre produktet.

Målgruppa kan også være eleven selv, slik at han på en eventuell eksamen kan rekonstruere forsøket og legge fram observasjoner og konklusjoner. Da må elevene selv vurdere hvor mye de ønsker å ta med i rapporten.

#### **4.4.2 Bearbeiding av rapporter**

Av og til kan det være nyttig at elevene bearbeider rapporten noe grundigere enn ellers. Det er mange måter å bearbeide rapporter på. Vi kan la autentiske målgrupper kommentere elevens førsteutkast slik vi nettopp har vært inne på i avsnittet over. Deretter må elevene bearbeide utkastet og lage en endelig rapport.

Det er også mulig å la grupper på tre-fire elever i klassen være en såkalt responsgruppe for hverandre. Det vi si at de leser høyt for hverandre og kommenterer for å hjelpe skriveren til å forbedre teksten selv.

To og to elever kan også bytte rapporter etter første utkast og gi hverandre skriftlig eller muntlig tilbakemelding. Etter responsen må elevene skrive et nytt utkast eller den endelige rapporten.

Det viktige er at vi la elevene få *respons* på førsteutkastet sitt, slik at de får mulighet til å forbedre rapporten.

En rapport skal vanligvis inneholde en beskrivelse (B) av utstyr og framgangsmåte, observasjoner (O), konklusjoner (K) og eventuelt noe teori (T). Når elevene leser rapporter for hverandre (respons), kan læreren gi dem det enkle verktøyet at de skal sette bokstaver i marginen: B der det er beskrivelse, O for observasjon, K for konklusjon og T for teori. Deretter skal elevene «rydde» opp ved å samle de ulike kategoriene. Da blir det også synlig om observasjonsdelen mangler. Den er selve bærebjelken i en rapport. Denne teknikken vil også avdekke om andre deler mangler, dersom det er meningen av det skal være med.

Elevrappporter er en sjanger det bør legges arbeid i. Vi må sette rimelige krav til språklig uttrykksmåte, både når det gjelder resonnement, flyt, variasjon, i tillegg til ortografi og tegnsetting. Vi sier rimelige krav, fordi vi selvsagt også må ta hensyn til hvilket nivå elevene er på. Dersom en lærer ikke viser at hun tar denne delen av rapportskrivning på alvor, får elevene lett følelse av at det er pedanteri og flisespikkeri å bruke tid på språket. Det er et budskap som elevene helt sikkert ikke vil være tjent med.

Til slutt et råd som stammer fra skrivepedagogene: Dersom elever og folk flest skal bli flinke til å skrive en spesiell sjanger, for eksempel rapporter fra arbeider i fysikk, må de lese flere gode eksempler på slike rapporter. Det nytter ikke bare å gi en disposisjon med overskrifter. Vi vil derfor anbefale at læreren noen ganger, etter å ha innhentet tillatelse fra aktuelle elever, viser fram gode rapporter som eksempler og diskuterer *hvorfor* de er gode.

## 5. Informasjonsteknologi i fysikkundervisningen

### 5.1 Læreplanen og IT.

Læreplanen i fysikk inneholder mål om bruk av IT. Med utgangspunkt i Læreplan Generell del og læreplanen for fysikk, kan vi si at det er to grunner til å trekke inn IT i fysikkundervisningen:

- Fysikkundervisningen skal bidra til å gi elevene kompetanse i IT
- IT kan være med på å gjøre fysikkundervisningen bedre, og elevene kan lære bedre innenfor enkelte områder av fysikken

### 5.2 Hvilke muligheter har vi i fysikkfaget?

Nedenfor har vi gitt en kort oversikt over noen muligheter som IT gir i fysikkundervisningen:

- *Internett*

Internett har mye stoff som kan være nyttig i fysikkundervisningen, ikke minst i tilknytning til prosjektarbeid. Problemet er ikke å skaffe seg informasjon, men å avgrense søkene og finne fram til relevant stoff. Det krever øving og erfaring.

På skolenettet (adresse: skolenettet.nls.no) finnes det ressursider for fysikkundervisningen.

Andre nyttige internettadresser (for å gi noen smakebiter):

- <http://www.nasa.gov>  
NASAs hjemmeside. Her finner dere mye stoff om verdensrommet.
- <http://www.cern.ch/CERN>  
Dette er CERNs hjemmeside. Her finner dere mye stoff om elementærpartikler og forskning på dette området
- <http://www.grida.no/nor>  
Her kommer dere til et informasjonssenter som gir opplysninger om miljøstatus i Norge, blant annet om ozonlaget, UV-stråling og drivhuseffekt
- <http://www.fys.uio.no>  
Dette er ett eksempel på adresse til et fysikermiljø i Norge, nemlig Fysisk institutt ved Universitetet i Oslo
- <http://www.fnal.gov/fermilab/home.html>  
Adressen er til Fermilaboratoriet i USA. Her finner dere mye informasjon om partikkelfysikk.
- <http://pdg.lbl.gov/cpep.html>  
På denne adressen finner dere et interaktivt kurs om partikkelfysikk
- <http://www.nsta.org>

NSTA er forkortelse for National Science Teachers Association i USA. På deres hjemmeside kan dere finne informasjon til både lærere og elever

Lista kan gjøres lang, men adresser har en tendens til å endre seg over tid. Derfor har vi bare tatt med noen smakebiter.

- *IT brukt til registrering, bearbeiding og framstilling av data*

Når vi omtaler IT brukt i forsøk, mener vi en datamaskin eller en lommeregner med grafisk vindu knyttet til en datalogger og ulike følere (sensorer). Det fins flere modeller på markedet, men prinsippet for virkemåten er stort sett det samme. Bruksanvisninger kan være nyttig å lese, men programmene har vanligvis menyer som er lette å følge. Læremiddelfirmaene har utarbeidet veiledninger til forskjellige øvinger innenfor mange deler av fysikkfaget.

- *Bruk av datamaskin til å simulere modeller og lage animasjoner*

Datamaskinen egner seg godt til simulere modeller og lage dynamiske figurer som kan understøtte læringen til elevene. Læremiddelfirmaene selger slike programmer. Internasjonalt vrirler det av programvare til fysikkundervisningen. Som eksempler kan vi nevne programmet Visuell fysikk, som simulerer forskjellige kast med og uten luftmotstand, en luftmotstand som vi kan sette lik forskjellige funksjoner av farten. Videre inneholder pakken animasjoner av alfastråler mot et materiale. Programmet viser hvordan resultatet ville bli etter både Thompsons og Rutherfords atommodell. Et slikt program egner seg i den historiske gjennomgangen av hvordan atommodeller har avløst hverandre.

- *Bruk av standardprogramvare*

Regneark egner seg godt til å simulere kastebevegelse med og uten luftmotstand. På internettsidene til skolenettet finner vi en algoritme som elevene kan bruke til å fylle ut et regneark på egen hånd, eller en kan velge ferdige modeller for kastebevegelse.

Adressen til disse modellene er:

<http://skolenettet.nls.no>

Under overskriften «Fagene» finner du valgene «Fysikk» og «Bruk av standardprogrammet regneark i fysikkfaget».

### 5.3 Noen tanker om bruk av IT i fysikkundervisningen

IT vil, etter som tiden går, komme til å endre skolefag. Mulighetene som den nye teknologien gir, vil påvirke både eksamensformer, arbeidsformer og hvilke temaer som det er mulig å ta opp i fysikkundervisningen. Som fysikklærere bør vi ha et åpent sinn i forhold til de nye mulighetene. Samtidig vil vi advare mot en nesegrus beundring av de mulighetene som teknologien bringer fram. Vi vil i den sammenheng minne om at skolefaget fysikk er et eksperimentelt fag, der mye av det eksperimentelle innslaget skal være med på å skape en forståelse for fysikkfagets begrepsapparat og vitenskapelige metoder. Vi mener at IT i noen sammenhenger kan virke kamuflerende på det vi ønsker å fokusere på i fysikken. Uttrykket «Fysikk uten svarte bokser» kan være en påminnelse om at teknologien ikke må komme inn og erstatte mange av de gode forsøkene som ikke gjør bruk av IT. IT er ikke et mål i seg selv i fysikkundervisningen, selv om fysikkfaget også skal hjelpe til å gi elever en generell IT-kompetanse. IT gir mange muligheter, og vi må vurdere nøye hva vi ønsker å oppnå når vi gjør bruk av denne teknologien, akkurat som vi må gjøre når det gjelder andre metoder og arbeidsmåter.

## 6. Et eksempel - bevegelse i luft og vann

I fysikken i videregående skole er det vanlig å regne på bevegelse ved fritt fall og bevegelse med glidefriksjon som er uavhengig av farten. For å forenkle regningen ser en vanligvis bort fra luftmotstanden.

Med dagens tilgang på avanserte lommeregnere, dataloggere og datamaskiner burde det være enklere enn før å gjøre målinger og enkle beregninger med motstand i luft og vann. De legemene vi omgir oss med beveger seg heldigvis ikke i vakuum, og i mange praktiske situasjoner er motstanden fra luft eller vann av vesentlig betydning.

Det kan derfor være av interesse å finne fram til gode eksperimenter med bevegelse i luft eller vann, og la elever teste måleresultatene i forhold til enkle matematiske modeller.

I den nye læreplanen for fysikk heter det at elevene i 2Fy «skal kjenne til virkningen av og kunne gjøre enkle beregninger med friksjon og luftmotstand». Videre skal elevene både i 2Fy og 3Fy «kjenne eksempler på bruk av modeller, og hvordan de blir brukt til å beskrive ulike fenomener».

### 6.1 Teori

Når et legeme beveger seg gjennom en gass eller en væske, virker mediet med en bremsende kraft på legemet. Kraften øker med farten og virker i motsatt retning av bevegelsesretningen.

Vanligvis kan fartsavhengigheten være forholdsvis komplisert. Men det viser seg at legemer som faller gjennom en væske og også svært små partikler som for eksempel støv som faller i luft, har en motstand som er proporsjonal med farten. Større legemer som faller i luft får en motstand som er proporsjonal med kvadratet av farten.

### 6.2 Fall i væsker

Væskemotstanden  $R$  for et legeme som faller i en væske er proporsjonal med farten og kan skrives  $R = bv$  hvor  $v$  er farten og  $b$  er en konstant som avhenger av væska og av formen til legemet. Dersom legemet er kuleformet, med radius  $r$ , viser det seg at  $b$  er proporsjonal med  $r$ .

Vi antar at en kule med masse  $m$  slippes uten startfart i en væske. Kraftene som virker på legemet er tyngden, oppdriften og væskemotstanden. Newtons 2. lov blir:

$$mg - m_v g - bv = m \frac{dv}{dt}$$

Her er  $m_v$  massen til fortrent væske. Vi kan legge merke til at akselerasjonen  $dv/dt$  avtar når farten øker.

Likningen som er en første ordens differensiallikning, har løsningen

$$v = \frac{(m - m_v)g}{m} \left(1 - e^{-\frac{bt}{m}}\right)$$



Farten blir konstant når væskemotstanden har økt slik at summen av kreftene blir null. Den konstante farten blir

$$v = \frac{(m - m_v)g}{m}$$

### 6.3 Luftmotstand

For svært små legemer med liten fart er luftmotstanden proporsjonal med farten. Når farten øker og det fallende legemet er større, er derimot luftmotstanden tilnærmet proporsjonal med kvadratet av farten. Luftmotstanden kan da skrives  $R = \frac{1}{2} C \rho A v^2$  der  $\rho$  er massetettheten til lufta,  $A$  er tverrsnittsflaten til legemet vinkelrett på bevegelsesretningen og  $C$  er en dimensjonsløs empirisk størrelse. Verdien for  $C$  er omtrent 0,5 for kuleformede legemer, men kan være opp til 2 for irregulært formede legemer.

Luftmotstanden for et fly vil for eksempel avta når flyet beveger seg i stor høyde hvor massetettheten til lufta er mindre. Dersom flyets fart fordobles, vil luftmotstanden firedobles. Siden effekten ved konstant fart er kraft ganger fart, må effekten økes med en faktor 8 for å fly med dobbelt så stor fart.

Et legeme som faller loddrett vil være påvirket av tyngden nedover og luftmotstanden oppover. (Vi ser her bort fra oppdriften i luft).

Newtons 2. lov blir da:

$$mg - \frac{1}{2} C \rho A v^2 = m \frac{dv}{dt}$$

Når luftmotstanden har blitt like stor som tyngden får legemet den konstante farten

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$$

For et kuleformet legeme er tverrsnittsarealet  $A$  proporsjonalt med  $r^2$  og massen med  $r^3$ . Grensefarten (terminalfarten)  $v_t$  er derfor proporsjonal med kvadratroten av farten,  $v \propto \sqrt{r}$ .

En fallskjermhopper med massen 75 kg vil før fallskjermen folder seg ut ha en flate på ca  $0,7 \text{ m}^2$  og faller med farten 60 m/s. En regndråpe med radius 0,2 cm har massen  $3,4 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$  og tverrsnittsarealet  $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$ . En slik regndråpe faller med farten 9 m/s.

### 6.4 Forsøk med luftmotstand

Små tynne papir-kakeformer (muffinsformer) som kan kjøpes i matvarebutikker, vil etter kort fallengde oppnå konstant fart. Når vi setter to eller flere av disse formene i hverandre, vil tyngden øke mens luftmotstanden er uforandret.

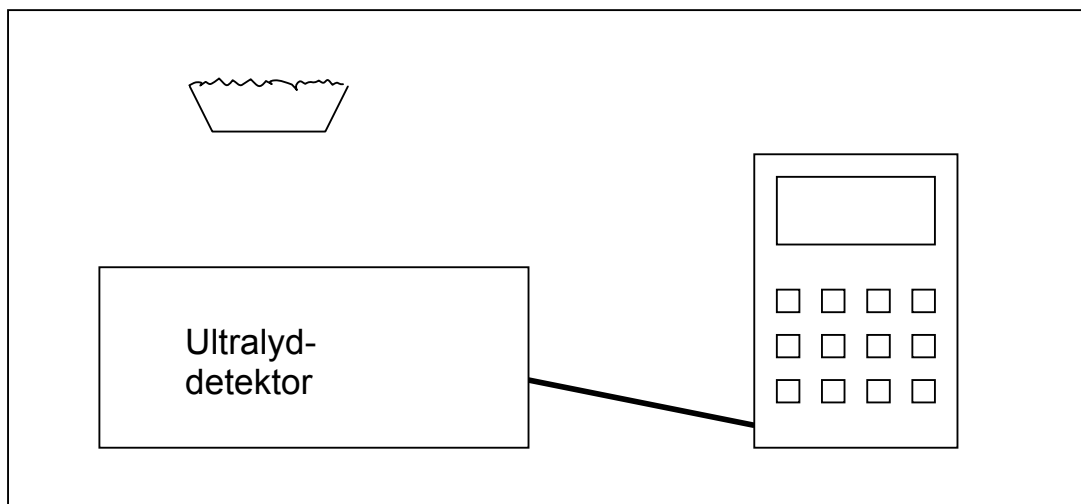
Når kakeformene slippes faller de loddrett nedover uten å rotere dersom det ikke er for sterke luftstrømmer i rommet.

Ved rent kvalitative forsøk kan en slå fast at farten øker med antallet kakeformer som er satt i hverandre, mens fallet blir likt dersom en samtidig slipper to enkle eller to doble former.

Ved å måle den konstante farten for en eller flere kakeformer som er satt i hverandre, kan vi finne samsvarende verdier for luftmotstanden og farten. Luftmotstanden er da lik tyngden av formene.

Farten kan bestemmes med meterstav og stoppeklokke dersom en måler over en fallengde på noen få meter. Det kan være gunstig å gjøre forsøkene i en trappeoppgang dersom det ikke er mye trekk. Formene bør falle omtrent en meter før klokka startes.

Det er adskillig enklere å få gode måleresultater ved å bruke en ultralyddetektor koplet til datalogger og lommeregner eller datamaskin (se figur). En kan da få tegnet farten som funksjon av tiden og lese av den konstante farten direkte.



Elevene kan da teste måleresultatene sine mot enkle modeller som  $R = kv$  eller  $R = kv^2$ . Det er også mulig å benytte regresjon på lommeregneren og prøve modellen  $R = a + bv + cv^2 + dv^3$ . Forsøk viser at  $R = kv^2$  er en god modell for luftmotstanden.

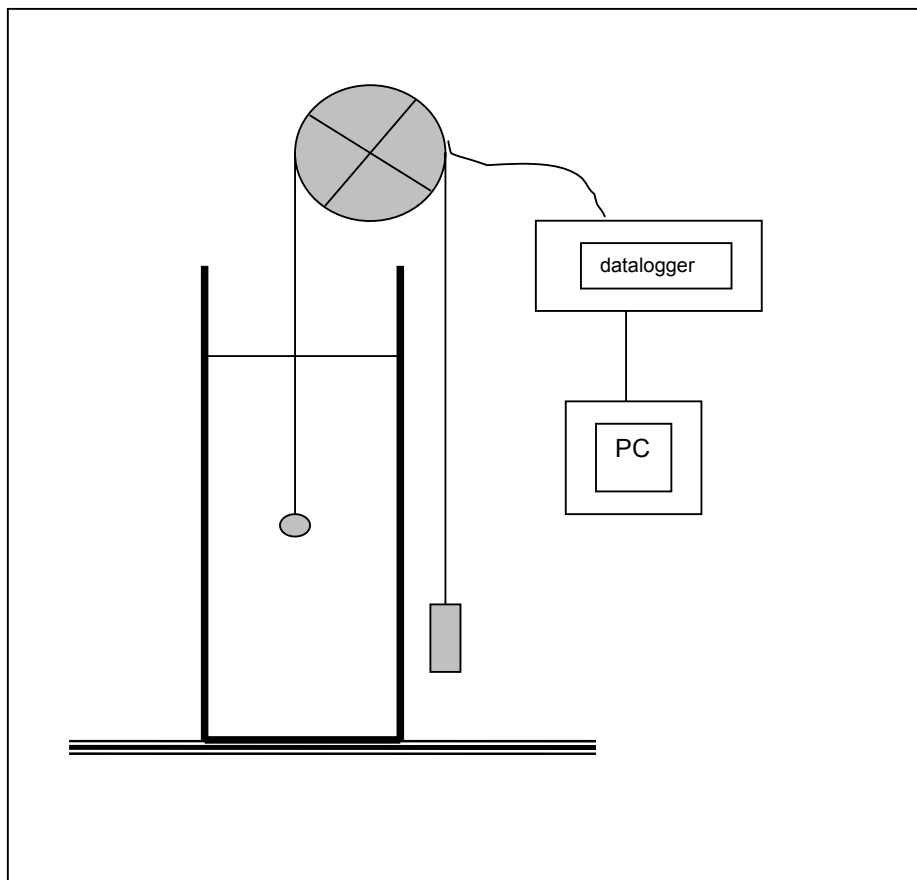
Forsøk med kakeformer av ulik størrelse men med samme form viser at den konstante farten er uavhengig av størrelsen dersom formene har samme papirtykkelse. Dette passer med teorien. I uttrykket for den konstante farten

$$v_t = \sqrt{\frac{2mg}{C\rho A}}$$

er både massen og arealet av kakeformene er proporsjonale med  $r^2$ .

## 6.5 Forsøk med vannmotstand

Væskemotstanden i vann kan undersøkes med utstyret i figur 2. Når kula faller, kan vi få tegnet farten som funksjon av tiden ved hjelp av trinsa (smart pulley) som er koplet til datalogger og datamaskin. Vi kan derfor lese av den konstante farten som oppnås når vannmotstanden er blitt stor nok.



Oppdriften for kula er  $\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_v g = m_v g$

Newtons 2. lov for systemet på figuren blir:  $m_k g - m_l g - m_v g - R = (m_k + m_l) a$

Her er  $R$  vannmotstanden,  $m_k$  massen til kula,  $m_l$  massen til loddet,  $m_v$  massen til fortrenget vann, og  $a$  akselerasjonen til systemet. Når farten er blitt konstant er vannmotstanden  $R = m_k g - m_l g - m_v g = (m_k - m_l - m_v) g$ . Ved å variere massen  $m_l$  av loddet, kan vi finne samsvarende verdier for vannmotstanden og farten. Forsøkene gir resultater som gir god tilpasning til modellen  $R = kv$ .

Når en gjør forsøket, trenger en et stort rør til å ha vannet i. Det bør helst være ca. en meter langt og minst 15 cm i diameter. Kula kan gjerne være av plast med en diameter på ca. 3 cm. Dersom røret er for kort, vil en bare få svært lave konstante farter. Røret må være vesentlig videre enn kulas diameter. Tilsvarende forsøk kan også gjennomføres med lampeolje. Da er det ikke nødvendig med så langt rør, siden olje har langt større viskositet enn vann.

Forsøkene med motstand i vann og luft berører flere hovedmomenter fra fysikklæreplanen som modeller, oppdrift, luftmotstand og IT-teknologi. De er enkle nok til at elevene i 2Fy eller 3Fy kan gjennomføre dem. Forsøkene kan gjennomføres som vanlige elevøvinger, men kan også være egnet som en del av et større prosjektarbeid om fallbevegelse.

## 7. Prosjektarbeid

Nedenfor følger noen synspunkter på prosjektarbeid i fysikkfaget. Vi vil oppfordre kursledere til å sette av god tid for deltakerne til drøfting av prosjektarbeid i fysikk, slik at kurset også kan brukes som en idebank for «de gode prosjekter». Mange fysikklærere har erfaringer som andre kan dra nytte av.

I læreplanen finner vi denne formuleringen om prosjektarbeid:

«I løpet av skoleåret skal alle elever gjennomføre ett eller flere prosjektarbeider. Så langt det er mulig, bør minst ett prosjekt arbeid være tverrfaglig.»

Dersom fysikkgruppa har elever fra mange klasser, kan det være vanskelig å få til et organisert tverrfaglig prosjekt for alle fysikkelevne. Men det ligger godt til rette for faglige prosjekter i fysikk, fordi fysikkfaget både er et teoretisk og et eksperimentelt fag. Prosjektarbeid gir elevene muligheter til å øve seg i ulike ferdigheter mens de undersøker et område av fysikken som de er interessert i. For å spare tid kan det være lurt å velge et emne for prosjektarbeid slik at det rommer minst ett sentralt område av fysikken i læreplanen. Emnet bør behandles fra fysikkens synsvinkel, men kan selvfølgelig også romme andre fagområder.

Elevøvinger, gruppearbeider og prosjektarbeid er organiserte undervisningsformer som har mye til felles. En elevøving med en helt åpen problemstilling, metode og presentasjonsform, kan godt være utgangspunkt for et prosjektarbeid. Et sentralt punkt for et prosjektarbeid er elevenes medinnflytelse på alle nivåer. I prosjektarbeidet bør elevene i stor grad være med på å

- avgrense problemstillingen
- velge prosess eller metode for undersøkelsen
- fastsette formen på produktet
- avgjøre hvordan resultatet skal presenteres

Et fysikkprosjekt inneholder vanligvis både en teoretisk og en empirisk del. Prosjektet bør ta for seg viktige faglige begreper og teorier. Selv om det er elevene som skal definere og avgrense en problemstilling, er det ofte nødvendig at læreren hjelper til med å finne et område for prosjektarbeidet. Temaet bør ikke favne for vidt.

I prosjektarbeidet er prosessen minst like viktig som produktet. Dersom elevene gjennomfører et prosjekt der fysikkfaget står sentralt, er det naturlig at dette arbeidet inngår som en del av vurderingsgrunnlaget. Selv om prosjektet ikke nødvendigvis dekker de reinte faglige emnene i læreplanen, har alle fysikkprosjekter sammenheng med læreplanens felles mål slik vi finner dem beskrevet i avsnitt 2.1 i Læreplan for fysikk.

Gjennom prosjektarbeidet kan elevene få øving i

- eksperimentelt arbeid ved å planlegge og gjennomføre eksperimenter, samle inn og analysere data
- bruke IT til innsamling og analyse av data
- teoretiske studier som grunnlag for å beskrive et fysisk fenomen kvalitativt, eller undersøke hva en modell kan forutsi, og hvilke begrensninger den har
- formulere en systematisk oversikt over et emne

- gjennomføre overslag over usikkerheten i eksperimentelle data
- å analysere det eksperimentelle arbeidet og gjøre greie for eventuelle systematiske feil
- å drøfte forholdet mellom undersøkelse og teori
- evne til samarbeid
- å ta ansvar for egen læring
- å kunne stå for egne meninger og begrunne egne valg

For dem som ønsker å gå nærmere inn på selve metodikken i prosjektarbeid, vil vi henvise til litteratur om emnet.

Aktuell litteratur om prosjektarbeid:

Einar Osland: Håndbok i prosjektarbeid. Cappelen 1995

Jan Kjell Hoel: Prosjektboka. Elevhåndbok i prosjektarbeid. NKI 1994

Åse Brinkmann-Hansen: Prosjekt- og problembasert læring. Universitetsforlaget 1994

Victor Granus: Innføring i prosjektarbeid. Elevhefte. Universitetsforlaget 1994.

## 8. Vitenskapsteori

Læreplanen i fysikk vektlegger som nevnt tidligere, både et historisk-filosofisk aspekt og et mer vitenskapsteoretisk perspektiv. Det er dermed viktig at også sentrale vitenskapsteoretiske spørsmål blir tatt opp i fysikkfaget. Det gjelder spørsmål av typen «Hva er vitenskap?», «Kan vi stole på vitenskapen?», «Hva er vitenskapelige metoder?», «Hva er vitenskapelige begrunnelser?» osv.

Odd Wormnæs og Arnt Inge Vistnes har skrevet en bok som heter «Kan vi stole på vitenskapen?». Den egner seg svært godt for tverrfaglig prosjektarbeid, og den gir en lettfattelig innføring i sentrale vitenskapsteoretiske problemområder. Vi tror også at mange fysikklærere vil ha glede av å lese boka, og at de vil få ideer til egen undervisning.

Vi vil også nevne Ragnar Fjellands bok «Vitenskapsteori» som inneholder fine eksempler fra fysikkens historie.

Svein Sjøberg har skrevet boka «Naturfagenes didaktikk. Fra vitenskap til skolefag». Boka er under revisjon. Med forfatterens tillatelse gjengir vi i det følgende et kapittel fra den nye boka.

## 8.1 Naturvitenskap - hva er det?

*Dette er et prøvekapittel i en bok som kommer Høsten 1998 på ad Notam Gyldendal, med arbeidstittel:*

*"Naturfag og allmenndannelse -- en kritisk fagdidaktikk"*

*Boka skal erstatte*

*"Naturfagenes didaktikk -- Fra vitenskap til skolefag" ad Notam Gyldendal 1992*

**NB** *Dette prøvekapitlet er ikke forsynt med referanser, og enkelte steder henvises det til andre kapitler -- som ikke er gjengitt her. Jeg er interessert i kommentarer, kritikk og forslag til forbedringer.*

*Oslo, november 1997, Svein Sjøberg*

## 8.2 Innledning: Hvorfor bry seg med vitenskapsteori?

I vitenskapsteorien stiller man spørsmål av typen: Hva er naturvitenskap? Hva er naturvitenskapelig metode? Hvor sikker er naturvitenskapelig kunnskap? Hvordan utvikler denne kunnskapen seg? osv.

Og siden forskning og vitenskap ikke lenger bare er de kloke hoders hobbyvirksomhet, men er levebrød og jobb for millioner av mennesker, må man også spørre mer nærgående spørsmål:

Hvem eller hva bestemmer hva man skal forske på? Og hvem betaler? Er dette vel anvendte penger? Kan og bør forskningen styres? Er forskningen nøytral og objektiv, eller er den kjøpt og betalt av som sitter på pengene?

For *lærere* i naturfag er det helt nødvendig å få et reflektert forhold til slike spørsmål. Begrunnelsen er enkel: Skal vi undervise i noe som heter 'naturfag', eller i noen av de fagene som faller inn under naturfagene, så må vi vite hva dette 'noe' er!

Spørsmålene er kanskje heller ikke så enkle som man med første øyekast synes. For hva er det naturvitene driver med? Jo, aktivitetene er svært så varierte: De studerer hiv-virus, de leter etter liv på andre kloder, de studerer hvordan isbreene beveger seg, de studerer stjernetaker som ligger millioner av lysår fra oss, de studerer paringsmønstre og sosial atferd hos maur, de knuser atomkjerner med utstyr av en pris som et middelsstort lands statsbudsjett osv. Hva er det som får oss til å putte alt dette i én og samme 'sekk' og omtale det som 'naturvitenskap'? Har disse ulike feltene noe felles? Og hva er det eventuelt som er felles: De *'tingene'* man studerer? Grunntrekk i den *kunnskapen* man kommer fram til? Eller er det felles metoder for *hvordan* man studerer disse tingene? Er det altså *studieobjektene* som utgjør enheten, er det *de begrepsmessige tankebygningene*, eller er det *de vitenskapelige metodene* som binder naturvitenskapene sammen? Eller kanskje er det bare det faktum at folk som jobber med disse vitenskapene av mer eller tilfeldige historiske årsaker er samlet ved de samme fakultetene ved universiteter og at de får penger av de samme forskningsrådene? Vi kan neppe gi noe klart svar på slike spørsmål, men vi kan i alle fall drøfte dem og se på noen av de forsøkene som er gjort for å klare opp i slike problemer.



Som lærer formidler man et syn på hva vitenskapen 'egentlig' er -- uansett! Hvis man ikke har et bevisst forhold til slike spørsmål, så er man etter all sannsynlighet bærer og formidler av mer eller mindre gjengse 'hverdagsforestillinger' om vitenskapen. Og i dette og andre kapitler skal vi se at de mest utbredte forestillingene om naturvitenskapen neppe holder mål.

'Vitenskapelig' er et nesten magisk ord i vår kultur. Vi får til stadighet høre at noe er 'vitenskapelig bevist', eller at 'forskning har vist at...'. Forskning og vitenskap blir brukt for å gi troverdighet til produkter og ideer, til alt fra bedre såpepulver til 'alternativer' og mer eller mindre seriøse livssyn og 'trosretninger'. For over 100 år siden skrev en av datidens største naturvitere, James Clerk Maxwell (1831 - 1879), elektromagnetismens 'far': "Så stor er respekten for vitenskap at de mest absurde oppfatninger kan bli godtatt hvis de bare blir uttrykt i et språk som minner om respekterte vitenskapelige vendinger." Ofte er det de som står aller lengst fra naturvitenskapen, som er raskest til å bruke den som argument. Men det forhold slike grupper har til naturvitenskap, er ofte preget av en sterk ambivalens -- nesten grensende til schizofreni: På den ene side en nesegrus og overdimensjonert beundring -- på den annen side forakt og avsky. Denne ambivalensen kommer vi tilbake til når vi senere skal se på det vi omtaler som anti- og kvasi-vitenskapelige strømninger. Min påstand er at både forakten og beundringen springer ut av uvitenhet om hva vitenskap 'egentlig' er.

I offentlig debatt refereres det ofte direkte til 'den naturvitenskapelige metoden'. Ofte blir den brukt synonymt med at man enkelt kan måle, veie og forutsi. Det finnes en utbredt oppfatning om at *den* (i entall) naturvitenskapelige metoden er slags oppskrift der man trinn for trinn, helst ved enkle målinger og observasjoner kommer fram til sikre resultater. Vi skal se at et slikt syn på naturvitenskapens vesen er uholdbart, og at det representerer en trivialisering av hva vitenskapen er og hvordan den arbeider.

Naturvitere vet ofte ikke hvordan de skal forholde seg til slike debatter og de mange påstander som framsettes enten på vegne av vitenskapen eller med vitenskapen som skyteskive og fiendebilde. Deres eget forhold til slike forhold er ofte preget av de samme temmelig naïve forestillingene. Det er et tankekors at naturvitere som har et langt fagstudium bak seg, sjelden har hatt emner eller kurs der de kritisk har studert sitt eget fags egenart, metoder og sosiale forankring. Man bruker mye tid på å tilegne seg 'produktet', svært lite til å se på 'prosessene' eller fagets kunnskapsmessige egenart, og enda mindre tid å diskutere vitenskapen som sosial institusjon og dens samfunnsmessige rolle. For naturvitere er metodene kanskje så innvevd i selve faget at de ikke føler noe behov for å behandle dem som egne undervisningsemner? Man vil kanskje argumentere med at man lærer 'håndverket' underveis? I andre fagstudier, spesielt i samfunnsfagene, har man ofte egne metodekurs.

Når man aldri eksplisitt studerer vitenskapen som virksomhet 'utenfra', kan man lett overta temmelig vanlig utbredte myter og forestillinger som viser seg ikke å holde mål. Man kan også lett bli et offer eller en taper i en debatt om vitenskapens troverdighet, fordi motstanderne kan ha tilegnet seg noen vitenskapsteoretiske kunnskaper og begreper som realister ikke er godt nok bevandret i.

Hensikten med dette kapitlet er mer å gi et kritisk perspektiv enn ferdige svar. Likevel: den bakenforliggende tanken er også her å videreutvikle det konstruktivistiske perspektivet.

### 8.2.1 Naturvitenskap -- en avgrensing?

Det finnes en lang rekke fagfelt eller vitenskaper som regnes som naturvitenskaper. I en skolesammenheng tenker vi gjerne på biologi, fysikk og kjemi. Men det finnes mange flere, som f.eks. geologi, astronomi. Og det finnes fag som er all verdens sammenstillinger av de mer kjente fagene: Fysikalsk kjemi, biofysikk, bioteknologi, astrofysikk, biokjemi, astrofysikk. Nye fag oppstår, gamle fag mister betydning. Dette mangfoldet er interessant, og det kan gi grunnlag for mange slags tanker. Det viser i alle fall at fag og faggrenser er konstruksjoner som er laget av mennesker, og at de kan forandres etter behov og etter som kunnskapen utvikles. Likevel: Det at de er konstruert av mennesker, betyr ikke at de er *tilfeldige* konstruksjoner, og at enhver annen konstruksjon er like OK. Dette kommer vi tilbake til!

Men til tross for det enorme mangfoldet, så er det som oftest lett å avgjøre om det dreier seg om en naturvitenskap eller ikke. Ser man på hvordan fag er plassert på ulike fakulteter i ulike land, så er mønsteret ofte nokså likt. Hva er det som eventuelt er felles for studiet av virus og fjerne stjernetåker, slik at vi klassifisere begge dele som naturvitenskap? Er det begrepsbruk, lover og teorier som er felles, er det de metoder, teknikker og prosesser man bruker til å finne ut av problemene, eller er det en felles sosialisering i et felles miljø som utgjør fellesskapet, slik at det mer sosialt enn saklig begrunnet?

I dette kapitlet skal vi se mer på hva som kjennetegner naturvitenskap. Da kan det i første omgang være litt viktig å minne om at *skolefaget* naturfag ikke nødvendigvis er -- eller bør være -- det samme som de akademiske *forskningsdisiplinene* som omtales som naturvitenskaper. Ja, man kan kanskje si at en av de viktigste problemstillingene i fagdidaktikken nettopp er å se kritisk på sammenhengen det er mellom den vitenskapelige disiplinen og tilsvarende fag i skolen.

## 8.3 Vitenskapsteori -- teori(er) om vitenskap

Når man skal stille et spørsmål som "Hva er naturvitenskap?", ledes man inn i det området som noe løst kan kalles *vitenskapsteori*. Det er altså selve vitenskapen som blir gjort til gjenstand for studier, teori og refleksjon. Akkurat som fysikk handler om *fysis*, det fysiske univers og biologi handler om *bios*, det levende univers, så handler vitenskapsteorien om vitenskap. Det er vitenskapen som så og si blir lagt under lupen og blir gjort til objekt for et systematisk studium. Naturvitenskapen lager teorier som beskriver ulike sider av vår fysiske virkelighet. 'Vitenskapsteorien' lager teorier om hvordan dette foregår.

Det finnes flere måter å nærme seg dette spørsmålet på, og vi kan si at vitenskapsteori er en samlebetegnelse for flere slike tilnærminger, som hver for seg er egne fagfelt med noe ulike perspektiver og metoder. Blant disse er vitenskapshistorie, vitenskapsfilosofi og vitenskapsososiologi. La oss si noe kort om disse:

### 8.3.1 Vitenskapshistorie

Vil man vite noe om vitenskapens egenart, er det nærliggende å studere vitenskapen som et historisk fenomen. Folk har drevet vitenskap i årtusener. Dagens vitenskap har utviklet seg fra tidligere former. Det gjelder både selve kunnskapen, altså det vi 'vet', og det gjelder de metoder og prosesser som vitenskapen bruker for å nå fram til sin kunnskap. Også organiseringen av vitenskapen og den rolle den har spilt i samfunnet har endret seg over tid. Derfor er vitenskapens historie en rik kilde til å kaste lys over vitenskapens vesen og egenart. Dessuten er vitenskap en viktig del av vår kulturarv, slik at kunnskap om dens historie er verdt et studium i seg selv, hvis man overhodet er interessert i den historiske utvikling av vår kultur eller andre kulturer.

Vitenskapshistorikere bruker de samme metoder som andre historikere. De forholder seg kritisk til historiske kilder, i hovedsak til skriftlige kilder. Og siden vitenskapen mer enn mange andre former for menneskelig virksomhet nettopp er kommunisert gjennom skriftlige arbeider, har de et rikt materiale å studere.

Man kan også se på vitenskapens *historie*, studere hvordan vår erkjennelse *faktisk* er blitt til. Alle er enige om at Newtons, Darwins og Einsteins teorier er 'vitenskapelige'. Og at nobelprisvinnere er gode naturvitere. Altså bruker de 'vitenskapelig metode'. Når man beskriver disse metodene, har man altså gitt en beskrivelse av vitenskapens vesen. Med en slik tilnærming blir vitenskapshistorien den empiri som vitenskapsteorien bygger på.

Man kan selvfølgelig også tenke seg at man rett og slett spør de som opplagt er fremragende forskere: Hva er vitenskapens vesen -- hva er det egentlig du driver med, og hva kjennetegner den kunnskap du kommer fram til? Selvsagt *kan* dette gi bra resultater, men det forutsetter en stor grad av refleksjon og distanse som ikke alltid er til stede. (Det er heller ikke bestandig at store kunstnere er i stand til å beskrive sine produkter og metoder på en klargjørende og gyldig måte.) Jevons (1973) sier i sin bok 'Science observed' at å spørre en forsker om vitenskapelig metode er som å spørre en fugl om aerodynamikk: De mestrer nok flyvningens kunst, men vil ikke kunne reflektere over det de gjør. Albert Einstein, som for øvrig i stor grad regnet seg selv som filosof, sier noe liknende: "Hvis du vil vite noe om forskere og deres metoder, så hold deg til ett prinsipp: Ikke hør på hva de sier, se heller på hva de gjør!"

I historiefaget er 'kildekritikk' et sentralt begrep. I vitenskapshistorie blir dette spesielt viktig, fordi de 'offisielle' og publiserte vitenskapelige arbeidene ofte preges av etterpåklokskap og idealisering av hva som egentlig har skjedd. Mange mener at de mange misforståelsene om vitenskapens vesen skyldes forskersamfunnet selv, spesielt den måten de kommuniserer resultatene sine på gjennom avhandlinger og gjennom artikler i tidsskrifter. Dette er utdypet i rammen **Den vitenskapelige artikkel: En svindel?**

### Den vitenskapelige artikkel: En svindel?

En vitenskapelig artikkel gir ofte et helt fortegnede bilde av hvordan forskningsresultater faktisk oppstår. En vitenskapelig artikkel er stort sett en kald, uengasjert, nøktern og formalisert fortelling som følger en standard disposisjon: Man reiser et problem, går gjennom eksisterende kunnskap og forskning på området, formulerer en hypotese, beskriver metodene som vil bli brukt, presenterer så data i henhold til hypotesen, og trekker til slutt konklusjonene på dette grunnlaget. I beste fall er dette en framstilling av forskningen slik de synes den *burde* ha skjedd. Det er etterpåkløkskapens stiliserte beretning. Ofte snur den opp ned på den faktiske rekkefølgen av både tenkning og faktisk arbeid. Den vitenskapelige artikkelen kan være en effektiv form for kommunikasjon av *de ferdige resultater*, men som en historisk beretning om hva som faktisk skjer, blir den av mange omtalt som 'en svindel'. (Se for eksempel Jevons 1973.)

#### 8.3.2 Vitenskapsfilosofi

Vitenskapsfilosofien er en viktig del av filosofien. Ofte omtales den også som *epistemologi* eller *erkjennelsesfilosofi*. Her ser man på spørsmål som: Hvordan kan vi ha kunnskap om verden? Hva stammer slik kunnskap fra: Fra sanseinntrykkene våre, eller fra vår logikk og tankevirksomhet? Hvordan kan vi være sikre på at noe er sant? Og hva mener vi med at det er 'sant'? Og finnes det sikre metoder å komme fram til sikker kunnskap? Hva er forholdet mellom våre begreper og selve 'virkeligheten'. Eller for å si det noe ekstremt: Kan vi være sikre på at verden faktisk finnes, eller er den bare i vår bevissthet? Hva er forholdet mellom språket vårt og selve virkeligheten? Er språket vårt en nøytral beskrivelse av en virkelighet som er uavhengig av oss, eller er det slik at det er språket som 'skaper' virkeligheten?

En annen del av filosofien som absolutt har betydning for en forståelse av vitenskapen er *etikken, moralfilosofien*. Den handler om hva som er riktig og galt, hva som kan og bør styre våre handlinger. Den berører ikke direkte selve den vitenskapelige kunnskapen, men den berører selvsagt vitenskapen som virksomhet: Er det riktig å forske på alt mulig, bare fordi det er 'vitenskapelig interessant', eller finnes det grenser som ikke bør overskrides? Finnes det problemer forskerene bør holde seg unna, og finnes det metoder det er umoralsk å benytte? Hviler det spesielle moralske forpliktelser på forskerne ut over de vanlige normer for menneskelig atferd?

#### 8.3.3 Vitenskapssosiologien

Vitenskapen er i dag en viktig del av samfunnet. Vitenskapelig virksomhet drives i dag i en rekke ulike sammenhenger, og det finnes millioner av mennesker som er som har vitenskap og forskning som sitt levebrød. De mottar lønn for sitt arbeid, og noen betaler dem for det de gjør. Noen er tilsatt i "frie" akademiske institusjoner, andre er tilsatt i institutter som ivaretar helt bestemte samfunnsinteresser. Andre er ansatt i industrien eller i forsvaret. Felles for dem alle er deres framgang og karriere er bestemt av hvordan de oppfører seg og hva de produserer. Disse millionene av mennesker er organisert i fagforeninger og i profesjonelle organisasjoner av likesinnede. De forsker i samarbeid med noen og i konkurranse med andre. De skriver artikler som de prøver å få publisert. Da blir artiklene kritisk vurdert av andre forskere. Andre ganger vurderer de om det andre har skrevet er godt nok til å bli publisert. De som sitter ved universiteter og høyskoler deler ut karakterer og eksamener til de som skal bli nye forskere. De som har faste stillinger er med på å ansette nye medarbeidere. I forskningsråd (som f.eks. NFR; Norges Forskningsråd) sitter folk og vurderer hvem som skal få penger som Staten bevilger til forskning. I parlamenter og Storting bestemmes hvor stor del av et lands

inntekter som skal brukes til vitenskap og forskning, og i regjeringer og departementer er det noen som bestemmer om landet skal satse noen hundretalls millioner kroner på det ene forskningsprogrammet eller på et helt annet. Hele tiden dreier det seg om et samspill mellom mennesker, det dreier seg også om politikk, makt og prestisje, om faste stillinger, om lønn og forfremmelse og om karriere. Og svikter den offentlige tilliten til vitenskapen, så svikter også bevilgningene, vitenskapen er avhengig av sin troverdighet blant velgere og politiske partier.

Slike forhold mellom grupper av mennesker studeres i *sosiologien*, og i *vitenskapssosiologien* studerer man hvordan slike forhold fungerer innen de mange vitenskapelige miljøene. For selv om det er 'sannhet' man søker, så dreier det seg hele tiden *også* om makt og dominans, prestisje, penger og stillinger.

I dag er få som er uenige i at vitenskapssosiologien kan kaste lys over hva vitenskap er. Ingen er uenige i at vitenskap også må forstås som et sosialt og politisk anliggende. Men det er stor uenighet om *i hvilken grad* sosiologiske perspektiver kan brukes til å forstå vitenskapens egenart. Noen mener at man gjennom sosiologien kan forstå det meste. De mener at ikke bare det forskerne driver med (dvs virksomheten), men også det de finner fram til (dvs kunnskapene) kan forstås sosiologisk. I sin mest radikale form går dette standpunktet ut på at det vi kaller sannhet, kunnskap eller vitenskap egentlig bare avspeiler maktforhold og forhold mellom mennesker. En slik kritikk rammer våre forestillinger om at det finnes noen objektiv kunnskap, og den rammer i sin konsekvens også våre antakelser om at det finnes en rasjonalitet og en fornuft som står 'over' konflikter og interessenmotsetninger, og som gjør det mulig å sortere sant fra galt. En ekstrem form for slik kritikk kalles ofte 'The Strong Program of Sociology of Knowledge'. Forestillingene om en fornuftsbasert og objektiv vitenskap er under hardt angrep i det som omtales som 'postmoderne' kritikk. Det er viktig for naturvitere og lærere i naturfag å kjenne til denne kritikken, slik at man ikke blir svar skyldig når den blir reist. kanskje er kritikken til og med så godt begrunnet at vi må gi slipp på noen av våre egne forestillinger om vitenskapens karakter. Vi kommer tilbake til denne kritikken i neste kapittel.

### 8.3.4 To hovedperspektiv på vitenskapen

Hvis man skal forstå vitenskapen, kan man anlegge to nokså ulike perspektiver. Disse kan man kalle henholdsvis et *internalistisk* og et *eksternalistisk* perspektiv.

Med et *internalistisk* perspektiv prøver man å se vitenskapen innenfra, på dens egne premisser. Man er interessert i se hvilke metoder forskningen bruker, hvordan forskningen begrunner sin kunnskap, hvordan kunnskapen etterprøves av andre, hvordan man utøver kritikk. Bak dette ligger en tro på at det er på denne måten man best fanger inn vitenskapens egenart: Skal man forstå forskningen, må man studere de som driver den, hva de gjør og hvordan de argumenterer.

Med et *eksternalistisk* perspektiv blir det som skjer innen selve forskningsmiljøet nokså uinteressant. Med et eksternalistisk perspektiv blir ser man på vitenskapen som en del av samfunnet, som en bit i et sosialt og politisk system. Man antar da et vitenskapelig virksomhet i stor grad er definert av og styrt av 'ytre' krefter. Noen vil trekke det sosiologiske og eksternalistiske argumentet svært langt, og dette perspektivet vil vi som nevnt behandle mer i detalj i neste kapittel.

Blant de som studerer vitenskapen er det en viss uenighet om betydningen av de to ulike perspektivene. I denne boka prøver jeg å argumentere for at de to perspektivene ikke utelukker hverandre, og at vitenskapen både må forstås 'på egne premisser' ut fra dens egen dynamikk og indre regler, men også som en virksomhet som styres av storsamfunnet og som er uløselig knyttet til det som skjer der -- på godt og vondt. Det betyr at jeg tror at vitenskapen har en slags autonomi og integritet -- men at store og viktige prioriteringer er resultat av vurderinger som ligger -- og som kanskje bør ligge -- utenfor vitenskapen selv.

## 8.4 Det 'klassiske' synet: Empirismen

Vi begynner med å beskrive et syn på vitenskapen som er blitt omtalt som det 'klassiske' synet. Det blir også kalt induktivistisk. I rammen **Empirismen -- en lett karikert framstilling** er det beskrevet i sin enkleste form og i en noe karikert utgave.

### Empirismen -- en lett karikert framstilling

Vitenskapelig kunnskap er objektiv og verdinøytral. Den er framkommet ved logiske slutninger trukket på grunnlag av et stort erfaringsmateriale. Forskeren har ingen forutinntatte meninger, men arbeider med et åpent sinn, uten fordommer og uten teorier. Deretter nedtegnes alle relevante data. Disse bygger på objektive sanseinntrykk. Ut fra den store mengden av data trekkes generelle konklusjoner i form av lovmessigheter. Disse generaliseringene er vitenskapelig kunnskap. Vitenskapelig kunnskap er pålitelig, den er *bevist*, den er *sann*, ikke noe man kan diskutere.

Vitenskapelig kunnskap kommer slett ikke gratis, det kreves *tålmodighet* og utholdenhet i en utrettelig søking etter *sannhet*. Det 'offisielle' bildet av Madame Curie personifiserer denne modellen: Hun blir ofte framstilt som tålmodig, uegennyttig og heltmodig, og hennes arbeid framstilles som en utholdenhetsprøve, der hun år etter år renset tonn på tonn med skitten malm. Og til slutt døde hun av det. Med sannheten i sine armer.

*Empirisme* brukes som betegnelse på en bred tradisjon i vestlig filosofi. Selve uttrykket kommer av det greske *empeiria*, som betyr 'erfaring'. Hovedantakelsen i empirismen er at gyldig kunnskap er basert på sansemessige signaler og erfaringer. De fleste empirister vil avvise kunnskaper som er basert på fantasi, autoritet eller tradisjon. De er også avvisende til at kunnskaper kan baseres på logikk og tenkning alene. Grunnlaget for empirismen i går tilbake til greske filosofer som f.eks. Aristoteles. I nyere tid forbindes denne retningen gjerne med en rekke engelske filosofer, som f.eks. John Locke, George Berkeley, and David Hume.

Det 'klassiske' synet omtales av filosofen Karl Popper som 'the common sense theory of knowledge', nettopp fordi det stemmer så godt med gjengse oppfatninger av hva vitenskap er. Når mange mennesker (og mange lærebøker) skal beskrive vitenskapens metoder, har det mange slike trekk ved seg.

Dette synet på vitenskapen kan vi beskrive litt mer presist slik:

Vitenskapen starter med at vi gjør enkeltobservasjoner og derfra slutter til generelle lover. Enkeltobservasjonene utgjør råmaterialet, og ved *induktive* slutninger generaliserer vi til vitenskapelige lovmessigheter. La oss gå litt i detalj, hele tiden slik tilhengerne av denne teorien noe forenklet ser på metoden:

Vitenskapen starter med *observasjon*. Observasjonene skal ikke bygge på forutsetninger og hypoteser som er gitt på forhånd, de skal bare bygge på en ren og objektiv bruk av sansene. (Eller man bruker måleinstrumenter, for eksempel kikkert eller mikroskop. Disse oppfattes nærmest som en 'forlengelse' av sansene.) Observasjoner kan kontrolleres og etterprøves, deres åpenbare sannhet kan lett etableres. Observasjonene munner ut i enkle konstaterende utsagn av denne typen:

Denne blandingen er rød.  
 Temperaturen ute var 20,7 °C klokken 2030.  
 Det var total måneformørkelse 17. oktober 1986 kl 2000  
 Det har falt 66 mm nedbør i Bergen siste 30 døgn.

Dette kalles *singulære* eller *partikulære* utsagn, altså enkle utsagn om verden. De bygger på en bestemt observatørs bruk av bestemte sanser på ett bestemt tidspunkt og ett bestemt sted. Induktivistene forutsetter at slike utsagn bare bygger på 'ren' observasjon, at de ikke forutsetter noen teori.

Men slike utsagn alene utgjør selvsagt ikke vitenskapelig erkjennelse. Det hersker det ingen uenighet om. Vitenskapelige utsagn handler ikke om enkelttilfeller, de handler om det generelle. Vitenskapelige utsagn er lovmessigheter, *universelle* utsagn.

Universelle utsagn er generelle, de gjelder *alle* tilfeller, ikke bare dem man allerede har studert. Det er dette vi kaller *lover*. Når lover henger sammen i et større system, kan de omtales som *teorier*.

Her er noen generelle utsagn, noen (mer eller mindre sanne?) lovmessigheter:

Planetene beveger seg i ellipser.  
 Artene kjemper med hverandre for å overleve.  
 Lyset beveger seg i rette linjer.  
 Man får kreft av å røyke.  
 Ved kjernereaksjoner bevares baryontallet.  
 Alle som er født i Krepsens stjernetegn, er fantasifulle.

Det er slike universelle utsagn vi omtaler som vitenskapelige (når de altså er sanne).

Tilhengerne av det 'klassiske synet' mener at vitenskapen ved logiske slutninger går fra det spesielle til det generelle, fra enkeltobservasjoner til lovmessigheter. En slik logikk kalles *induksjon*, og dette synet på vitenskapelighet blir også kalt *induktivisme*.

Induktivistene hevder altså at man slik kan gå fra begrensede enkeltutsagn til ubegrensede generelle utsagn, altså fra 'noen' til 'alle'.

De hevder at dette er mulig under gitte betingelser:

- 1 Antallet observasjoner må være svært stort.
- 2 Observasjonene må være gjentatt under varierte betingelser.

3 Den endelige generaliseringen må ikke være i strid med noen gyldig, akseptert observasjon.

La oss med dette idealet for vitenskapelighet studere lovmessigheter som er knyttet til at ting faller til jorda når de blir sluppet.

Vi starter med å observere at en stein faller til jorda. Vi har ett singulært utsagn, og bygger videre på dette etter de tre kravene ovenfor: Vi tar hensyn til det første kravet og slipper tusen steiner, og observerer hele tiden det samme: de faller! Vi tar også hensyn til det andre kravet, og velger steiner med ulik masse, med ulik farge, med ulik temperatur. Vi prøver med granitt, gneis, kvarts og feltspat. Vi lar forskjellige folk slippe dem, vi gjør det til ulike tider på døgnet, vi gjør det i lys og i mørke. (Vi må jo ikke ha forutinntatte meninger om hva som spiller en rolle!). Etter hvert blir vi mer og mer sikre i vår sak: 'Alle steiner faller.' Vi har fulgt de to første reglene, og vår konklusjon strider heller ikke mot den tredje, vi har ennå ingen observasjon av steiner som *ikke* faller når de blir sluppet.

Slik skjer naturvitenskapens forskning ifølge *induktivismen*, selv om vitenskapens problemer gjerne er litt mer kompliserte enn problemet ovenfor.

Satt på spissen ser de mest typiske induktivistene slik på vitenskapen:

'Fakta' taler for seg selv, og de leder med tankenødvendighet til ny kunnskap. Denne kunnskapen er nøytral, ikke knyttet til personlige interesser eller gruppeinteresser. Vitenskapen er uavhengig av filosofiske og politiske moteretninger, den står over slike og andre motsetninger. Vitenskapen, og derved verden går 'framover'. Vår kunnskap øker jo flere fakta vi etablerer, målinger og observasjoner blir mer nøyaktige, slutningene blir sikrere. Kunnskapen vokser jevnt og trutt. Induktivistene hevder at vi slik 'avdekker' virkeligheten og oppdager naturlovene, som nærmest eksisterer i kraft av seg selv og bare venter på å bli oppdaget. Virkeligheten er som et ukjent landskap, og vitenskapens oppgave er å lage et kart over dette landskapet. Terrenget eksisterer uavhengig av oss, og vi kan gradvis avdekke og oppdage det ukjente. Etter som tiden går, blir det 'kart' vi tegner av virkeligheten, stadig bedre, selv om vi ennå ikke vet alt som er å vite. Det ukjente er som hvite flekker på et kart som vi er i ferd med å tegne. Vitenskapen er objektiv, ikke subjektiv.

Induktivistene har derved også et bestemt syn på selve *kunnskapens natur*, vi kan si at de bygger på en bestemt *epistemologi*. Som vi skal se, er dette synet ganske annerledes enn det 'konstruktivistiske' synet vi allerede har antydnet og etter hvert skal videreutvikle.

Slik *oppstår* lover og generaliseringer ifølge det klassiske induktivistiske synet. Men vitenskap er ikke bare å gi en oppsummering av det vi hittil har observert. Vitenskapen skal også *forklare* og *forutsi*, ja kanskje er det nettopp dette som gjør vitenskapen til det den er. Når vi forutsier noe, går vi fra det generelle til det spesielle, fra allmenne lover til utsagn om ett enkelt tilfelle. Dette kaller vi deduksjon. Vi går da 'tilbake' til virkeligheten.



For eksempel slik:

Alle planeter går i ellipser  
Saturn er en planet

-----  
Altså: Saturn går i ellipse

Over streken står de to premissene. Av den følger konklusjonen under streken ved deduksjon.

*Deduksjon* er en del av logikken. Hvis premissene er sanne, er konklusjonen sann (tankenødvendig). Men NB: bare hvis premissene er sanne, og sannhetsverdien til premissene kommer altså *ikke* ut av logikken alene! Deduksjon dreier seg om å utlede utsagn fra andre utsagn.

For induktivisten er det ikke *logikk* som er kilden til erkjennelse, kunnskap, men *erfaring*. Siden erfaring (empiri) står sentralt i denne vitenskapsteorien, kalles den også 'empirisme'. Sentralt i denne teorien er at vi gjennom å bygge på det som oppfattes som 'positivt gitt', kan komme fram til sann og objektiv kunnskap. Denne filosofiske strømmingen blir gjerne kalt *positivisme*. (Se rammen **Positivisme** for utdyping.)

Vi har her gitt en svært forenklet beskrivelse av det klassiske synet, og vi har forsynt det med merkelapper som induktivistisk og empiristisk. Dette synet har åpenbar common-sense-appell, og det svarer mer eller mindre til utbredte forestillinger blant folk. Det er også påvist at dette synet er temmelig utbredt blant lærere i naturfag (Rowell and Cawthron 1982).

Vi skal nå se på svakheter ved dette synet, og vi skal se hvordan induktivistene modifierer synet for å svare på slik kritikk. Deretter skal vi se på alternative beskrivelser av vitenskapens vesen.

## Positivism

Positivism er en filosofisk retning som søker å renske ut all metafysisk spekulasjon fra vitenskapen. Den hevder at vår kunnskap må basere seg på 'det positive gitte', altså på fenomener som direkte kan observeres og erfares. Den fører til at vitenskapen konsentrerer seg om bare det som lar seg måle. Positivismen er en filosofisk retning som hadde utgangspunkt i naturvitenskapen, men som fikk stor betydning innenfor mange andre fagområder (samtidig som den mistet sin innflytelse på naturvitenskap!). Positivismen manifesterer seg under ulike navn i ulike vitenskaper. I psykologien ga den opphav til *behaviorismen*, en psykologisk teori som hevder at psykologisk teori bare må begrunnes ut fra konkret og observerbar atferd (engelsk: behaviour). Det har vært (og er?) store stridigheter innenfor samfunnsvitenskapene om det positivistiske vitenskapsidealet.

Empirisme og positivismen induktivisme kan forenklet sies å være positivistisk inspirerte retninger innenfor erkjennelsesteori og vitenskapsfilosofi.

Tidlig på 1970-tallet raste det en stor debatt i flere vitenskaper om ulike vitenskapsidealer. Den ble kalt 'positivismestriden', fordi den i stor grad innebar at spesielt samfunnsvitenskapene hadde opplevd positivismens syn på kunnskap og metode som tvangstrøyer som gjorde at de sjelden fikk trengte under det observerbare og det som lot seg tallfeste. Mange nye metoder tvang seg fram, spesielt kvalitative og fortolkende. Positivismen ble av mange oppfattet som politisk og menneskelig konservativ. Akkurat denne kritikken var i alle fall *historisk sett* forfeilet, fordi positivistenes store ambisjon var å feie ut det spekulative og metafysiske fra vitenskapen. Mange av dem stod fremst i kampen mot fascismen, som nettopp bygde på slike rasjonelt sett ubegrunnede forestillinger. Det gjelder spesielt de 'logiske empiristene' i Wien, den såkalte 'wienerkretsen'.

### 8.4.1 Kritikk av induktivismen

Når vi følger induktivistenes 'oppskrift' på hvordan vitenskapen går fram, bygger vi på flere forutsetninger, og det er disse vi nå skal se litt nærmere på. Induktivistene forutsetter at:

- 1 Vi *starter* med observasjoner, uavhengig av teori
- 2 Observasjonene er et *sikkert grunnlag* for kunnskap
- 3 Ved hjelp av induksjon kan vi ut fra observasjonene *utlede* generelle lovmessigheter

Vi skal først se kritisk på det siste punktet, og deretter også problematisere de to første.

#### Problemer med induksjon

Kan vi få sikker kunnskap gjennom induksjon, altså ved å gå fra det spesielle til det generelle? Her finnes det to nokså ulike argumenter, som går tilbake til det vi omtalte som de mulige kildene til en teori om vitenskap:

Når vi skal forsvare induksjon, kan vi enten referere til det *logiske*, eller vi kan referere til den faktiske historiske utvikling, altså til *erfaring*.

La oss se på det *logiske* først: En slutning er logisk gyldig bare hvis gyldige premisser gir en gyldig konklusjon. Men dette gjelder *ikke* for induksjon. Induktive slutninger gir ikke med tankenødvendighet sanne konklusjoner. Selv om premissene er sanne, er det ingen logisk garanti for at konklusjonen er sann.

La oss illustrere dette ved å gå tilbake til vårt eksempel med alle steinene som falt. Anta at vi slik hadde trukket den konklusjonen at *alle ting* faller når de slippes. Vi prøver

stadig nye ting, og får bekreftet 'loven' vår. Men så en dag prøver vi med en ballong fylt med hydrogengass. Den stiger til værs! Selv om vi altså har bygd vår induktive slutning på titusener av observasjoner, så gir den altså en konklusjon som ikke nødvendigvis er sann. Ett eneste moteksempel velter hele teorien. Vi sier at dette ene eksemplet *falsifiserer* teorien vår. Vi skal senere se at nettopp falsifikasjon står sentralt i andre forsøk på å beskrive vitenskapelig metode. I Boksen **Den induktivistiske kalkunen** er det referert et annet eksempel, brukt av den engelske matematikeren og filosofen Bertrand Russel.

### Den induktivistiske kalkunen

Bertrand Russel forteller om en vitenskapelig innstilt kalkun som hadde sterk tro på induksjon som kilde til sikker kunnskap.

Kalkunen observerte at den fikk mat hver dag klokken 09. Mange observasjoner gav det samme resultatet. Som den forsiktige forsker den var, trakk kalkunen imidlertid ingen forhastede slutninger. Den gjentok observasjonene under svært ulike betingelser, og fant at det gjaldt uansett hvilken ukedag det var, det gjaldt i regnvær og i solskinn, på kalde og varme dager og uansett hvilken årstid det var. Til slutt hadde den tilfredsstilt alle induktivistens strenge krav, og trakk følgende konklusjon: 'Jeg får *alltid* mat klokken 09'. Og akkurat da kalkunen mett og tilfreds hadde trukket denne konklusjonen, så kom jula!

Eller for å bruke et enda mer grotesk eksempel på at logikken ikke holder: Det faktum at vi hittil har våknet hver morgen, bør ikke forlede oss til den konklusjonen at vi er udødelige. Antakelig er det snarere slik at jo flere observasjoner som tyder på at vi er udødelige, jo mindre sjanse er det for at vi har rett. Konklusjonen vår blir altså mer og mer tvilsom jo flere ganger den blir bekreftet!

Induktive slutninger trenger altså ikke å gi oss gyldig kunnskap. Den andre muligheten til forsvar for induksjon er å appellere til *erfaring*: Man kan kanskje vise til at induksjon har vist seg å stemme i praksis. Man kan da vise til vitenskapens historie og finne eksempler på at store forskere har arbeidet induktivt. Men vitenskapshistorien forteller stort sett en helt annen historie: Selv om mye vitenskapelig arbeid kan preges av tålmodig og induktivt arbeid, så kan de riktige store framskritt i vitenskapen *ikke* beskrives slik.

Det er altså store problemer forbundet med å bygge kunnskaper på induktive slutninger. Det holder ikke logisk sett, og det stemmer dårlig med hvordan vitenskapen faktisk har gått framover. Også andre punkter i beskrivelsen av den induktive metoden er problematiske: Vi så at beskrivelsen inneholdt begreper som 'et stort antall' og 'vidt forskjellige betingelser'. Slike begreper er det vanskelig å presisere.

La oss se på vårt steineksempel: Hvor mange steiner trenger vi å slippe? 630, eller kanskje 32556?

Kravet om et nærmest uendelig antall observasjoner fortoner seg merkelig når man er klar over at mye av det vitenskapen regner som vitenskapelig holdbart, er basert på én og bare én hendelse (eller svært få). Man trengte for eksempel bare en eneste Hiroshima-bombe for å etablere noenlunde sikker kunnskap om hva som skjer med atomkjerner under gitte betingelser.

Og man må være en sta induktivist for å måtte stikke hånda om igjen og om igjen inn i ilden for å konstatere at det brenner og gjør vondt! Nei, hvis det er grunn til å anta at observasjonen eller erfaringen er 'typisk', trenger man neppe mer enn det ene eksemplet.

Og hva ligger i induktivismens krav om 'forskjellige betingelser'? Ta steineksemplet igjen: Akkurat hvilke betingelser er det vi må variere: Tidspunktet på dagen? Kroppstemperaturen til den som slipper? Klesdrakten? Luftfuktigheten? Mulighetene er uendelige, og siden induktivisten sier at vi må samle *alle data uten* å ha forutinntatte forestillinger, kan vi slett ikke a priori utelukke noen av disse.

Vi gjør åpenbart ikke alt dette, det er visse ting vi samler interessen om, andre ting lar vi ligge. Men hvordan kutter vi ut noen variabler som meningsløse eller uinteressante? Jo, selvsagt fordi vi på forhånd *vet* noe om hva vi venter, vi har allerede en teori, vi har forventninger og antakelser. Altså finnes ikke de 'forutsetningsløse' observasjonene, som står så sentralt i induksjon; teorien er der *før* observasjonene!

### **Induktivisme og skolens naturfag -- et historisk eksempel**

David Layton (1973) viser i sin bok 'Science for the people' hvordan folk med sterkt motstridende syn på mål, mening, form og innhold i naturfag stod i strid med hverandre rundt midten av 1800-tallet. Den ene retningen var en folkelig bevegelse, og deres alternativ var 'the science of common things'. Faget skulle gi barn av arbeiderklassen kunnskaper om hvordan de skulle få bedre helse, hvordan de skulle ordne sin daglige tilværelse, og hvordan de skulle lære seg å bli glad i naturen -- kanskje også hvordan de skulle bli i stand til å påvirke sin livssituasjon. Faget var nytteorientert, teorien kom i annen rekke. Undervisningsmetodene var blant annet beretninger, lærerike fortellinger med litterær så vel som faglig kvalitet. Nordahl Rolfsens lesebøker i Norge bærer noe av det samme i seg. Den andre retningen var mer akademisk orientert, drevet av ledende folk i The Royal Society (selv om folk derfra også stod på den andre siden). Denne retningen var mer vitenskapssentrert, den hadde sterke samfunnskrefter på sin side -- og den vant kampen om faget.

Framtredende vitenskapsfolk som Thomas Huxley skrev selv lærebøker. Layton hevder i sin analyse at Huxley, for å argumentere for fagets plass i skolen, bevisst fortegnet fagets logikk og metoder for å få det til å passe med de dannelsesidealene som preget skolen. Matematikken stod sterkt i datidens engelske skole. Den hadde sin deduktive logikk og forsvarte sin plass ved at (det ble hevdet at) den trente opp den logiske sansen hos elevene. Da var det nærliggende å legge vekt på at også naturvitenskapen kunne ha en slik funksjon. Naturvitenskapens metode ble derfor beskrevet som rent induktiv. Slik kunne naturfagene forsvare sin plass i et skolesystem med sterk tro på formaldannelsesteorier

Når vi fremdeles har en egen form for naturfag i skolen, svært forskjellig fra 'virkelig' vitenskap, kan altså dette delvis være en arv fra en mer eller mindre bevisst fordreining som ble foretatt i en tidlig periode. Formaldannelseargumentet førte til at det ble lagt stor vekt på det tidløse og generelle aspektet ved naturvitenskapen -- dens metoder. Disse ble beskrevet som allmenne, evige og sikre metoder til å oppnå objektiv erkjennelse om verden. Og det var altså et rendyrket induktivistisk syn som på denne måten gjorde sitt inntog som lærebokversjonen av 'vitenskapelig metode'.

#### **8.4.2 Svar på kritikken**

Induktivister har selvsagt et svar på den typen innvendinger som ble reist i forrige avsnitt. Det vanligste er å si at vi aldri snakker om *absolutt kunnskap*, men at vitenskapen bare etablerer kunnskap som er mer eller mindre *sannsynlig*. Og det er denne sannsynligheten som ifølge empiristene øker når vi følger spillereglene om mange eksempler under varierte betingelser. Denne endringen i syn er viktig, blant annet sier man da at vitenskapen ikke lenger kommer fram til evige og absolutte sannheter, bare til mer eller mindre statistisk holdbare konklusjoner. Rent kunnskapsteoretisk er dette en helt annen tone enn hos den 'klassiske induktivismen'.

Og rent intuitivt stemmer dette bra med daglig logikk: jo flere eksempler på at noe stemmer, jo sannere er dette utsagnet. Dette stemmer med mange daglige erfaringer, men slett ikke alltid. Tenk igjen på Bertrand Russells kalkun. Også i denne mer statistiske formen er det altså svakheter med induktivismen.

La oss så vende tilbake til de andre forutsetningene som induktivismen bygger på, siden denne kritikken peker framover mot en videreutvikling av vitenskapsteorien.

### 8.4.3 Observasjon og teori: Hva kommer først?

Sentrale forutsetninger i induktivismen er at vitenskap *starter* med observasjon, og at observasjoner er *pålitelige* kilder for vitenskapelig erkjennelse. Med observasjoner mener man alle slags sanseinntrykk, også hørsel, lukt, smak. Som eksempel bruker man likevel gjerne synssansen.

Ifølge induktivismen er en observasjon temmelig uproblematisk. Det å 'se' en ting blir omtrent som at noe registreres på en film i et fotoapparat: Objektivt eksisterende lysstråler brytes i øyet, blir fokusert på en 'skjerm' (netthinnen), skaper entydig gitte nervesignaler som så sendes videre til hjernen der det samme bildet registreres av vår bevissthet. To uavhengige observatører 'ser' det samme, akkurat som like kameraer gir like bilder, bildene kan legges oppå hverandre og blir kongruente. Selve overføringen fra netthinnen til hjernen tenker man seg analogt med at bilder kan sendes som telefaks over en telefonlinje slik at 'det samme' bildet kommer ut av den andre enden av ledningen.

Man tenker seg altså at vi gjennom våre sanser har nokså konkret og direkte tilgang til den ytre verden. Denne oppfattes som noe objektivt gitt, uavhengig av oss. Altså skal også to mennesker helt uavhengig av hverandre sansemessig registrere akkurat det samme. Men gjør de det?

Dette enkle synet på sansing og persepsjon er i dag stort sett forlatt både av biologer og psykologer. Vi vet for eksempel at vi 'ser' svært ulike ting i 'samme' situasjon. På folkemunne har man alltid sagt: 'det kommer an på øynene som ser', og det har fått en ny og nesten bokstavelig mening i det siste. Vi vet at 'de samme' stimuli oppfattes svært ulikt av ulike mennesker, og vi vet at det varierer svært mye mellom kulturer. Vi er ikke passive registreringsmekanismer for sanseinntrykk. Vi tolker, legger til, trekker fra, vi 'gir mening' til alt vi observerer, ut fra hva vi selv bringer med oss av erfaringer, forestillinger og forventninger. Ja, nettopp disse individuelle variasjonene er grunnlaget for mange psykologiske tester. Da får vi presentert ulike mønstre og figurer og skal fortelle 'hva vi ser'. Hva vi ser, avhenger av vår kunnskap, og hva vi plukker ut, avhenger også av våre forventninger og 'teorier'. I rammen **Det kommer an på øynene som ser** gir vi et eksempel som er brukt av den kjente vitenskapsfilosofen Michael Polanyi.

## Det kommer an på øynene som ser

Vitenskapsfilosofen Michael Polanyi (1973, s. 101) beskriver hvordan medisinske studenter lærer seg å 'se' et røntgenbilde. Først ser de bare vage skygger, men kan tolke dette som ribbein og lunger fordi de allerede har en del kunnskaper. De er til å begynne med helt uforstående til de erfarne røntgenlegenes entusiastiske samtaler om noe som for dem bare er uforståelige svertemønstre på en film. Men etter hvert lærer de seg å se stadig mer ut fra små, men signifikante detaljer. De lærer at et enkelt bilde kan fortelle interessante historier om pasientens fortid (arr, brudd). Konturenes form og størrelse forteller om lungekapasitet og pasientens levesett i idrett og arbeid. Graden av sverting forteller om røykevaner, og små detaljer kan avsløre kommende farer eller kroniske lidelser. Etter hvert åpner det seg en ny virkelighet for den kommende legen. Fremdeles kan hun bare se en del av hva den erfarne røntgenlegen ser, men hun har bokstavelig talt begynt 'å se med nye øyne.'

Er man i tvil om at det er kunnskap og bevissthet som former hva vi 'ser og hører', så følg et lite barn: Selv om barnets sanser 'objektivt' er de samme, så ser, hører, og oppfatter det verden annerledes enn voksne. Det ser noe spennende der vi ikke ser noen ting, oppfatter en spennende lyd inni et virvar av andre lyder, 'ser' skapninger som vi ikke øyner. Barnets sanser og bevissthet plukker ut og fortolker andre detaljer enn vi voksne gjør.

De eksemplene vi her har gitt, viser at observasjoner ikke er uproblematiske. Det blir etter hvert uholdbart å fastholde at vi kan *starte* med observasjoner som ikke bygger på forventninger, kunnskaper, antakelser. Også i dagligdagse eksempler kommer dette fram:

På en godværsdag passerer et jettfly høyt over oss. En hvit stripe kommer til syne bak en prikk som beveger seg. Noen sier at de 'ser flyet', selv om det bare er stripa de ser. Andre sier at de 'ser kondensstripene'. Et slikt tilsynelatende enkelt utsagn bygger på en masse teori. Den som 'ser' dette, vet antakelig at jettflyet flyr i noen tusen meters høyde, at lufta der er svært tynn, at den er underkjølt, men så ren at det vanligvis ikke blir vanndråper og skyer. Hun vet kanskje også at det i avgassene fra flyet finnes forurensninger og partikler som kan virke som kondensasjonskjerner for vanndampen i lufta, slik at det kan bli utfelt små vanndråper i en 'sky' bak flyet. osv. I alle fall: Det enkle utsagnet er ikke en 'ren' observasjon, men bygger på mye teori.

En annen observasjon kan være denne: 'Polene på magneten tiltrekker en binders laget av jern.' I et slikt enkelt utsagn ligger det mye teori, det bygger på mange forutsetninger: Vi bruker ord som 'magnet' og 'pol', hva betyr 'trekke på', og hva er 'jern'?

Vi ser at selv enkle utsagn og observasjoner forutsetter en teori. Det er rett og slett umulig å bygge opp en teori ut fra 'rene' sanseutsagn som er uavhengige av forkunnskaper, begreper, teori.

Vi har altså sett at det 'klassiske' synet på vitenskap og kunnskap har klare begrensninger. Vi skal nå se på noen nyere tanker som har hatt og fremdeles har stor innflytelse -- selv om også disse teoriene har klare svakheter.

Det kan imidlertid først være viktig å trekke fram et viktig forbehold: Selv om en induktivistisk beskrivelse av grunnlaget for vitenskapens vekst ikke holder vann, betyr ikke det at man i undervisning ikke bør bruke induksjon som pedagogisk metode! I undervisning i naturfag er det ingen grunn til å etterlikne de prosesser som ligger bak

vitenskapens vekst. Dette er noe utdypet i rammen **Induksjon i vitenskapen -- og i skolen**

### Induksjon i vitenskapen -- og i skolen

Vi har nå sett på en rekke svakheter ved å oppfatte vitenskapens vekst som induktive slutninger. Vitenskapsteoretikere i dag er stort sett enige om at vitenskapelig erkjennelse ikke vokser fram som generaliseringer ut fra observasjoner.

Hva så med skolens naturfag? Skal man slutte med det som lenge har vært 'god pedagogikk', nemlig å gå fra det konkrete til det abstrakte, trekke slutninger og lage regler ut fra noen få og utvalgte eksempler? Skal man gi avkall på 'en induktiv arbeidsform'?

Vårt svar på dette er et klart *nei*. Skolens naturfagundervisning skal ikke simulere vitenskapens vekst opp gjennom tusener av år. Undervisningens metoder trenger ikke å etterlikne forskerens metoder. Hvor skulle vi da ende på vitenskapens vandring gjennom menneskehetens historie? Nei, undervisning i naturfag -- som i andre fag -- er delvis også en innføring i en kulturarv slik den faktisk foreligger. I en pedagogisk sammenheng er det derfor delvis snakk om å *overtale* eleven til å konstruere begreper og se nettopp de sammenhenger som vi gjennom dagens vitenskap mener er hensiktsmessige verktøy til å mestre og forstå verden. Derfor legger vi til rette situasjoner som vi tror kan lede i en slik retning, og vi introduserer begreper som kan bidra til denne prosessen.

I en slik undervisningsprosess er i prinsipp *alle metoder* åpne, de må velges ut fra lærestoffets egenart og elevenes ståsted. I en slik prosess *kan* en induktiv framgangsmåte ha en stor styrke. Men da er den begrunnet *pedagogisk*, ikke ved at det er slik forskerne også arbeider! Vi kommer noe tilbake til dette i kapittel xx.

## 8.5 Karl Popper og falsifikasjonismen

The great tragedy of science -- the slaying of a beautiful theory by an ugly fact. Thomas Huxley (1825-1895)

Vi har sett at vi ikke kan utlede generelle lover fra observasjoner, uansett hvor mange ganger vi foretar dem. Men vi så også eksempler på det motsatte: I prinsippet kan vi falsifisere (motbevise) en lov ved bare å vise til ett eksempel på at den ikke holder! I så måte er det ene moteksemplet mer verdt enn tusen bekreftelser.

Mange hevder at nettopp dette er det sentrale i vitenskapen: De hevder at vitenskapen må sette opp utsagn som man så kan prøve å motbevise, falsifisere. Utsagn som *ikke* kan falsifiseres, bør derfor ikke regnes som vitenskapelige. Vi skal senere se at dette kravet om falsifiserbarhet slett ikke er så enkelt i praksis, men la oss først forfølge tanken litt i detalj, la oss se på den vitenskapsteorien som er utviklet av Karl Popper. Han var opprinnelig østerriksk fysiker, men siden krigen bodde og arbeidet han i England til han døde i 1994. Han er kanskje den vitenskapsfilosofen som siden krigen har hatt størst innflytelse på tenkningen om vitenskapens vesen. Mange av hans sentrale ideer har også slått rot blant forskere og blitt en del av vitenskapens selvforståelse.

### 8.5.1 Falsifiserbarhet

Popper hevder at en hypotese er vitenskapelig bare hvis den i prinsippet kan motbevises, falsifiseres. Det betyr at det skal være mulig å gjøre observasjoner som vil kunne vise at den ikke er sann. Ut fra dette kriteriet kan vi ifølge Popper skille 'vitenskap' fra 'pseudo-vitenskap', 'liksom-vitenskap', noe som for Popper er svært

viktig. Påstander (eller hele fagfelt) som utgir seg for å være vitenskapelige, må altså ifølge Popper kunne tittes i kortene, de må kunne underkastes kritikk. Skal hypotesene gi oss informasjon om virkeligheten, må de også kunne stille seg til for hogg. Det er altså falsifiserbarheten som er Poppers 'demarkasjonskriterium' for hva som er vitenskap. For en utdyping, se f. eks. Popper 1969.

La oss bruke dette kriteriet på noen ulike utsagn:

1 Tunge og lette ting faller like fort.

Dette er et utsagn som man lett kan undersøke: Man kan slippe store og små steiner fra samme høyde og observere hvordan de faller. Hvis de *ikke* faller like fort, er hypotesen falsifisert. Utsagnet er altså 'vitenskapelig' ifølge Popper. Dessuten er det (foreløpig) *sant*, i den forstand at det hittil *ikke* er falsifisert. Men *forsøksbetingelsene* må presiseres for å gjøre utsagnet testbart: vi forutsetter at de to massene slippes på samme sted, at det ikke er luft til stede osv. En slik presisering av betingelsene blir ofte kalt en *operasjonalisering* av hypotesen.

For øvrig er akkurat dette eksemplet en historisk 'klassiker': Fram til Galileos tid på 1600-tallet fortalte nemlig den aristoteliske mekanikken at tunge ting falt fortere enn lette. Inntil Galileo altså prøvde denne hypotesen ved å slippe kuler fra det skjeve tårn i Pisa. Han fant da at det *ikke* stemte. Hypotesen var falsifisert. (Det er imidlertid reist tvil om Galileo faktisk gjorde dette! Mange mener at han gjennomførte dette som et 'tankeeksperiment', og fant at det *måtte* være slik.)

Historien brukes ofte som pedagogisk eksempel på hvor 'dumme' og autoritetstro man var før vitenskapen ble eksperimentell, før man fikk 'den vitenskapelige metode'. Da projiserer man altfor lett dagens tankegang tilbake i historien. Vi ser fortiden med våre øyne, våre teorier. Da blir datidens tankegang absurd. Kanskje denne historien snarere forteller hvor sterkt våre teorier og forventninger styrer det vi *kan* se. Gjennom et konstruktivistisk kunnskapssyn blir historien lettere å forstå.

2 Alle fugler kan fly.

Også dette er et vitenskapelig utsagn ifølge Popper: Det er i prinsippet falsifiserbart, man blir lett enige om hva slags observasjoner som skal til for å vise at utsagnet ikke er sant. Og dette utsagnet *er* falsifisert; det finnes flere eksempler på fugler som ikke kan fly, f. eks. strutser, kiwier og pingviner. Utsagnet er altså vitenskapelig, men usant! (Også her ser vi at vi trenger klargjøring av begreper før utsagnet kan testes. Blant annet må vi definere en fugl, og en fugl kan *ikke* defineres som 'et dyr som kan fly', da blir utsagnet per definisjon sant, det blir det vi kaller en tautologi.)

3 Smeltepunktet for is er lavest ved nymåne.

Dette utsagnet lar seg teste, det er vitenskapelig. Og det har vist seg å være usant, det *er* falsifisert. Men som *utsagn* er det altså *i sin form* et vitenskapelig utsagn siden det er av en type som kan falsifiseres.

4 En ulykkelig barndom fører til kriminalitet.



Det er vanskelig å se hvordan et slikt utsagn skulle kunne falsifiseres på en måte som alle ville akseptere. Først måtte vi presisere ord som 'kriminalitet' og 'ulykkelig barndom'. Deretter ville altså bare ett eksempel på at det ikke stemmer, kunne falsifisere teorien!

5 Drømmer forteller om våre følelser og lengsler.

Det samme gjelder for dette utsagnet: Det er vanskelig å tenke seg hvordan et slikt utsagn skulle falsifiseres i praksis. Ut fra Poppers strenge krav til vitenskapelighet ville dette utsagnet falle igjennom.

## 8.6 Falsifiserbarhet -- et strengt krav?

De to siste eksemplene viser at Poppers krav om falsifiserbarhet er et strengt krav. Ifølge Poppers demarkasjonskriterium ville mye av det vi forbinder med vitenskap, bli klassifisert som uvitenskapelig. For eksempel ville store deler av psykologien bli bedømt som uvitenskapelig -- i alle fall all psykoanalyse -- for å ta et eksempel som Popper selv bruker. Videre vil store deler av samfunnsvitenskapene falle utenfor. Samfunnsvitenskapelige utsagn kan sjelden falsifiseres greit og entydig.

Poppers krav om falsifiserbarhet kan nok klarest stilles overfor *naturvitenskapelige* hypoteser. La oss presisere dette synet på vitenskapelighet litt mer i detalj før vi ser at også dette synet har sine svakheter.

### 8.6.1 Jo mer falsifiserbar -- desto mer vitenskapelig?

La oss vurdere følgende utsagn:

Planeten Mars går i bane rundt sola  
Planeten Mars går i en ellipseformet bane rundt sola  
Alle planeter går i ellipsebaner med sola i det ene brennpunktet

Alle disse hypotesene er falsifiserbare, de er alle 'vitenskapelige'. Likevel ser vi umiddelbart at de ikke er like interessante, eller at de ikke er like 'dristige'. Det er det siste utsagnet som er mest 'dristig'. Det er dette som 'sier mest' om verden: Det sier noe om *alle* planeter, og det sier noe temmelig presist om hvordan de beveger seg. Det siste utsagnet er mer generelt enn de to første, ja, det *inneholder* faktisk de to første. De første utsagnene kan falsifiseres bare ved å studere Mars, det siste utsagnet kan falsifiseres ved å studere en hvilken som helst planet. Det siste utsagnet er altså *mer* falsifiserbart enn de to andre. (Og det andre er mer falsifiserbart enn det første, fordi det sier mer presist hvordan Mars beveger seg.)

Ifølge Popper er det *graden av falsifiserbarhet* som avgjør hvor vitenskapelige ulike hypoteser eller teorier er.

### 8.6.2 Dristighet

Popper hevder at vitenskapen går framover ved at den lærer av sine *feil* og at den er åpen for kritikk. Han holder opp et ganske annet vitenskapsideal enn det induktive: Mens vitenskapen ifølge det induktive synet går forsiktig framover med små skritt, hevder Popper at vitenskapen går framover ved at den framkaster dristige hypoteser, som så blir kritisk undersøkt i forsøk på falsifisering. Og støttepilarene i vår vitenskap

er dristige påstander som har motstått utallige forsøk på falsifisering! Popper hevder at vitenskapen aldri *beviser*, men alltid søker å motbevise, falsifisere. Ja, det er bare utsagn som *kan* falsifiseres, som kjennetegner vitenskap, og som skiller vitenskap fra 'pseudovitenskap' og tåkeprat!

Dette strider kanskje mot vanlige oppfatninger av vitenskap: Popper hevder at vitenskapen ikke leter etter *bekreftelser* på hypotesene sine, han sier at den prøver å finne *moteksempler*! Tusen bekreftelser er plutselig ingen ting verdt hvis vi finner ett moteksempel. Da må hypotesen forkastes eller i alle fall endres.

Ifølge dette synet kan man aldri si om en vitenskapelig teori at den er *sann*. Man kan imidlertid si at den hittil har vist seg å holde stikk, man kan også si at den er *bedre* enn andre teorier. Når en teori blir forlatt til fordel for en annen, så er det fordi den gamle er falsifisert og den nye er bedre i stand til å beskrive virkeligheten. Slik går vitenskapen framover ifølge dette vitenskapssynet.

Grunntankene i Poppers vitenskapsfilosofi burde ikke være vanskelige å begripe. mange skatt nok litt i stolen da de i september 1994 leste den nekrologen over Popper som var laget av store pressebyråer, og som ble gjengitt i en rekke aviser, se rammen **Forvirrende Minneord om Karl Popper.**

### Forvirrende Minneord om Karl Popper

Karl Popper døde 18. september 1994. De velrenomerte pressebyråene NTB-Reuter-AP sendte ut en pressemelding, som blant annet ble gjengitt i Aftenposten. Der heter det:

"Poppers andre kjeppest var vitenskapens objektivitet -- så langt det er menneskelig mulig. Han insisterte på at de eneste gyldige vitenskapelige teorier er de som kan forfalskes. I korte trekk betyr dette at uansett hvor mange hvite svaner et menneske klarer å telle, kan man ikke slutte at alle svaner er hvite. For hva man vet, kan det dukke opp en sort når som helst." (Aftenposten 19. sept 1994)

Her har nok pressebyråene og Aftenposten gått skikkelig i vannet! Karl Poppers sentrale begrep *falsifikasjon* blir i denne omtalen oversatt med 'forfalskning'! Og det som er sagt om hvite svaner er antakelig en forvirret framstilling av hans kritikk mot at vitenskapen gjennom induksjon kan 'bevise' at en generell påstand er sann. Vitenskapsteori kan til tider være vanskelig -- men ikke *så* vanskelig!

### 8.6.3 Hypotetisk-deduktiv metode

Poppers vitenskapssyn kan også omtales som 'hypotetisk-deduktiv'. Han mener at vitenskapen består av to svært ulike faser: Den *dristige* framkastingen av hypoteser, og så den *kritiske* og forsiktige fasen der man prøver å falsifisere disse hypotesene.

Typisk er det at Poppers viktigste bok bærer tittelen 'Conjectures and Refutations' (Popper 1969). Med Conjectures sikter han til den første dristige fasen, framkasting av påstander, antakelser, hypoteser. Med Refutations sikter han til den andre fasen i vitenskapen, det mer forsiktige og systematiske arbeidet med å teste hypotesene i kritiske situasjoner.

Første fase kan ifølge Popper vanskelig beskrives logisk og 'oppskriftsmessig'. Det finnes ingen oppskrift som man kan følge for å få gode ideer, gode hypoteser. Her er det snakk om inspirasjon, om kreativitet. De gode ideene oppstår imidlertid ikke av seg selv, de må selvsagt springe ut av oversikt og fagkunnskap. Popper oppfatter det ikke som vitenskapsteoriens oppgave å beskrive i detalj hvordan slike gode ideer oppstår.

Noe nedlatende sier han at dette er en jobb for psykologer, ikke for filosofer. Han er imidlertid langt mer presis når det gjelder beskrivelsen av vitenskapens andre side, den *kritiske*.

Vitenskapens andre side er altså å være kritisk og analytisk, forsøke å finne situasjoner som vil sette hypotesene på en hard prøve. Og hypoteser som 'stiller seg til for hogg' på mange ulike måter, er altså de som oppfattes som mest vitenskapelige.

Mens vitenskapens første fase er kreativ og skapende, nesten kunstnerisk, er den andre fasen systematisk, velstrukturert og kritisk. Vitenskapen går framover i et samspill mellom disse to sidene. Selv om det logisk sett er to ulike faser, vil de i praksis ofte gå hånd i hånd og skje mer eller mindre samtidig. Dristig tenkning og kritisk testing.

#### 8.6.4 Popper: 'kritisk rasjonalitet'

Selv brukte Karl Popper uttrykket 'kritisk rasjonalitet' om sitt syn på vitenskapen. Selv om han avviste tanken om absolutte og endelige sannheter, var han på mange måter var han optimist. Han hevdet med styrke at vitenskapelig kunnskap stadig ble bedre, at nye tanker når fram fordi de faktisk er bedre og 'sannere' enn de gamle. Det ligger i hans falsifikasjonsideal at vitenskapelige hypoteser skal legges til offentlig debatt og kritikk. Han har tro på den fornuftige samtalen, dialogen. Ett sted sier han: "Jeg kan ta feil, og du kan ha rett, og ved en anstrengelse kan vi komme nærmere sannheten." (Popper 1966, s. 225)

Den som ikke aksepterer fornuften, kan heller ikke overtales med fornuftige argumenter. Vi skal senere se at enkelte postmoderne kritikere mener at 'fornuft' bare er konvensjoner som avspeiler en kulturs verdier. Da forsvinner også den fornuftige samtalen, og det finnes ingen måter å skille rett fra galt og sant fra usant. Dette kommer vi tilbake til i neste kapittel.

Poppers syn på vitenskapelighet har etter hvert fått stor tilslutning, også blant forskerne selv. Beskrivelsen svarer nokså godt til hvordan de selv ser sin virksomhet. Eller i alle fall: hvordan de selv gjerne vil at den skal være; kreativ og skapende, men samtidig nådeløst kritisk mot sine egne påstander! Og med åpenhet og dialog.

Men kritiske røster mener at dette vitenskapssynet ikke holder i praksis. Kritikken springer ut fra de samme to kildene som vi før har sett på: det faktisk historiske og det rent logiske. La oss se på innvendingene.

#### 8.6.5 Historisk kritikk av falsifikasjonismen

Ifølge Poppers beskrivelse av vitenskapens vesen vil ett motbevis føre til at en teori blir forkastet. Da blir det viktig å se på vitenskapens historie og finne ut hva som *i praksis* skjer i slike tilfeller. Er det riktig at forskerne forlater en teori når de har sett ett eksempel som ikke stemmer med teorien?

I rammen **Kaloric-teorien** ser vi et historisk eksempel knyttet til teorier om varme, 'kaloric-teorien'.

## Kaloric-teorien

På 1700- og 1800-tallet forklarte man varme og temperatur ut fra *kaloric-teorien*. Den gikk ut på at varme var et slags stoff, og dette (usynlige) stoffet ble kalt 'kaloric'. Når det var mye 'kaloric' i et stoff, var temperaturen høy; var det lite, var temperaturen lav. Man forestilte seg at kaloric-partiklene hadde en rekke egenskaper som til sammen gav en forklaring på en rekke fenomener. Blant annet tenkte man seg at de frastøtte hverandre. Derved strømmet de fra steder der de lå tett sammen, til steder der de fikk større avstand. Slik forklarte kaloric-teorien at varmen strømmet fra varme til kalde legemer. Varmen sprer seg alltid. De fleste andre termiske fenomener kunne forklares på tilsvarende måte.

Hvis kaloric er et stoff, så kan det selvsagt bare finnes en bestemt mengde av det i et bestemt legeme. Altså kan det ikke strømme ubegrensede mengder kaloric ut fra en bestemt gjenstand. Ett slikt eksempel ville falsifisere teorien. I et berømt forsøk er det nettopp det lord Rumhoff gjorde: Han la merke til at kanonrør av jern ble svært varme når man boret hull i dem. Han klarte å måle den varmen som ble utviklet, og fant ut at omtrent ubegrensede varmemengder strømmet ut fra dette metallstykket. Ifølge teorien var dette ikke mulig! Derved skulle man tro at kaloric--teorien var falsifisert, og at den ville bli forlatt. Men det skjedde slett ikke. Vitenskapen holdt fast på kaloric-teorien i årtier etterpå, til tross for at den strengt tatt hadde vist seg å gi feilaktige resultater!

Først mange tiår etterpå forlot man kaloric-teorien, og begynte i stedet å forklare termiske fenomener ut fra bevegelser i atomer og molekyler: Kraftige bevegelser betyr høy temperatur, svake bevegelser betyr lav temperatur osv. Den nye teorien kunne forklare alt det som den gamle teorien kunne forklare, og dessuten kunne den forklare det som skjedde med kanonrøret: Boret gjorde et stort arbeid på materialet i røret, og atomene ble satt i kraftig bevegelse. Ifølge den nye teorien var det ikke noen begrensninger på hvor stort arbeid man kunne gjøre på de små partiklene i metallet.

Eksemplet med kaloric-teorien er bare ett eksempel som viser at en teori kan leve i beste velgående selv etter at den strengt tatt er 'falsifisert'. Et hovedpoeng er at den gamle teorien først ble forlatt da man hadde et *alternativ*, en ny og bedre teori, en utfordrer til den gamle teorien. Da først er man villig til å forkaste den gamle. Så lenge man ikke har noe bedre alternativ, velger man å beholde den gamle teorien. Enten beholder man teorien, selv om man kjenner til dens svakheter. Eller man velger å bortforklare eller undertrykke de problemene den står overfor.

Kaloric-teorien er et eksempel på at en falsifisering ikke førte til at en teori ble forkastet. Historien har også eksempler på det motsatte, at det man tror er en falsifisering, kan vise seg ikke å holde stikk. Da Niels Bohr framkastet sin atomteori i 1905, inneholdt den flere påstander som direkte stred mot aksepterte fakta. Han påstod blant annet at elektronene i atomet går i bane rundt atomkjernen. Ifølge akseptert elektromagnetisk teori skulle ikke dette være mulig: Et elektron som skifter retning, vil sende ut stråling og derved miste energi. Beregninger viste at et atom bare skulle leve noen milliondels sekunder hvis det var laget slik Bohr påstod! Men Bohr holdt på sitt, nettopp fordi hans teori kunne forklare *andre ting* som ikke kunne forstås med de gamle teoriene. Og historien gav Bohr rett; det var bra at han ikke bøyde seg for det de fleste mente var en falsifisering!

Det siste eksemplet viser også at falsifisering slett ikke er så enkelt som det kan synes. La oss se litt mer i detalj på dette:

### 8.6.6 Er falsifikasjon mulig?

I det foregående snakket vi om 'falsifisering' som om det var en enkel sak rent logisk. Men det er slett ikke tilfellet: Skal vi falsifisere en teori, må vi vise til observasjoner der teorien ikke stemmer. Men hvordan skal vi formulere slike utsagn? Jo, vi må selvsagt bruke ord og begreper som har mening innenfor den teorien vi arbeider med.

Men her går vi i ring: De utsagnene som skal testes, blir uløselig knyttet til selve teorien, de får bare mening innenfor teoriens rammer. Derved blir falsifisering logisk sett ikke mulig. Det var dette som var tilfellet med Bohrs atomteori: Han laget en helt ny type teori med andre grunnbegreper enn i den gamle 'klassiske' teorien. Man kunne derfor ikke uten videre bruke begreper fra den *gamle* teorien til å utlede utsagn knyttet til den *nye*.

Og selv når vi har å gjøre med det som kan virke som en klar falsifisering, 'redder' man teorien ved å lage noen mindre endringer eller modifikasjoner. Dette kalles *ad hoc-hypoteser*, og de gjør at en teori i praksis kan bli temmelig immun mot falsifisering.

Denne enkle kritikken er Popper og andre teoretikere innenfor hans 'skole' klar over, og de kan selvsagt svare på så enkel kritikk. Poenget for oss blir her å forenkle argumentene slik at prinsippene kommer fram.

Moderne 'falsifikasjonister' ser ikke isolert på en enkelt teori, men bruker gjerne sitt syn når de skal sammenlikne *flere* 'konkurrerende' teorier. Da spør de ikke 'Er den gamle teorien feil?' De spør snarere: 'Er den nye teorien bedre enn den gamle?' De krever også av en ny teori at den ikke bare skal gi en forklaring på ting vi allerede har observert, en 'god' teori gir oss også nye ideer til å søke etter nye sammenhenger. I valget mellom ulike teorier kommer også graden av generalitet inn. Det har igjen sammenheng med graden av falsifiserbarhet. Falsifikasjonistene hevder at det er de mest generelle og falsifiserbare teoriene som vil 'seire'. Andre krav, som enkelhet, spiller også inn: Kan man velge mellom to teorier som i prinsippet har samme forklaringssevne, er det den enkleste som blir valgt.

### Falsifikasjon og ad hoc-hypoteser -- et eksempel

Galileo rettet sitt nye instrument, kikkerten, mot månen. Der observerte han høye fjell og dype daler. Månen var slett ikke slik som datidens skolastikere hevdet, nemlig perfekt sfærisk -- slik *alle* himmelske legemer etter teorien skulle være. Da skolastikerne endelig aksepterte å se i Galileos teleskop, måtte de medgi at de så det samme som han. De så fjell og daler. Men de hadde en forklaring som reddet teorien deres. De hevdet at månens overflate var dekket av et lag med usynlig og krystalliknende stoff. Dette laget var tykt i dalene og tynt på fjellene, hevdet de. Dette usynlige stoffet var fordelt på en slik måte at månen likevel var perfekt sfærisk.

Det var åpenbart for Galileo at dette var en *ad hoc-hypotese* -- en hypotese som ble diktet opp for å redde en viktig teori. Galileo spurte om det fantes måter å observere dette krystallstoffet på. Men nei, slike måter fantes ikke. Skolastikerne hadde altså innført en *ad hoc-hypotese* som gjorde at deres teori aldri ville bli falsifisert. Det var altså prinsipielt umulig å forkaste den. Men Galileo viste her også sitt diskusjonstalent. Noe overraskende *aksepterte* han at det fantes et slikt usynlig stoff på månens overflate. Men han hevdet at dette stoffet slett ikke lå nede i dalene. Han sa at det lå tykt oppå toppene. Det var nesten ingen ting nede i dalene, hevdet han. Derved ville hans egne observerte fjelltopper være enda større enn det kikkerten viste! På denne måten utmanøvrerte Galileo sine motstandere ved å spille deres eget spill.

Vi har nå sett på en del svakheter ved Poppers vitenskapsteori. I tillegg til den type kritikk som her er reist, kommer også en kritikk som hevder at Popper bare i liten grad tar hensyn til at det er *mennesker* som er aktører i vitenskapen, og at mennesker i vitenskap ikke er særlig annerledes enn folk flest. Det betyr at en teori om vitenskap også må ha elementer av psykologi og sosiologi: Det dreier seg om det som foregår inne i hodet til *den enkelte forsker*, og det handler om det som foregår i *samfunnet av forskere*. Poppers teorier bringer oss altså et langt skritt videre i forståelsen av vitenskapens vesen, men han er mer opptatt av vitenskapens *logiske* sider enn av de menneskene som deltar i prosessen. Kanskje er Poppers vitenskapsteori gode idealer som sier mye om hvordan man *bør* handle og tenke, men teorien er ufullstendig som beskrivelse av hvordan forskningen *faktisk* fungerer.

La oss nå se på beskrivelser av vitenskapen som også omfatter slike sider.

### 8.7 Imre Lakatos: 'forskningsprogram'

Vi har hittil sett på to vesensforskjellige teorirammer, den induktivistiske og den falsifikasjonistiske. Begge har svakheter, og ingen av dem gir noen god beskrivelse av det som kjennetegner vitenskapens vekst: hvordan en vitenskapelig teori vokser og utvikler seg over lang tid, hvordan den kan 'gå i stå' og stagnere, hvordan alternativer gror fram og etter hvert erstatter den gamle teorien. På sett og vis kan vi bruke en analogi fra *evolusjon* i biologien: Der observerer vi at en art kan oppstå, at den utvikler seg, utkonkurrerer andre arter, og til slutt bukker under for arter som konkurrerer på 'samme område'. Vi trenger en tilsvarende vitenskapsteori.

En teori som 'newtonsk mekanikk' består ikke av en samling uavhengige utsagn, det er en helhetlig struktur som har utviklet seg gjennom en lang historisk periode. De begrepene som brukes, har gradvis endret mening og blitt mer presise. Begrepene får sin mening via andre begreper. Og alle delene i teorien er vevd sammen, slik at 'alt bygger på alt'.

Her er en analogi: Et leksikon eller en ordbok forklarer nye ord ved hjelp av gamle ord. Hvis leseren ikke allerede har et brukbart vokabular, vil enhver ny forklaring være meningsløs.

En *teori* er nærmest som et *språk*, et sammenvevd system der alle ting henger sammen. Både språk og vitenskapelige teorier er kompliserte strukturer som er utviklet over lang tid.

La oss se på en beskrivelse av vitenskapelige teorier ut fra dette.

Filosofen Imre Lakatos (1974) bruker begrepet 'forskningsprogram' for å beskrive hvordan vitenskapelige teorier vokser, utvikler seg (og eventuelt dør). Han bygger i stor grad på en vurdering av vitenskapens *historie* når han utvikler denne teorien.

Med et *forskningsprogram* mener Lakatos en hel teori, f.eks. evolusjonsbiologien eller kvantemekanikken. Skal et forskningsprogram være godt, må det være i vekst, det må gi forskerne nye ideer (eller nye problemer!). Da sier Lakatos at forskningsprogrammet er *progressivt*. Men et forskningsprogram kan også stagnere, det kan slutte å gi forskerne gode nye ideer. Da omtales forskningsprogrammet som *degenerert*. Hvis det i en slik

situasjon foreligger et godt (og progressivt) alternativ, vil det nye forskningsprogrammet kunne utkonkurrere det som har degenerert. Det gamle programmet blir derved ikke direkte falsifisert, men det 'bukker under' i konkurranse med et mer levedyktig alternativ. Det betyr blant annet at man ikke kan si at den forlatte teorien var 'feil', mens den nye er 'riktig'.

Ifølge Lakatos er det slett ikke lett å 'falsifisere' et forskningsprogram. Han hevder at det er omtrent umulig i praksis. Han sier at det i ethvert forskningsprogram finnes en 'hard kjerne' av de mest fundamentale antakelsene. Det er disse hele programmet bygger på. Rundt den harde kjernen er det bygd opp et helt sett av tilleggsantakelser og hypoteser. Alt dette utgjør det Lakatos kaller et 'beskyttende belte'. Når man søker å falsifisere teorien, vil det beskyttende beltet ofte fange opp angrepene. Kommer det observasjoner som strider mot teorien, kan den ofte fange opp dette ved å foreta noen endringer i de mange tilleggsantakelsene som ligger utenfor den harde kjernen. Slik vil mesteparten av kritikken kunne prelle av, eller i alle fall ikke rokke ved de mest grunnleggende punktene i teorien.

Ifølge Lakatos forlater man altså ikke en teori fordi den er falsifisert, men fordi den har vist seg å være et dårligere redskap enn en konkurrerende teori.

## **8.8 Thomas Kuhn: vitenskapens paradigmer**

Også fysikeren og vitenskapsteoretikeren Thomas Kuhn (1923-1996) beskriver vitenskapelige teorier som helhetlige strukturer. (Se spesielt Kuhn 1970, på norsk i 199x) Men han bringer psykologiske og sosiologiske sider sterkere inn i sin beskrivelse av vitenskapens egenart. Kuhn sier at det sjelden er de strengt logiske argumentene som bestemmer hvordan vitenskapen arbeider. Han hevder at forskere er som 'vanlige mennesker', ved at de er opptatt av prestisje, makt og innflytelse. Kuhn avviser også Poppers bilde av forskeren som en kritisk person som alltid er villig til å endre sitt syn når fakta tilsier det. Tvert imot, hevder Kuhn, forskere er kanskje mer konservative enn folk flest. De endrer ikke lett sitt syn, de tviholder heller på det de tror på. Og dette er kanskje ikke så rart: Hvis man har brukt et helt liv på å bygge opp en virkelighetsforståelse, så er det slett ikke noen enkel sak å endre denne. Dessuten får man etter hvert sin egen identitet og prestisje som forsker knyttet til en bestemt teoribygning.

Resultatet blir ofte at folk som sitter i ledende posisjoner, får en slags personlig interesse om å holde på de gamle forestillingene. De har en rekke maktmidler til rådighet: Det er de veletablerte forskerne som skal utdanne de nye. Det er de gamle som skal gi undervisning, som skal gi eksamensoppgaver, som skal bedømme besvarelser. Og ved nye ansettelser er det de gamle som skal vurdere hvor gode de nye er. Det er også de veletablerte som skal bedømme hvilke artikler og avhandlinger som skal bli trykt i bøker og tidsskrifter. I slike situasjoner har man selvsagt lett for å bedømme de synspunktene man selv står for, som de riktige.

Ut fra dette maktapparatet fungerer ofte vitenskapen konserverende, slett ikke dristig og kritisk, slik Popper hevder. På sett og vis er det kanskje ikke noen stor motstrid her: Popper beskriver kanskje hvordan vitenskapen bør være når den tar idealene sine alvorlig, mens Kuhn hevder at han beskriver vitenskapen slik den faktisk har vist seg å fungere!

Det vi her har beskrevet, omtales av Kuhn som den normale situasjonen i vitenskapen, han kaller den 'normal science'. Men selv om beskrivelsen ovenfor kan virke negativ, hevder Kuhn at nettopp dette også sikrer kvalitet og framgang. Ved at det finnes veletablerte standarder for godt og dårlig, kan man lettere fjerne det diletantiske. Ved eksamener og bedømmelseskomiteer blir kandidatenes prestasjoner vurdert mot en gitt målestokk som har vist seg å være fruktbar for vitenskapen.

'Normal vitenskap' omtales av Kuhn også som å jobbe med puslespill, 'puzzle solving'. Forskerne beskrives slett ikke som kritiske og banebrytende, men snarere som små arbeidsmaur som er travelt opptatt med å bygge sin murtue av kunnskap ut fra en gitt byggeplan. Selve planen blir ikke vurdert, men de enkelte deltakerne blir dyktige arbeidere innenfor de rammene som er gitt.

Poppers kritiske forsker er travelt opptatt med å teste dristige teorier, i Kuhns 'normale vitenskap' er det nesten omvendt: Det er teoriene som tester forskeren! De som gjennom sitt arbeid viser at de behersker teoriene, får nye sjanser til å arbeide innenfor de samme rammene.

En kjent fysiker, Max Planck, sa noe liknende lenge før Kuhn: Han sa at nye ideer i vitenskapen ikke når fram fordi tilhengere av de gamle teoriene skifter mening. Nye ideer vinner fram fordi tilhengerne av gamle teorier etter hvert dør og blir erstattet med dem som tror på en annen teori!

'Normal vitenskap' er kjennetegnet ved at den skjer innenfor det som Kuhn kaller et *paradigme* (et gresk ord som betyr forbilde eller mønster). Med paradigme mener Kuhn nærmest hele den virkelighetsforståelse som ligger til grunn for forskningen, de begrepene man beskriver verden med, de spørsmålene det er riktig å stille, de metodene man bruker for å undersøke fenomener, osv. Normal vitenskap skjer altså innenfor et paradigme, en virkelighetsforståelse, en tradisjon.

Men paradigmer kan endres, selv om det slett ikke skjer ofte. Når det skjer noe slikt i vitenskapen, omtales den av Kuhn som *revolusjonær*. Når man er inne i et paradigmeskifte (eller før en vitenskap har fått noe dominerende paradigme!), mangler man en fast og felles målestokk for hva som er godt og dårlig. Både gode og dårlige ideer blomstrer. Ut av denne usikkerheten vokser det gjerne et nytt paradigme. Når det er etablert, får vitenskapen igjen fastere struktur, og den utvikler seg målrettet innenfor de nye rammene.



### Galileo og det nye heliosentriske verdensbildet

-- også kalt den vitenskapelige revolusjon

**Evolusjonsteorien** -- etter Darwin begynte man å se 'gamle data' med nye øyne. "nothing in biology makes sense except in the light of evolution" (derved blir en avvisning av evolusjonsteorien ikke bare et avvisning av en tilfeldig påstand eller tanke -- det blir angrep på biologien som vitenskap -- og på de øvrige naturvitenskapene, som er integrert med biologien i et nettverk av gjensidig støttende teorier.

Den kjente evolusjonsbiologen Theodor Dobzhansky har sagt: "Ingen ting i biologien kan i dag forstås uten i lys av at en evolusjon har funnet sted".

Newtonsk mekanikk

Einstein og relativitetsteorien

Kvantefysikken

Wegeners kontinentaldriftteori.

Harvey og blodomløpet

<<Paradigmeskifter -- vs. moteretninger>>

<<paradigmeskifter -- bruk og misbruk av begrepet av kritikere av vitenskapen>>

<<Paradigmer. også i samfunnsvitenskap?>>

## 8.9 Teknologi er *ikke* det samme som naturvitenskap

Dette kapitlet har gitt en innføring i noen av de ideer som preger diskusjonen vitenskapsteorien. Det kan være viktig å avslutte med en viktig avgrensning, nemlig å si noe om forholdet mellom naturvitenskap og teknologi. Vi har lett for å nevne disse to samme åndedrag -- nesten som om de var siamesiske tvillinger. Eller som om teknologi er vitenskap anvendt til noe praktisk. Da kan det være nyttig å minne om at den nære forbindelsen mellom vitenskap og teknologi faktisk er av nokså ny dato, i hovedsak et produkt av dette århundret, og spesielt etterkrigstiden.

Som før nevnt var vitenskapen nært knyttet til filosofien -- og erkjennelsen var et mål i seg selv. Filosofien og den tidlige vitenskapen ble drevet fram av folk som sto fjernt fra håndverk, slit og strev. Den tidlige vitenskapen ble bedrevet i privilegerte samfunnslag som slett ikke hadde som mål å anvende kunnskapene til noe praktisk eller produktivt. Man kan vel nesten si at ikke noe sto dem fjernere enn det jordiske og trivielle slit. Selv da vitenskapen begynte å ta form, skjedde det mer i tilknytning til borgerklassens salonger enn til den materielle produksjon. En dag dikt og klavermusikk, den neste dag fantastiske eksperimenter med elektrisitet, den tredje dagen forsøk med luftpumper, slik vi har det fremstilt på bokas forside. Naturvitenskapen henrykket og fascinerte borgerskapet, men alle var enige om at dette nok var *intellektuelle* utfordringer, men at det neppe noen gang kunne bli brukt til noe *praktisk*. Selv de første faser av den industrielle revolusjon ble teknologien drevet fram av folk uten teoretisk skolering og uten forbindelse til den organiserte vitenskapen. I den grad det var noen sammenheng mellom vitenskap og teknologi, var det teknologien som drev fram vitenskapen og ikke omvendt: Vitenskapen prøvde å forstå og forklare det som teknologien allerede mestret i praksis. Termofysikken ble utviklet for å prøve å forstå det som man allerede hadde klart i praksis med varmekraftmaskiner som f.eks. dampmaskinen.

Men både vitenskap og teknologi har endret karakter siden den gang -- og forbindelsen mellom vitenskapelig erkjennelse og praktisk, teknologisk anvendelse er i dag mye sterkere. Kanskje man noe dristig kan antyde at det var da naturvitenskapen ble 'nyttig'

at den mistet sin dyd og uskyld og at den derved ble utstøtt fra det gode kulturelle selskap? At den ved å vise seg praktisk anvendbar vakte avsky i de dannede sirkler, der man ut fra sine privilegier kunne tillate seg å se ned på jordiske og trivielle slit? Det kan være nyttig å operere med et skille mellom teknikk og teknologi.

Teknikk kan forstås i en nokså snever betydning som bruk av redskaper eller verktøy som er laget for å hjelpe oss til å oppnå et eller annet mål.

Teknologi er et videre begrep, det slutter på 'logi', og er 'læren om' det som har å gjøre med utvikling av redskaper og gjenstander. De fleste vil plassere en slik lære i en videre samfunnsmessig sammenheng der menneskelige behov og økonomiske og politiske krefter også spiller inn. Teknologi er altså noe annet og mer enn bare eksempler på praktisk bruk av naturvitenskap. På Figur xx er det antydnet noen kontraster mellom naturvitenskap og teknologi, og her omtaler vi dette noe mer i detalj slik det framkommer på figuren.

En grunnleggende forskjell er at vitenskapens mål er å *forstå* verden, mens teknologiens mål er å *løse problemer*. Også 'produktene' er svært ulike: vitenskapen 'produserer' tanker, begreper, ideer, lover og teorier, men teknologien virkelig produserer 'produkter' i en mer håndfast form, nemlig som materielle gjenstander eller ting som man kan ta og føle på. 'Sannhetskriteriene' er derved også vesensforskjellige. I vitenskapen spør man om noe er riktig, sant eller fruktbart, i teknologien er spørsmålet: Virker det? Har man bygd bro over en elv, er spørsmålet om brua blir stående og om den 'gjør jobben sin', ikke om den er 'sann' (eller om den er bygd på grunnlag av teorier som er 'sanne'). Det som virker bra, er bra. Vitenskapen vil vite Hvorfor, teknologien vil vite Hvordan (og til hvilken pris!). Vi kan også si at vitenskapen er preget av 'know why', teknologien av 'know-how'. Vitenskapen er opptatt av lovmessigheter, av det universelle og generaliserbare, mens teknologien er opptatt av det spesielle, det unike, det enkelte tilfellet (selv om den selvsagt anvender generell kunnskap.)

I sitt vesen er altså vitenskapen av prinsipp teoretisk og abstrakt; den søker å heve seg over enkeltfenomenene og gi generelle beskrivelser. Når elever derfor kan klage over at "naturfag er abstrakt", så har de derfor på sett og vis helt rett: naturvitenskap *er* abstraherende og teoretiserende! Man skal derfor ikke ta for lett på en slik kritikk, og man kan heller ikke se det som noe mål å fjerne abstraksjonene ved å "gjøre faget konkret". Gjør man det, unnlater man jo å få fram det essensielle i faget -- og da slipper man vel noe lettvint fra det? Poenget må vel være å få fram at teoriene og abstraksjonene er nyttige redskaper til å forstå og beskrive den konkrete virkelighet.

Vitenskapen er stort sett organisert etter vitenskapelige disipliner. Ja, det er nettopp denne organiseringen som konstituerer og definerer de vitenskapelige disipliner. Disse disiplinene (og grensene mellom dem) er ofte historisk betinget og til dels tilfeldige. Men ofte utvikler de over tid en bestemt 'kultur' som sett utenfra kan fortone seg heller spesiell. (mer om dette under senere kritikk av vitenskapen fra sosiologisk og annet perspektiv). Selv når fysikere og kjemikere studerer 'samme fenomen', kan de gjøre dette på temmelig ulike måter, bestemt av snevre fagtradisjoner.

Teknologien følger ikke et slikt mønster. Også i sin organisering er den pragmatisk, den organiseres på en måte som er *effektiv* ut fra den gitte mål. Industri som ikke er effektiv, vil gjennom markedsmekanismene presses ut av virksomheter som er mer effektive.

Teknologien er nødt til å trekke inn den type kunnskap som er nødvendig for å løse bestemte oppgaver, eller for å tilfredsstille bestemte behov. Eller om vi vil: de må *skape* et behov for det de kan produsere. Teknologien er 'anvendt' og tverrfaglig. I tillegg til den naturvitenskapelige kunnskapen, må den benytte seg av kunnskap om formgivning, økonomi, markedsføring og reklame. Den må trekke inn bruker altså kunnskaper fra psykologi, sosiologi og utallige andre fagdisipliner.

En av kategoriene i Figur xx er omtalt som 'maktkilde'. For vitenskapens del er dette forsknings- og universitetsmiljøer, for teknologiens del er det industri og næringsliv. Det betyr i praksis at dette er disse gruppene som antakelig vil 'vokte' over slik kunnskap i skolen. Det innebærer også at naturvitenskap i skolen kan forstås som 'før-akademisk' eller studieforberedende, mens teknologi kan ha et klarere preg av å være yrkesforberedende.

En fundamental forskjell mellom vitenskap og teknologi er antydning i siste rubrikk: Vitenskap er 'gratis', mens teknologi er 'dyr'. Vitenskapelig kunnskap er publisert og fritt tilgjengelig, mens nye tanker og produkter i teknologien ofte oppfattes som hemmeligheter som må skjermes mot innsyn. Teknologien er også beskyttet med lisenser og patenter. Teknologiens folk gjør det godt når de har hemmeligheter som er godt skjermet, mens karriere i vitenskapen er avhengig av at man er først ute med å publisere sine nyheter. Det er dette som gir anerkjennelse. Graden av åpenhet er altså ikke et *moralsk* spørsmål, men snarere en beskrivelse av de ytre spilleregler som gjelder. Og her er det altså fundamentale forskjeller mellom vitenskap og teknologi.

Også her ser man imidlertid at skillet er i ferd med å forsvinne i de siste tiårenes utvikling. Mye av den såkalte grunnforskningen skjer nå i industriens egne laboratorier, eller med støtte direkte fra industri. Forskerene er i slike sammenhenger ofte pålagt en viss taushetsplikt av sin oppdragsgiver, som selv har økonomiske interesser i å være først ute med å omsette de nye tankene til salgbare produkter. Vi ser også hvordan forskere i annen 'ren grunnforskning' kan ta ut patenter på sine ideer, som de så kan selge til industrien. I de siste tiårene er skillet mellom vitenskap og teknologi blitt langt mer utydelig enn før. Vitenskap og teknologi har inngått i en slags allianse. Man aner raskt at dette også berører vitenskapens 'nøytralitet' og 'troverdighet'. Folk flest aner at vitenskapen ofte kan være kjøpt og betalt, at den tjener andre interesser enn den rent objektive "søken etter sannhet". Ziman (1996) reiser spørsmålet "Has science lost its objectivity?"

Selv om vi i dag har en nær forbindelse mellom vitenskap og teknologi, er det viktig å få fram at det slett ikke er noe entydig forhold -- og langt fra noe herre-knekt-forhold. Teknologi er noe langt *mer* enn bare anvendt naturvitenskap. Teknologien har eksistert lenge før vitenskapen - og helt uavhengig av vitenskapens ønske om å forklare og forstå.

Det er nokså vanlig å hevde at eldre kulturer, f.eks. den kinesiske, hadde utviklet vitenskap lenge før dette ble gjort i Europa. Ofte henviser man da til at de lagde papir, krutt og raketter, produserte kompliserte metallegeringer, hadde avanserte vanningsystemer osv. Jeg tror det er riktigere å hevde at de hadde utviklet en rekke *teknologier* før dette ble gjort i vestlig kultur, men at denne (heller ikke der) var forbundet med vitenskap i den betydning vi legger i dette begrepet. Kinesernes 'forklaringer' på naturfenomener var snarere knyttet til mystikk, animisme og teleologi enn en vitenskapelig oppfatning av årsak og virkning.

For å få fram noen av ulikhetene har jeg nedenfor satt opp i tabellform noen kontraster mellom vitenskap og teknologi. Bildet er med vilje forenklet for å få fram nettopp ulikhetene.

Tabell xx:

*En skjematisk oppsummering av noen forskjeller mellom (tradisjonell) naturvitenskap og teknologi, slik det er utdypet i teksten.*

Naturvitenskap	Teknologi
Forklare, forstå, begrunne: Hvorfor skjer det? "Know why"	Løse praktiske problemer, mestre konkrete situasjoner. (Hvordan) virker det? "Know how"
'Produkt': ideer og begreper	Produkt: materielle gjenstander, artifakter, ting
Det generelle: Begreper, idéer, lover, teorier	Det spesielle: Det unike, enkelttilfellet
Teoretisk og 'abstrakt'	Praktisk og 'konkret'
"Ren" og disiplin-orientert	"Anvendt" og tverrfaglig (også økonomi, psykologi, sosiologi etc.)
'Maktkilde': Forskning, universiteter	'Maktkilde': Industri, arbeidsliv
'Gratis', åpen, tilgjengelig, universell Kamp om å være først til å gjøre kjent kunnskap	'Dyr', patenter, lisenser, industrihemmeligheter Kamp for å beskytte og hemmeligholde ny kunnskap

Det er et viktig fagdidaktisk poeng i å være seg bevisst forskjellen mellom vitenskap og teknologi, selv om dette skillet i de siste tiår er blitt langt mer flytende enn før. I en rekke land har man nå innført teknikk eller teknologi som egne fag i den skolen, ikke bare som yrkesforberedelse, men som del av allmenndannelsen. I dag er teknikk og teknologi innført som nye fag i grunnskolen i både Danmark Natur/teknik i 1-6. klasse) og i Sverige (Teknik i 1-9. klasse) Også i den nye generelle del av den nye norske læreplanen er teknologien viet stor plass, men dette ble ikke fulgt opp under utviklingen av planverket for L97. Hvis man ser på mye av det som er utviklet under merkelappen teknikk eller teknologi, blir man slått over fraværet av enighet om hva dette skal bety i praksis. Noen av de eksempler som brukes i fagene teknikk og teknologi er rett og slett praktiske forsøk fra tradisjonell fysikk, en slags gjenoppdaging av enkle fysikkeksperimenter, men nå med en ny merkelapp: teknikk.

Mitt poeng er altså vi bør se noe mer kritisk på hva vi faktisk mener når vi sier at teknikk og teknologi skal inn i skolen. Vitenskap og teknologi er slett ikke bare to sider

av samme sak, en teoretisk og en praktisk. Mange av de argumenter vi bruker for mer *naturfag* i skolen er kanskje gode argumenter for teknikk eller teknologi i skolen? Dette skal vi diskutere mer i kapittel xx.

## 8.10 Oppsummering så langt: Et konstruktivistisk syn på vitenskapen

"Physical concepts are the free creations of the human mind and are not, however it may seem, uniquely determined by the external world." (A. Einstein in *The Evolution of Physics* with L. Infeld, 1938)

Vi har nå sett på flere forsøk på å beskrive vitenskapen og dens virksomhet. Vi har nevnt noen teorier, enda flere kunne ha vært nevnt, og i neste kapittel skal vi se på kritikk og 'angrep' på naturvitenskapen. Årsaken til dette noe forvirrende bildet er nokså åpenbar: Det vi prøver å beskrive, er et mangfoldig fenomen, og det er lite tenkelig at én enkel teori kan gi en dekkende beskrivelse.

I vår gjennomgang av ulike teorier skisserte vi først det 'klassiske', empiristiske eller induktivistiske synet, beslektet med positivismen. En hovedgrunn for å legge stor vekt på denne beskrivelsen er at det er nokså utbredt, til tross for sine åpenbare svakheter. Deretter så vi litt på Poppers hypotetisk-deduktive metode, der falsifiserbarhet stod som et sentralt poeng. Poppers vitenskapsteori og hans kritiske rasjonalisme har stor innflytelse, og bildet av den kritisk analyserende forskeren står for mange som et ideal for hvordan vitenskapen *burde* arbeide. Men Popper tar i liten grad hensyn til psykologiske og sosiologiske vurderinger. Hans analyser er i stor grad basert på den *logiske* status til vitenskapelig erkjennelse. Hvordan de nye tankene faktisk blir til, utvikler seg og blir akseptert, er for ham ikke så interessant.

Men de mer menneskelige sidene ved vitenskapen er bedre beskrevet i de to siste teoriene: Lakatos' 'forskningsprogram' og Kuhns 'paradigmer'. Begge disse teoriene legger vekt på vitenskapen som sosiale aktiviteter, der både personlige, sosiale og historiske faktorer spiller inn. Vitenskapen er en komplisert sosial aktivitet. Deltakerne i denne aktiviteten er mer eller mindre vanlige mennesker, og deres tanker og handlinger må forstås ut fra dette.

Selv om dagens vitenskapsteoretikere bruker ulike begreper og har ulikt syn på mange sider ved vitenskapen, ser det ut til at de på noen sentrale områder er enige. Dette kan vi omtale som et *konstruktivistisk* syn på vitenskapen, i alle fall i en 'moderat' betydning av dette begrepet. La oss utdype den betydning begreper og teorier har i et slikt kunnskapssyn:

Vi ser aldri verden direkte, som den 'egentlig' er. Vi ser den gjennom våre begreper, våre egne forventninger, vår egen før-forståelse. Filosofer som Kant snakker om verden *i seg selv* og verden *for meg*. Han sier at jeg bare har tilgang til verden slik den er *for meg*. Og gestaltpsykologen Koffka sier at vi ikke ser verden slik *den* er, men slik *vi* er. Vi ser verden gjennom de oppfatninger, begreper, teorier og forventninger som vi bringer med oss.

Selv enkle 'fakta' blir til fakta nettopp fordi vi bringer med oss teori til situasjonen. Det er altså 'teorien' som bestemmer hva vi skal se, det er teorien som bestemmer hva som

skal *bli til* fakta. Det er altså ikke de enkle fakta som er det primære, og som leder oss til teori. Det er like mye omvendt: Det er teorien som bestemmer hva som utgjør fakta.

Vanlig 'sunn fornuft' sier oss at vi ser verden slik den er. Enkelt og greit. Men sunn fornuft tar feil. Dette svært utbredte synet på erkjennelse svarer godt til det positivistiske vitenskapssynet. Det går ut på at sansene gir oss enkle, objektive og uproblematisk signaler -- udiskuterbare fakta. På dette grunnlaget mener positivismen at vi logisk kan slutte oss til lovmessigheter, teorier og generelle sammenhenger. I denne enkle formen er positivismen nå forlatt av de fleste filosofer. Men den lever selvsagt videre som 'common sense' -- også blant erklærte motstandere av 'positivisme'.

De fleste er i dag enige om at teorier ikke uproblematisk følger av sanseintrykk og erfaringer, men at rekkefølgen like gjerne er den motsatte: Det er teoriene som bestemmer hva som blir til fakta. Vi ser umiddelbart at dette får klare konsekvenser for læring: *erfaring* er i seg selv ingen garanti for læring. Mennesker hadde erfaring med å kaste stein og skyve rundt på ting i årtusener før Newton. Likevel 'oppdaget' de ikke hans enkle lovmessigheter. Og da er det vel noe drøyt å vente at hver enkelt grunnskoleelev skal gjenta Newtons tankebedrift på grunnlag av noen enkle skoleforsøk, slik man nærmest forutsatte i en del av de store internasjonale naturfagprosjektene fra 1960- og 70-tallet? Nei, det trengs input av teori og refleksjon. Det kommer vi tilbake til.

Hovedpoenget er at teori er nødvendig for å gripe verden, selv på det helt enkle plan. Vi kutter opp verden på ulike måter for å skape orden og mening. Begrepene våre er én måte å kutte opp verden på. *Morsmålet* kan oppfattes som den mest grunnleggende teorien om verden. Det inneholder begreper og måter å sette sammen utsagn på som skaper mening og felles forståelse. Og siden vårt morsmål er felles, ser vi ikke så lett at verden kan oppfattes på helt andre måter. Men det finnes *andre* språk som deler verden på andre måter.

Mens vårt språk er sterkt preget av substantiver, navn på ting, er det andre språk som er bygd på verb, på prosesser. Verden vil se annerledes ut gjennom to så ulike språk, fra å være en verden med ting og relasjoner mellom disse til å være en verden av prosesser, fra en verden der stabilitet er 'naturlig' og der forandring krever en forklaring, til en verden der forandring er det 'naturlige' og der det er stabiliteten som er unaturlig og krever en forklaring. (Dette eksemplet er hentet fra Claxton 1984.)

Ulike språk betyr ikke bare ulike ord for 'samme' ting. De kan også bety kvalitativt ulike måter å dele opp (og sette sammen!) virkeligheten på. Mange 'læringsproblemer' hos innvandrere fra kulturer som er svært ulik vår egen, kan føres tilbake til slike grunnleggende ulikheter i deres mest fundamentale 'teori' om verden. Språk er ikke bare et redskap til kommunikasjon, språket gir oss redskap til å tenke med. Andre språk gir andre tanker.

<<så langt mest internalistisk. I neste kapittel skal vi gå lenger, og se på kritiske angrep på vitenskapen>>

## 8.11 Oppgaver

### 8.11.1 Skal elever lære om vitenskapens vesen?

I dette kapitlet har vi sett på teorier om hva naturvitenskap 'egentlig' dreier seg om. Det kan reises vanskelige spørsmål:

Har dette noen betydning for skolens naturfagundervisning? Skal dette bli lærestoff for elevene? I så fall: Hva og hvor mye? Eller er det mer bakgrunnsstoff for læreren, slik at det 'farger' presentasjonen av lærestoff? Hvis dette skal bli lærestoff, vil det ikke da trekke oppmerksomheten bort fra det som faget 'egentlig' skal handle om, nemlig å lære elevene det sentrale innholdet i naturvitenskapen? Skal de lære filosofi, så bør vel det være et eget fag og ikke gå på bekostning av naturfaget?

Gi egne svar på dette viktige spørsmålet, men vurder også de offisielle mål som er nedfelt i fagplaner fra dette perspektivet.

I den omtalte amerikanske rapporten Science for all Americans (AAAS 1989) tar man et klart standpunkt. Der hevdes det at 'The nature of science' er like viktig undervisningsinnhold som det rene fagstoffet. Man trekker også fram at det er viktig å gi et 'historical perspective' hvis man skal kunne forstå naturvitenskapens egenart.

### 8.11.2 Hva kan falsifiseres?

Ifølge Poppers vitenskapsteori er en hypotese bare vitenskapelig hvis det finnes måter som den kan motbevises på. Vurder om disse hypotesene tilfredsstillt kravet til falsifiserbarhet:

- 1 Fredag den 13. er en ulykkesdag
- 2 Planetene går i ellipsebener
- 3 Regelmessige kostvaner gir god helse
- 4 Folk født i Tvillingenes tegn er kreative
- 5 Menneskets celler har 38 kromosomer
- 6 Mennesker kan ikke bli eldre enn 135 år
- 7 Skismurning Bix gir bedre gli enn skismurning Wix
- 8 Universet er 15 milliarder år gammelt

Vurder for hvert enkelt utsagn om de *i prinsippet* kan falsifiseres. (Altså *ikke* om du tror utsagnet er riktig eller galt!) Kanskje noen av utsagnene kan bli falsifiserbare hvis de blir presisert nærmere, eller 'operasjonalisert', som man ofte sier? Angi *konkret* hvordan du ville prøve å falsifisere de utsagnene som du mener er falsifiserbare.

### 8.11.3 Vitenskapens idealer -- eller selvros?

Vi har sett at det er ulike syn på vitenskapens egenart og dens vekst. Både positivismen og Poppers falsifikasjonisme legger stor vekt på at det finnes klare og objektive kriterier for hvordan kunnskap blir 'gyldig', selv om de mener dette kan beskrives på svært ulike måter. I Poppers falsifikasjonisme har vitenskapen gitt avkall på positivismens visjon om at den forvalter absolutt sann og bevist kunnskap. Nå er man mer måteholden med å gjøre krav på kunnskapens gyldighet. I prinsippet kan den endres, den oppfattes ikke

lenger som statisk. Vitenskapens folk har altså måttet gi avkall på en for dem behagelig myte, nemlig at de forvalter bombesikker og udiskutabel kunnskap som er bevist én gang for alle.

Men kanskje den ene behagelige myten er erstattet av en annen, og nesten like behagelig myte: Forestillingen om forskeren som en kritisk person som lever opp til de høyeste menneskelige idealer. Poppers bilde av forskningen som nådeløst selvkritisk, og med strenge krav til hva som kan passere som 'vitenskapelig', har en sterk appell også til dem som selv driver forskning. Det holder opp høye idealer som de fleste vil finne menneskelig tiltalende. For forskere vil en slik selvforståelse og et slikt 'offentlig bilde' opplagt være tiltrekkende.

Mens Poppers bilde av forskeren er den dristige og kritiske nyskaperen som alltid er åpen for egne feil, hevder Kuhn at forskere ofte er dypt konservative og lite åpne for nye tanker. Han hevder at nytenkning ofte blir sensurert og direkte undertrykt. Det er selvsagt for mye forlangt at forskere skal juble over en slik beskrivelse av dem selv og trykke dette til sitt bryst. Kuhns tanker har nok derfor lettere for å bli godtatt av dem som ikke selv rammes av kritikken.

La oss se på hvordan det amerikanske forskersamfunnet beskriver forskningens idealer i sitt omtalte 'Science for all Americans' (AAAS 1989):

Naturvitenskap er på mange måter en systematisk anvendelse av høyt verdsatte menneskelige verdier -- personlig integritet, utholdenhet, ærlighet, nysgjerrighet, åpenhet for nye ideer, skepsis og fantasi. Forskerne har ikke oppfunnet slike idealer, og de er ikke de eneste som har dem. Men vitenskapen framhever og bygger på slike verdier og demonstrerer på en dramatisk måte hvor viktige de er for å fremme menneskelig erkjennelse og velstand. Derfor, hvis naturfag blir undervist på en effektiv måte, vil resultatet bli at man styrker og fremmer slike menneskelige holdninger og verdier (s 134, min oversettelse).

Stemmer dette som en beskrivelse av hvordan vitenskapen faktisk fungerer? Bør slike idealer -- enten beskrivelsen er riktig eller gal -- etterstrebes i skolens naturfag? Kan man bruke slike argumenter for å hevde at det er noe spesielt med naturfaget, eller er idealene like gyldige i andre fag?

#### **8.11.4 Lærebøker og vitenskapssyn**

Noen lærebøker har egne kapitler av typen: 'Hva er naturfag?'. Andre steder blir vitenskapssynet formidlet mer implisitt eller integrert i teksten.

Gransk en lærebok i naturfag og let etter eksplisitte utsagn om kunnskapens vesen eller forskningens egenart. Finnes det slike utsagn? Om det ikke finnes, gir teksten i så fall uttrykk for et implisitt syn på vitenskapens vesen?

Typiske spørsmål man kan stille lærebøkene (og seg selv!), er følgende:



Gir bøkene uttrykk for noe syn eller standpunkt på

- om det finnes noen spesiell 'vitenskapelig metode'? Er det en bestemt eller flere? Skiller de(n) seg fra andre slags metoder?
- hva som skiller vitenskap og ikke-vitenskap, psevdovitenskap og overtro? I så fall hvordan?
- hva som kjennetegner vitenskapens vekst? Jevn og rettlinjet, stein på stein, eller sprangvis og gjennom revolusjoner?
- hva som eventuelt er spesielt med vitenskapelig kunnskap? Beskrives den som objektiv eller subjektiv? Stabil eller flyktig? Praktisk nyttig eller 'sann'?

#### 8.11.5 Er vitenskapen subjektiv?

Når vitenskapen blir framstilt som 'sosiale konstruksjoner' som i prinsippet kan forandres, følger det ikke da at også naturvitenskapelig kunnskap er nokså tilfeldig og subjektiv? Hvis alt kommer an på øynene som ser, slik det er antydnet i teksten, hvordan kan man da si at noen typer kunnskap er riktigere enn andre? At noen tar feil og andre har rett? Blir ikke resultatet at 'alt er relativt'?

#### 8.11.6 Autoritær eller åpen?

Vitenskapen forandres, teorier vokser, endres, forkastes, ny erkjennelse vinner fram og gamle forestillinger blir kullkastet. Og vitenskapen har som ideal at den skal være åpen for nye tanker, ingen ting skal a priori være utelukket. Likevel omtaler teksten i dette kapitlet en rekke populære ideer som overtro, okkultisme og mystisisme. Er ikke dette uvitenskapelig og autoritært? Bør ikke vitenskapen alltid ha et åpent sinn, slik at alternativene blir tatt alvorlig? Bør vi ikke i prinsippet være åpne for irisdiagnostikk, fotsoneterapi, auramassasje, magnetterapi, homøopati, tarrotkort, sjelevandring, antroposofi, pyramideenergi, reinkarnasjon, astrologi, UFO-logi, gjenferd og spøkelser? (Sidestillingen innebærer ikke at alt dette oppfattes som likeverdige!)

To 'vitenskapelige idealer' ser ut til å kolliderer: På den ene side *åpenhet* for det ukjente, på den annen side *kritisk skepsis*.

Hvis man velger å ta 'alternativene' alvorlig, bør de kunne undersøkes på samme måte som andre påstander, og vitenskapens krav om at påstander skal kunne dokumenteres og i prinsippet kunne falsifiseres, må også gjelde.

Ta for deg en av de mange 'mirakelhistoriene' som presenteres i ukeblader. Gi en kritisk vurdering av påstandene ut fra hva som er dokumentert.

#### 8.11.7 Foranderlig eller stabil?

Vitenskapen vokser raskt. Ny kunnskap erstatter gammel. Hva blir da poenget med å skaffe seg kunnskaper? Vil den ikke være foreldet før man vet ordet av det? Kan man ikke finne nye kunnskaper når man trenger dem?

Slike spørsmål blir ofte stilt, og de blir spesielt aktuelle når man har arbeidet med 'paradigmeskifter' eller skiftende 'forskningsprogram'. Da kan det være verdt å minne om at det bare er i historisk perspektiv at dette skjer. Paradigmeskiftene kommer ikke titt og ofte. Naturvitenskapen er til tross for enorm vekst også preget av stor stabilitet. Ta for deg en lærebok (uansett nivå) i naturvitenskap og vurder hvilke grunnleggende ideer som ikke er (for eksempel) minst femti år gamle.

### 8.11.8 Oppdage eller oppfinne?

Å *oppdage* betyr gjerne å avdekke eller å få øye på noe som allerede finnes, noe som objektivt sett eksisterer. Australia ble oppdaget, man oppdager nye blomsterarter og man oppdager av og til nye stjerner. Vi tenker oss da at de faktisk var der fra før, uavhengig av oss, selv om vi ikke visste det.

Å *oppfinne* betyr å skape noe nytt, finne på noe som ingen har funnet på tidligere. Hjulet og kruttet ble oppfunnet. I Norge har man funnet opp binderssen og ostehøvelen. De var der ikke før de ble laget.

Hva skal man så si om vitenskapens begreper? Finnes de ute i naturen, for så å bli oppdaget? Eller blir de konstruert, skapt inni våre hoder, altså oppfunnet? Vurder etter tur følgende naturfaglige begreper: fossiler, pattedyr, kromosomer, elektron, elektrisk spenning, evolusjonsteorien, kraft, energi, entropi.

Kanskje blir svarene forskjellige for de ulike begrepene? Pass opp for enkle svar, for dette har opptatt filosofene i tusener av år, og de er ennå ikke enige!

Vi har gjengitt et sitat fra Albert Einstein: "Physical concepts are the free creations of the human mind and are not, however it may seem, uniquely determined by the external world." Betyr dette at Einstein er 'konstruktivist'?

### 8.11.9 Svindel?

I rammen **Den vitenskapelige artikkel: En svindel?** er det antydning at den vitenskapelige artikkelen ut fra et bestemt perspektiv kan oppfattes som en forfalskning. Påstanden er at den sjelden gir en historisk korrekt beskrivelse av hvordan ting faktisk har skjedd. Finn en vitenskapelig artikkel og vurder den fra et slikt perspektiv. Samme sted er det også antydning at en slik presentasjonsform kan være svært effektiv til å presentere arbeid og resultater for andre forskere. Kan formen på slike artikler forsvares fra et slikt perspektiv?

### 8.11.10 Er forsøk med dyr etisk forsvarlige?

I teksten er det antydning at etiske vurderinger kan være av betydning for vitenskapelig virksomhet. Et helt konkret eksempel kan være om det er riktig å bruke dyr i vitenskapelige forsøk, og i tilfelle: Hva slags dyr, og hva slags forsøk? Svarene kan neppe gis som klare ja eller nei, antakelig vil det måtte trekkes grenser? Vurder noen eksempler:

Kan vi gjøre (dvs. bør vi kunne tillate) forsøk med sjimpanser for å studere reaksjoner på påført smerte? Og hvis ikke:

Kan vi gjøre slike forsøk med mer 'laverestående' dyr, som f.eks. insekter? Hvor går eventuelt grensen? Eller er det hensikten med forskningen som blir det avgjørende, slik at ulike hensyn må veies moralsk mot hverandre?

Kan vi teste ut en mulig kreftmedisin for mennesker på rotter?

Kan vi eksperimentere med arvestoffet til mink for at pelsen skal bli penere for kunden?

Hva slags argumenter bruker du/dere for og mot slike forsøk?

Hva skal til for at et forsøk med dyr blir etisk akseptable?

Når er de uakseptable? Hva veier tyngst: hensynet til dyrene eller til menneskers behov?

Og hvilke 'menneskelige behov' er det som skal ha forrang: Er bekjempelse av sykdommer mer moralsk høyverdig enn utvikling av ny kosmetikk?

#### **8.11.11 Vitenskapelig bevist?**

Finn eksempler fra media (i reklame eller i artikkelstoff) som bruker uttrykk som 'vitenskapelig bevist' når produkter skal selges eller argumenter skal framføres. Vurder hvilke syn på vitenskapelig kunnskap som ligger bak slike framstillinger. (Nesegrus beundring? Ukritisk aksept? Skeptisk tvil? Avvisning og latterliggjøring? etc. ) Gir ulike framstillinger samme bilde, eller finner vi en variasjon i vitenskapssyn i media?

#### **8.11.12 Forvalter naturviterne Sannheten?**

I Boksen "Når vitenskapen detroniseres" (i kap 1?) er det diskutert hvordan ulike grupper kan forholde seg til det faktum at vitenskapen ikke lenger kan oppfattes som sann og objektiv. Det er antydning at lærere i naturfag ofte kan foretrekke et syn på vitenskapen som at den er sann og objektiv. Stemmer dette bildet med egen erfaring med slike lærere?

Det er også antydning at mange elever mister interessen for naturfag nettopp fordi det gir seg ut for å være uproblematisk, autoritært og evig sant. Stemmer dette med egen erfaring med faget? Om det ikke stemmer med egen erfaring, kan dette være riktig for andre elevers eller studenters forhold til faget?

#### **8.11.13 Vitenskap = naturvitenskap?**

Det engelske ordet science betyr naturvitenskap. Det innebærer altså at på engelsk er vitenskap nærmest synonymt med naturvitenskap. Det er naturvitenskapen som er 'selve' vitenskapen. Snakker vi på engelsk om andre vitenskaper enn naturvitenskapen, så må vi legge til en slags forklaring, f.eks. 'social science', 'political science' osv. En slik språkbruk antyder at det ikke er 'riktig' vitenskap man har i tankene, men noe som likner! På engelsk trenger man ikke å si 'natural science', det holder med 'science', resten er underforstått.

Hvordan er praksis i norsk språkbruk? Hvis folk hører ordet 'vitenskap' i en norsk sammenheng, hva forbinder de med det? Slå opp i oppslagsverk, eller lag gjerne en liten uformell spørreundersøkelse.

Kan man hevde at den engelske 'definisjonen' av vitenskap er noe arrogant og imperialistisk overfor andre former for kunnskap enn den naturvitenskapelige? Men kanskje språkbruken gjenspeiler den status og prestisje som naturvitenskapen har? Eller som den har hatt? (Dette kommer vi tilbake til!) Og kan 'definisjonen' antyde at

naturvitenskapen på mange måter er en slags modell (eller ideal?) som andre vitenskaper har søkt å etterlikne, kanskje for å oppnå en tilsvarende status? (Også dette skal vi komme tilbake til.)

#### **8.11.14 Vitenskapelig metode: En definisjon?**

I det nye læreplanverket for norsk skole heter det i den generelle delen:

Vitenskapelig metodikk består av prosedyrer for ikke å bli lurt -- hverken av seg selv eller andre. (L93, s 14)

Vurder om en slik enkel 'definisjon' kan forsvares ut fra det som er hevdet i dette kapitlet. Kanskje kan dette utsagnet tjene som en spissformulering for hvorfor mange mener at folk flest bør ha kunnskaper om naturvitenskapen og dens metoder som del av sin allmenndannelse?

#### **8.11.15 Bare en teori?**

I vitenskapen er en 'teori' på sett og vis det høyeste nivået av kunnskap. Teoriene samler i seg begreper, modeller og lovmessigheter til en forståelsesramme som er på et høyt abstraksjonsnivå. Om vi vil: Det sikreste vi 'vet' om verden er nettopp disse teoriene. Men i dagligtale betyr en 'teori' nærmest det motsatte: Den antyder at det bare er en løs antakelse. Når vi ikke har peiling på om vi har rett, sier vi ofte at vi 'bare har en teori'. I diskusjon om f.eks. evolusjonsteoriens gyldighet, hevdes det fra religiøse fundamentalister at den 'bare' er en teori. Den er altså ikke 'sikker', den er nærmest en løs antakelse, og følgelig heller ikke sikrere enn enhver annen 'teori' -- som f.eks. at Verden ble skapt av Gud for 5-6 000 år siden og at alle arter da ble skapt samtidig. De som argumenterer for et slikt fundamentalistisk standpunkt, kan ofte også belegge argumentene med vitenskapsteori, der det jo er sentralt poeng at den vitenskapelige kunnskapen aldri kan bli sikker, og at den gjennom paradigmeskifter vil kunne endres og erstattes med nye ideer.

Kan man møte en slik argumentasjon uten å måtte bli bombastisk og autoritær på vegne av vitenskapen? Eller må man strekke våpen og innrømme at fundamentalistene har et godt poeng?

#### **8.11.16 Naturvitenskap og teknologi**

På figur xx og i teksten er det pekt på en rekke ulikheter mellom naturvitenskap og teknologi. Er dette en overdrivelse av ulikhetene? Og hva er de eventuelle konsekvensene for skolen undervisning? Gir det etter dette noen mening å snakke om 'vitenskap og teknologi' i skolen, når de to elementene faktisk er så forskjellige?

**8.11.17 Teknologi som skolefag?**

Bør teknologi bli eget fag i norsk skole? I så fall: Hva slags lærere er kvalifisert for å gi slik undervisning: allmennlærere med fagfordypning i natur- og samfunnsfag?

Universitetsutdannede naturvitere? Filologer eller samfunnsfaglærere? Eller kanskje ingeniører med praktisk-pedagogisk tilleggsutdanning?

*(Som påpekt -- dette kapittelet er et prøvekapittel, og det er ennå ikke helt ferdig! Jeg tar gjerne imot kommentarer og kritikk!)*

*Oslo november 1997, Svein Sjøberg (svein.sjoberg@ils.uio.no)*

## 9. Historisk-filosofisk dimensjon i fysikkundervisningen - vårt verdensbilde

### 9.1 Begrunnelser for historisk - filosofisk dimensjon i fysikkundervisningen i videregående skole

#### 9.1.1 Læreplanen

I læreplanen for studieretningsfaget Fysikk 2FY/3FY er fysikkens historisk-filosofiske dimensjon omtalt i kapittel 1: Generell informasjon:

«Fysikk er ikke bare et sett med lover og teorier som skal læres. Undringen over hvorfor ting skjer på den måten de gjør - spørsmålene om hvordan verden er blitt til, hvordan universet vil utvikle seg - innsyn i hvem de var de menneskene som har bidratt mest til vårt verdensbilde - et utvidet syn på teknologiens utvikling på godt og vondt - gjør fysikken til et spennende fag. Forståelsen av naturen, filosofiske tankerekker, etiske dilemmaer og historisk innsikt samles i et helhetlig fysikkfag.

Fysikk utgjør en viktig del av kulturarven vår, både fordi fysikk og teknikk representerer mye av grunnlaget for vår levestandard, og på grunn av den betydning naturvitenskapen har hatt for den historiske utvikling og for filosofisk tenkning».

Også i kapittel 2: Mål og hovedmomenter finner vi formuleringer om fysikkens historisk - filosofiske dimensjon. I 2.1 Felles mål for studieretningsfaget fysikk står: «Elevene skal kjenne til noen hovedtrekk av fysikkens historie, og kunne vise at fysikken er en viktig del av vår kulturarv»

Videre finner vi i Mål 1 både for 2FY og for 3FY:

«Elevene skal ha kjennskap til noen viktige epoker i fysikkens historie, og kunne gjøre rede for hvordan ny kunnskap og nye teorier har endret vårt verdensbilde»

#### 9.1.2 Hvorfor historisk fysikk?

Når læreplanen i så stor grad vektlegger fysikkens historisk - filosofiske dimensjon, er det rimelig å stille spørsmål om hvorfor vi skal ta for oss dette stoffet, hva vi skal ta med og hvordan vi skal legge opp undervisningen. Innenfor læreplanens rammer er det opp til elever og lærere å finne fram til en hensiktsmessig måte å behandle dette stoffet på.

Ved å arbeide med fysikkfagets historiske og filosofiske sider, kan elevene innse at fysikk er en viktig del av vår kultur

- bryte ned bildet av fysikk som et statisk og autoritært fag
- redusere motsetningene mellom to kulturer: den humanistiske og den naturvitenskapelige
- få en mer nyansert oppfatning av fysikkens utvikling og innse at våre dagers fysikk ikke er den endelige sannhet om verden
- få et mer nyansert bilde av det gjensidige forholdet mellom fysikk og teknologi

- innse at fysikere er «vanlige» mennesker som ikke alltid kompromissløst og uegennyttig søker «sannheten»
- innse at vanlige alternative forestillinger ofte har paralleller i tidligere tiders intellektuelle elite

Mange har dannet seg et bilde av fysikk som et statisk og autoritært fag med sikre og fast etablerte kunnskaper. Hvis tidligere tiders tanker om fysiske fenomener enten blir ignorert eller omtalt etter mønsteret «før trodde de at.., men nå vet vi..», vil et slikt feilaktig syn på fysikken forsterkes. Men dersom en tar for seg enkelte sentrale perioder i fysikkens historie og lar elevene sette seg inn i hvordan ny tenkning og nye forklaringer vant fram, vil elevene kunne få et riktigere bilde både av fysikkens kunnskaper og av metodene som benyttes i naturvitenskap.

### 9.1.3 Hvilke temaer skal vi behandle?

Hvis arbeidet med historiske og filosofiske aspekter skal gi elevene et nyansert syn på fysikkens utvikling, bør ikke stoffvalget bare være fokusert på anekdoter om berømte fysikere. Likevel er det viktig å få «innsyn i hvem de var de menneskene som har bidratt mest til vårt verdensbilde», som det heter i læreplanen.

Her følger en liste over temaer som kan være egnet til å gi elevene et videre faglig perspektiv.

Viktige fysikere, tankene og samtiden  
 Sentrale fysikkbegreper i historisk perspektiv  
 Utviklingen av det fysiske verdensbilde fra Aristoteles til vår tids kosmologi  
 Naturens minste byggesteiner  
 Kraft og bevegelse i historisk perspektiv  
 Tanker om beskrivelse, årsak og forklaring før og nå. Determinisme - statistikk  
 De store paradigmeskiftene  
 Fysikken og den industrielle revolusjon  
 Den moderne fysikkens gjennombrudd  
 Anvendelser av kjernefysisk kunnskap. Etikk og samfunn

### 9.1.4 Hvordan kan undervisningen legges opp?

Lærere blir ofte beskyldt for å bruke storparten av undervisningstiden til å forelese. Alternative undervisningsformer for historisk - filosofisk stoff i fysikk kan være:

- prosjektarbeid hvor elevene selv avgrensner en problemstilling, velger metode og presentasjonsform
- elevforedrag
- gruppearbeid f. eks. med studie av originaltekster

Tradisjonelt har vel de historiske elementene i undervisningen vært spredt over store deler av fysikken. Selv om en har begrenset tid til rådighet, kan det være bra å behandle noen få emner mer inngående slik at elevene for eksempel kan sette seg inn i forhold som hadde betydning i forbindelse med gjennombruddet for en ny fysisk teori.

## 9.2 Noen tanker om utviklingen av vårt verdensbilde

Verdensbilde er et begrep som brukes om verdensrommets organisering. I et geosentrisk verdensbilde slik vi finner det hos Aristoteles er Jorda verdens midtpunkt. Månen, Sola , planetene og stjernene befinner seg i et antall sfærer med Jorda i sentrum.

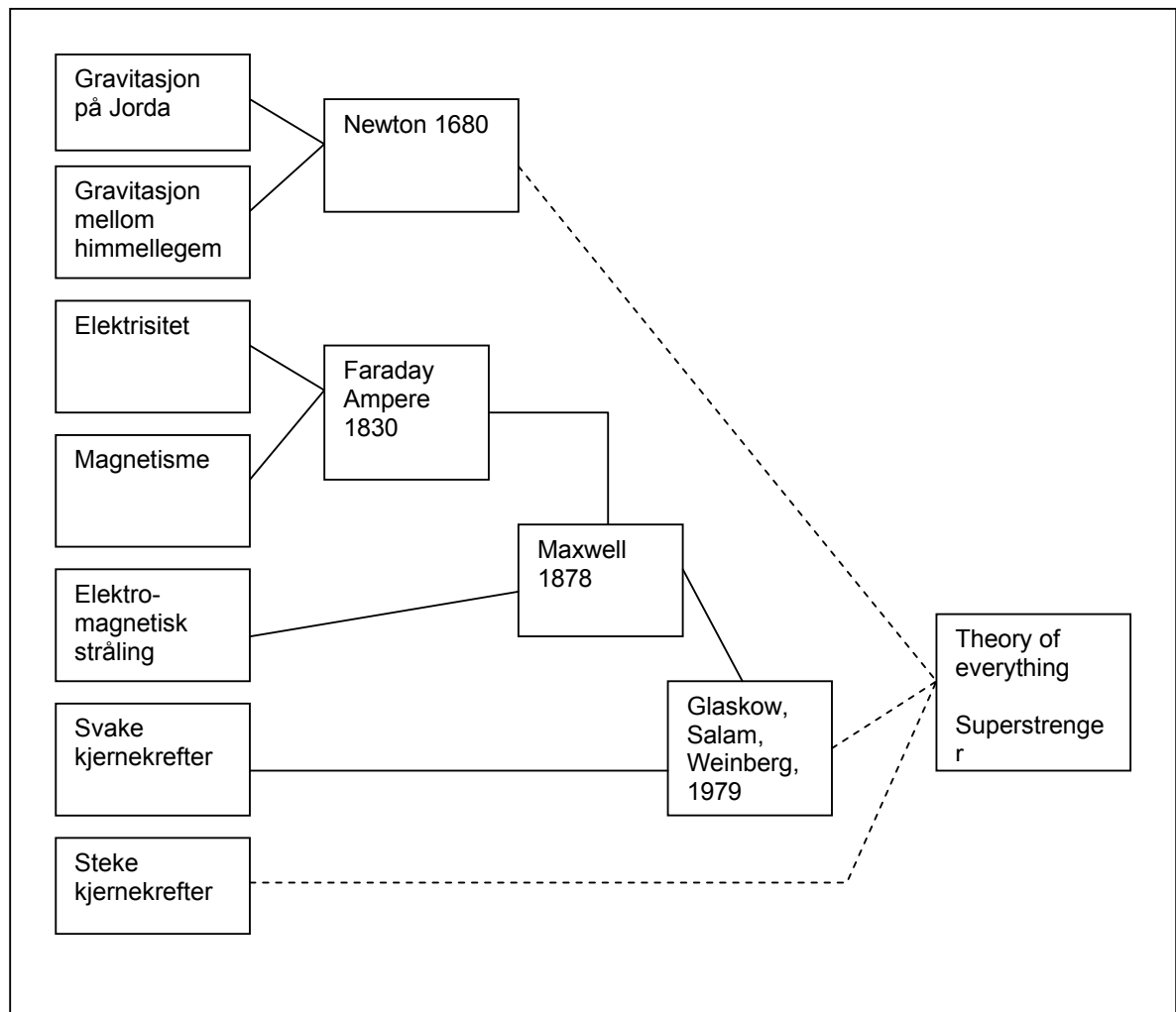
Copernicus, Galilei og Kepler var sentrale personer i utviklingen av det heliosentriske verdensbilde på 1500-tallet. Newton kom fram til at de samme fysiske lovene var gyldige både på Jorda og i verdensrommet. Gravitasjonsloven var universell. Etter vår tids kosmologi har ikke verdensrommet noe sentrum. I stor skala er verdensrommet homogent og isotropt.

Når vi snakker om vårt fysiske verdensbilde, brukes begrepet verdensbilde også i en videre betydning. Vi kan si at et verdensbilde er et helhetssyn på hva som er de viktigste elementene i vår verden. I en slik sammenheng består våre dagers fysiske verdensbilde av mange elementer:

- teorier om de minste partiklene og de fundamentale vekselvirkningene
- samspillet mellom rom, tid og stoff
- universets tilblivelse og utvikling
- hva kan vi forklare og hva er en forklaring?
- kan vi forutsi hva som vil skje?

I et historisk perspektiv kan vi si at vitenskapen har forsøkt å forklare naturens mangfold og kompleksitet ved hjelp av få byggesteiner og grunnleggende prinsipper. Som eksempler kan vi nevne atomteorien fra antikken, læren til Aristoteles om de fire elementene (jord, vann, luft og ild) og moderne elementærpartikkelfysikk. Fysikerne har søkt å beskrive verden ved hjelp av teorier med så høyt generaliseringsnivå som mulig. Følgende figur illustrerer hvordan ulike teorier er blitt forent og generalisert.





Det kan være interessant å sammenlikne fysikkens bilde av verden med fundamentale tanker i religioner eller alternative beskrivelser som astrologi osv. Både i fysikk og i religion stiller en seg spørsmål som

- Hvordan begynte det hele?
- Hvordan har universet blitt til?
- Er Jorda det eneste stedet der det finnes liv?
- Hva kan vi vite om framtida?
- Har alt som skjer en årsak?

Ved å la elevene delta i diskusjoner om slike emner, kan kanskje noe av den tradisjonelle motsetningen mellom de «harde» naturfagene og de mykere humanistiske fagene brytes ned. Samtidig lærer elevene forhåpentligvis noe om fundamentene for fysikkfaget.

## 10. Vurdering i fysikkfaget

### 10.1 Vurdering i videregående opplæring

Norsk læremiddelsenter har gitt ut en «Metodisk rettleiing. Vurdering i videregående opplæring - skule»

Her gjøres det rede for hele spekteret av vurdering: Skolebasert vurdering, individuell vurdering som ikke avsluttes med karakter, termin- og standpunktkarakterer og eksamen.

Vurdering i alle disse sammenhengene er naturligvis en viktig del av en lærers arbeid, og dette heftet kan være en god hjelp.

I det følgende vil vi ta opp noen problemstillinger knyttet til vurdering. Vi har valgt ut noen områder som vi synes er sentrale, men pretenderer ikke å dekke alle aspekter knyttet til vurdering i skolen. Vi kommer f.eks **ikke** inn på vesentlig områder som skolebasert vurdering og lærernes vurdering av egen virksomhet.

### 10.2 Hva sier læreplanen i fysikk om vurdering?

Kapittel 3 i læreplanen tar for seg **vurdering** i fysikk. Det står:

*Formålet med vurdering er å sikre en nasjonal standard i opplæringen, slik at vi får et godt og likeverdig opplæringstilbud for alle. Vurdering innebærer at resultatet av opplæringen vurderes i lys av målene i læreplanen.*

Læreplanen beskriver altså hvilke formål vurderingen skal ha, og skiller mellom **vurdering underveis** og **avsluttende vurdering**.

Den formelle vurderingen kommer til uttrykk i termin- og standpunktkarakterer. Tradisjonelt har skriftlige prøver vært et viktig grunnlag for fysikkarakteren, men det er viktig å huske på at det er elevenes **helhetlige kompetanse** som skal vurderes. Det vil si at det ikke bare er resultatene på prøver som skal telle med i vurderingsgrunnlaget, men også elevenes faglige aktiviteter, interesser og engasjement. Elevenes innsats og resultater i forbindelse med leksearbeid, innleveringer, arbeid med laboratorieøvinger og rapporter, gruppearbeid og prosjektarbeid skal inngå i vurderingen.

### 10.3 Eksempeloppgaver i fysikk

**Eksamenssekretariatet** har utgitt en eksempelsamling (oktober 1997) som tar for seg bl a lokal prøve i fysikk (2FY) etter R-94. Her presiseres det også at det er elevenes **helhetlige kompetanse** som skal vurderes.

I vedlegg 2 til læreplanen i fysikk står det at i 2FY kan elevene trekkes ut til en muntlig eksamen med eksperimentelt innslag, og at oppgavene utarbeides lokalt etter sentrale retningslinjer. I 3FY kan elevene trekkes ut til en skriftlig eksamen og/eller muntlig med eksperimentelt innslag. Disse bestemmelsene kan **ikke** skolen endre på ved lokal eksamen. Det betyr f.eks at det **skal** være eksperimentelt innslag ved muntlig eksamen i både 2 FY og 3FY.

Eksamenssekretariatet presiserer videre at eksamen **skal** f eks:

- omfatte både felles mål og målene i selve faget
- ta opp virkelighetsnære situasjoner, problemstillinger og arbeidsoppgaver
- knytte sammen teori og praksis gjennom mulighetene for anvendelse
- være problemorientert, ikke smal reproduksjon
- gi utfordringer til å løse nye oppgaver
- gi utfordringer til å innhente informasjon ut fra hjelpemidler
- gi mulighet for refleksjon og fordypning gjennom et realistisk omfang
- være tilpasset riktig nivå
- gi alle muligheter til å vise hva de kan

De sentrale retningslinjene åpner for en **mulighet** for en forberedelsestid for elevene på inntil 48 timer før selve eksamen. Her kan skolen selv velge om og hvordan de vil benytte denne muligheten.

Eksempeloppgavene i fysikk (2FY) er ment som råd og tips om hvordan eksamen kan være. Det er til sist den enkelte skole som arrangerer lokal eksamen. Det vil i løpet av skoleåret 1997/98 bli utgitt en eksempelsamling med eksamensoppgaver i 3FY.

I vurderingsveiledningen til eksempeloppgavene står det bl a at den helhetlige kompetansen i 2FY kan sammenfattes i tre kategorier:

- Kunnskaps- og ferdighetsgrunnlag
- Forståelse og anvendelse
- Analyse og vurdering

Vurderingen skal gi uttrykk for i hvilken grad eksaminanden har nådd de mål hun faktisk prøves i. Eksempeloppgavene tar sikte på å klargjøre hvilken oversikt og forståelse eksaminanden har tilegnet seg i faget. Det er ikke meningen at eksaminanden skal fortelle alt hun vet om de forskjellige spørsmålene, men hun må kunne trekke fram det som synes viktigst ut fra hva hver oppgave spør etter. Løsrevne faktakunnskaper er ikke nok til å få en god karakter. Det er i stedet viktig å sette kunnskapene inn i en sammenheng og behandle stoffet selvstendig.

På kurset bør en ta for seg eksempeloppgavene i 2 FY (også i 3FY når/hvis de foreligger). Som nevnt står skolene nokså fritt til hvordan en lokal eksamen skal være. Imidlertid vil signalene som sendes ut med en eksempelsamling 3FY-oppgaver, bli lang mer alvorlig og retningsgivende for undervisningen i fysikk siden det gjelder avsluttende skriftlig eksamen.

I det neste avsnittet skal vi ta for oss noen sentrale spørsmål knyttet til prøver, tester og eksamen. Det er gjort for å gi fysikklærere en noe bedre bakgrunn (også teoretisk) for å drøfte vurderingsspørsmål i fysikk.

#### 10.4 Eksamen og tester

Det følgende er et bearbeidet utdrag fra rapporten «*Er eksamen rettferdig*» av Carl Angell og Svein Lie fra 1993. Datagrunnlaget for rapporten er nå noen år gammelt, men

de prinsipielle aspektene vedrørende diskusjonen om eksamen og prøver er de samme. Vi vil også ta opp noen grunnleggende begreper i det som kalles **klassisk testteori**.

#### 10.4.1 Eksamen og funksjon

Et sentralt spørsmål er hvilken funksjon eksamen skal ha. Vi kan skille mellom en intern og en ekstern funksjon.

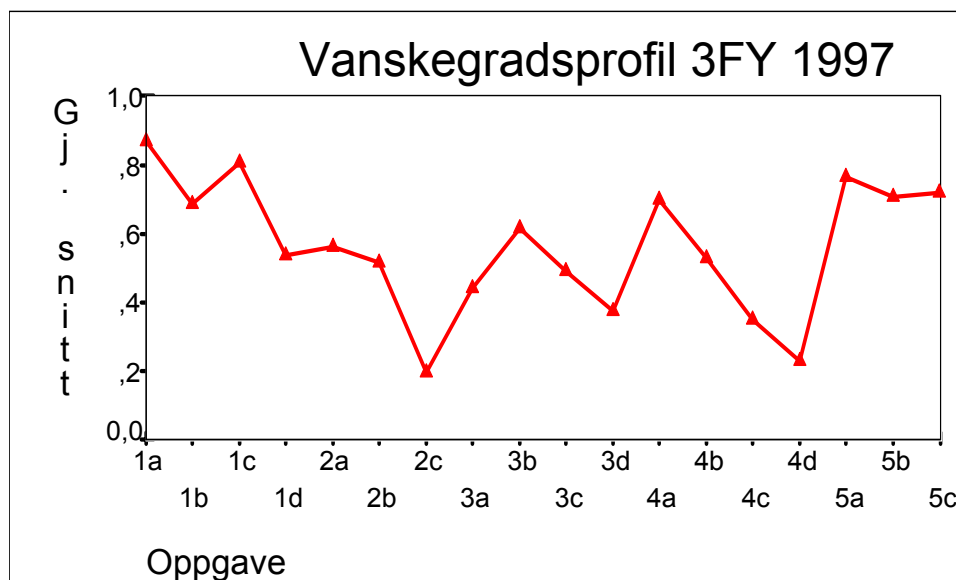
Den eksterne funksjonen betyr bl.a. at den skal informere samfunnet om skolens arbeid, og den skal gi elevene «billett» til videre utdanning. Eksamen har altså en sorteringsfunksjon, og måten dette blir gjort på må bli oppfattet som rettferdig. Det må være rettferdighet i den forstand at elevene konkurrerer på mest mulig like vilkår, og at eksamen fra et enkelt år er sammenlignbar med en hvilken som helst annen eksamen. Dette har stor betydning i forhold til oppgaver og sensurering, noe vi kommer tilbake til.

Eksamen har også en kontrollfunksjon. Rektor eller skolens ledelse får oversikt over eksamensresultater, og skolemyndighetene i fylke eller kommune får oversikt over eksamensresultatene i sine fylker eller kommuner. På samme måte får også lærerne tilbakemelding om sine elevers prestasjoner. Dette virker i noen grad normerende på lærerens egen undervisning og karaktersetning.

Generelt vil en intern vurdering bety at den skal ha en veiledende og diagnostisk funksjon, og at den skal virke motiverende. Men en eksamen skal også bidra til å fremme læring. Mange vil hevde at eksamen er den viktigste styringsfaktoren i et fag, og at den er så sterk at den tilsidesetter fagets målformuleringer. Eksamen, og ikke minst eksamenstradisjonen, virker så styrende at det faktisk er den som bestemmer innhold og ferdigheter i et fag. Dermed er det også eksamen som i stor grad legger premissene for undervisningen, både innhold og arbeidsmåter.

Slik som sentralgitt eksamen i videregående skole fungerer og er organisert i Norge i dag, gir den få muligheter for en faglig tilbakemelding. Det diagnostiske perspektivet på evaluering forsvinner i det norske eksamenssystemet. Et slikt perspektiv kunne ha bidratt til å si noe om læring, og gitt informasjon som kunne bli brukt konstruktivt i forhold til fag og undervisning.

Dersom eksamen skulle få en slik faglig og eventuelt diagnostisk funksjon, måtte det samles inn detaljerte data hvert år. I forbindelse med fysikkeksamen har det imidlertid vært utarbeidet en sensorrappport som bl a har inneholdt en vanskegradsprofil. Alle delspørsmålene til eksamen er normert til maksimum ett poeng, og en slik profil gir et godt bilde av hvordan de ulike deloppgavene har fungert. Det følgende diagrammet viser f eks hvordan elevene svarte på oppgavene til eksamen våren 1997.



Uten å gå i detalj kan en si at eksamensoppgavene viser en akseptabel gjennomsnittlig vanskegrad, en normal progresjon innenfor hver oppgave, men at spesielt oppgave 2c er for vanskelig!

I debatten omkring eksamen, særlig i media, blir det ofte hevdet mange synspunkter som bygger på sviktende grunnlag. Et av dem er at eksamen kan brukes som et mål på kunnskapsnivået i Norge. Når gjennomsnittskarakteren i et fag forandrer seg noe fra år til år, blir det tolket som at nå endrer «nivået» seg. Dette er en meningsløs diskusjon fordi gjennomsnittet og hele karakterfordelingen ved sensur justeres etter fordelingen de siste fem årene. Hvis en skulle bruke eksamen som et absolutt mål på kunnskapsnivå, måtte en bruke et helt annet system enn det vi har til rådighet i dag. I dag brukes eksamen i Norge til å evaluere elevene, altså måle deres kunnskaper slik at elevene kan sorteres. Ved en eventuell nasjonal evaluering, ville en måle noe annet.

#### 10.4.2 Klassisk testteori. Reliabilitet og validitet

I dette avsnittet skal vi diskutere problemstillinger knyttet til spørsmålet «*Er eksamen rettfærdig?*». Først vil vi imidlertid presentere noen sentrale testteoretiske begreper.

**Reliabilitet** er et svært sentralt begrep når vi skal drøfte eksamen og sensurering. I klassisk testteori brukes begrepet i tilknytning til ønske om konsistens eller reproduserbarhet i testskåre. En kan si at reliabilitet er i hvor stor grad eksaminanders testskåre forblir relativt konsistent dersom en gjentar samme test eller en alternativ test. Reliabilitet er med andre ord et uttrykk for hvor pålitelig en test eller eksamen er.

Når en eksaminand svarer på et sett av testoppgaver (f eks til en eksamen), vil skårene bare representere et begrenset utvalg av kunnskaper og ferdigheter. En kan betrakte testen som en delprøve hentet fra et uendelig univers av alle mulige oppgaver. En test, eller en eksamen, er derfor en av mange mulige prøver. En konsekvens av dette er at det er knyttet målefeil til de skårene eksaminanden oppnår. Slike målefeil kan grovt kategoriseres som tilfeldige og systematiske. Systematiske målefeil er slike som konsekvent påvirker en persons skåre på grunn av noen spesielle karakteristikk ved den personen eller testen som ikke har noe med hva som faktisk skal måles ved testen.

Tilfeldige målefeil, derimot, har følger for en persons skåre på grunn av rene tilfeldigheter. De kan selvsagt gå i begge retninger, både positivt og negativt. Kilder for tilfeldige feil kan være gjetting, distraksjoner i testsituasjonen, administrasjonsfeil, innholdsutvalget, lese/skrivefeil, eksaminandens tilstand i testsituasjonen, sensureringsfeil o.l. Poenget med slike feil er at hvis en kunne tenke seg at eksaminanden kunne ta den samme eksamen på et annet tidspunkt, ville ikke de samme tilfeldige feilene bli repetert, selv om nye tilfeldige feil utvilsomt ville oppstå.

Når en skal tolke testskåre eller eksamensresultater, er det nødvendig å ta hensyn til både systematiske og tilfeldige feil. Systematiske målefeil resulterer ikke i en inkonsistent måling, men de gir unøyaktige skåre og reduserer den praktiske nytteverdien. Tilfeldige målefeil reduserer både konsistensen og nytten av testskårene. Når det gis tester eller arrangeres eksamen, må vi forvente at det kan vises til en pålitelighet og rettferdighet i forhold til testskåre og karakterer.

I slik klassisk testteori baserer en seg på en modell der essensen er at observerte testskåre kan beskrives av to komponenter, en sann skåre komponent og en tilfeldig feilkomponent. Dette uttrykkes gjerne slik:

$$X = T + E$$

der X er observert skåre, T er sann skåre og betyr i dette tilfellet noe i retning av "dyktighet" i fysikk. E er den tilfeldige feilkomponenten.

I klassisk testteori blir testskåre brukt til å slutte eller tolke eksaminanders adferd i situasjoner utover selve testen. En ønsker å trekke slutninger fra testskåre til et større område av adferd som eksaminanden har i øyeblikket eller i framtida. Ansvarlig bruk av testskåre krever at testereren er i stand til å begrunne og rettferdiggjøre de tolkninger han gjør, og at han kan begrunne utvalget av en bestemt test fremfor en annen mulig test. Slike begrunnelser har to forutsetninger, testskårenes **reliabilitet** og **validitet**. En høy reliabilitetskoeffisient indikerer at det er konsistens i eksaminandens skåre, men sikrer ikke at det er en god faglig test.

**Validiteten** av en test er et mål for i hvor stor grad den måler det den gir seg ut for å måle. Validitet vil alltid referere seg til noe annet enn testen selv. Dette annet vil ofte være et teoretisk begrep («intelligens», kunnskap i fysikk, e.l.). Men det kan også være et dokument, en annen måling eller hendelse.

I vår sammenheng er det først og fremst innholdet i oppgaver vi vil være opptatt av. I klassisk testteori vil en f.eks si at "innholdvaliditet" vil innebære en prosedyre der et panel av uavhengige eksperter (andre enn oppgaveskriverene) vurderer om oppgavene er et adekvat utvalg innenfor et gitt område.

Det er åpenbart mange problemer knyttet til dette validitetsbegrepet. Vi skal ikke gå i detalj her, men bare peke på noen sentrale problemstillinger.

For det første vil det være et hovedproblem at selv om alle oppgavene i en test i og for seg passer til de målene som er satt opp, er det ikke sikkert at de i tilstrekkelig grad representerer det området av prestasjoner som testereren ønsker å tolke. F.eks. vil alle enkle regneoppgaver i fysikk kunne sies å representere innholdsmål for fysikkfaget,

men hvis vi ønsker å bruke oppgaver som tester andre områder, må vi kanskje bruke andre oppgavetyper. Vi må vite noe om hvilke mål som ikke dekkes av de foreslåtte oppgavene.

I noen grad vil det være relevant å bruke testresultater når en skal bedømme validitet. Hvis f.eks. oppgaver som er ment å teste samme mål ikke korrelerer i praksis, vil en kunne stille spørsmålstegn ved prosessen av tilpassingen av mål og oppgaver, oppgavenes kvalitet, eller hvor klare og presise målene er.

«Face-validity» er også et begrep som ofte forekommer i litteraturen. Dette begrepet er konstruert for å fange opp i hvilken grad en oppgave blir oppfattet som god. F. eks. vil høy «face-validity» kunne motivere elever til å yte deres beste når oppgaver på prøver oppfattes som meningsfulle.

I forbindelse med eksamen og skoleprøver vil en ofte bruke begrepet læreplan-validitet. En vurderer i hvilken grad oppgaver er relevante i forhold til en spesiell læreplan.

### 10.4.3 Fysikkeksamen og reliabilitet

Reliabilitet er som nevnt et uttrykk for hvor pålitelig en test eller eksamen er. Nå er imidlertid feilkildene av tre forskjellige slag, som hver for seg gir opphav til en usikkerhet i målingen:

$\sigma_{E1}$  på grunn av tilfeldigheten i oppgaveutvalget

$\sigma_{E2}$  på grunn av usikkerhet knyttet til sensorenes karakterfastsetting

$\sigma_{E3}$  på grunn av ulik vanskegrad år for år

Observerte skåre (eksamensresultatet) for en tilfeldig valgt fysikkelev et tilfeldig valgt år kan da skrives som:

$$X = T + E_1 + E_2 + E_3 \text{ der vi har satt } E = E_1 + E_2 + E_3.$$

Den totale feilvariansen blir da:

$$\sigma_E^2 = \sigma_{E1}^2 + \sigma_{E2}^2 + \sigma_{E3}^2$$

Vi starter med å bestemme  $\sigma_{E1}$ .

Vi beregnet en reliabilitetskoeffisient for hvert år som baserer seg på korrelasjonene mellom alle delspørsmål for hvert års eksamenssett, og den er  $\rho = 0.91$  for de tre årene 1989 til 1991. Denne reliabilitetskoeffisienten sier altså noe om korrelasjonen mellom en bestemt eksamen og alle andre mulige eksamener som en elev kunne tenkes å gå opp til i fysikk. Den forteller noe om hvor heldig eller uheldig en elev var med akkurat det eksamenssettet. Med andre ord, det er en tilfeldig målefeil i selve det utvalget av oppgaver som blir gitt.

En enklere tolkning av denne koeffisienten får vi hvis vi regner om til det som kalles **standard feil på målingen  $\sigma_E$** :

$$\sigma_E = \sigma_X \sqrt{1 - \rho}$$

Her er  $\sigma_X$  standardavviket på fordelingen av observerte skåre, og  $\rho$  er reliabilitetskoeffisienten.  $\sigma_E$  er altså en måleusikkerhet uttrykt ved et standardavvik. Dersom observert skåre er  $X$ , kan vi tolke dette slik at det er mindre enn 5 % sannsynlighet for at «sann skåre» ligger utenfor intervallet  $X \pm 2\sigma_E$ . To ganger standardavviket ( $2\sigma_E$ ) kalles ofte grenseavviket.

Her har vi regnet ut  $\sigma_E$  til å bli 0,41, og da har brukt en skala som tilsvarer karakterpoeng på den vanlige karakterskalaen fra 0 til 6. Dette kan oppfattes helt parallelt til måleusikkerhet slik vi er vant med i fysikken. I dette tilfellet blir usikkerheten (grenseavviket)  $2\sigma_E = 0.82$ . Denne usikkerheten er ganske stor. Det tilsvarer nesten en hel karakter når vi «oversetter» poeng til karakter.

Vi forutsetter her at karakterene er tilnærmet normalfordelt. Da kan vi si at når  $\sigma_E = 0.41$ , vil en elev som f.eks. får karakter 3 til eksamen, med 68% sannsynlighet egentlig har en sann karakter som ligger mellom 2.6 og 3.4. Men det betyr at det er en sannsynlighet på omtrent 30 % for at den sanne karakteren ligger utenfor dette intervallet, og at både karakteren 2 og 4 i denne forstand kan være «riktig».

Hvis vi forlanger et 95 % konfidensintervall, ser vi at vi med en sannsynlighet på 95 % kan si at sann karakter for en som har fått 3, er i intervallet fra 2.2 til 3.8.

Vi kan altså konkludere med at det ligger en betydelig måleusikkerhet knyttet til oppgaveutvalget for den enkelte elev.

Med sensorreliabilitet mener vi korrelasjonskoeffisienten mellom karakterforslagene til de to sensorene som retter samme besvarelse. Dette er et mål på hvor pålitelig en sensor kan rette. Denne korrelasjonskoeffisienten har vi beregnet for noen år.

Korrelasjonskoeffisientene mellom karakterforslagene er praktisk talt like hvert år,  $\rho = 0.95$ . På samme måte som for oppgaveutvalget kan vi beregne en standardfeil på grunn av usikkerhet ved sensorenes rettinger. Den er  $\sigma_E = 0.31$ .

Det ville med andre ord blitt en standard målefeil knyttet til sensorenes rettinger på 0.31 dersom de ikke møttes, men det gjør de jo! Sensurmøtet er blant annet til for å gjøre denne feilen så liten som mulig. Den reelle tilfeldige usikkerheten på grunn av to sensorer for den enkelte elev blir med andre ord mindre enn det vi har regnet ut.

En første tilnærming vil være å tolke de to sensorenes rettinger som om en sensor skulle rette en dobbelt så lang test. Dette svarer til at sensorene slavisk bruker gjennomsnittet av de to karakterforslagene. På dette grunnlaget kan vi så regne ut en standard feil som blir 0,22. Vi ser altså at usikkerheten reduseres kraftig fordi det er to sensorer som retter prøven.

Hittil har vi ikke tatt hensyn til at de to sensorene ikke bare tar gjennomsnittet av sine karakterforslag. I tillegg vil de jo diskutere avvikene og avsløre eventuelle feil (f.eks. skrive- eller summeringsfeil). Det betyr at  $\sigma_E = 0.22$  kan betraktes som en øvre grense for usikkerheten knyttet til sensureringen.



Selv om sensorene på sensormøtene blir instruert slik at gjennomsnittskarakteren og hele karakterfordelingen ikke skal variere for mye fra år til år, viser statistikken en ikke ubetydelig variasjon. Vi tolker dette som et uttrykk for at vanskegraden varierer.

Vi har regnet ut standardavviket på gjennomsnittskarakteren for noen år. I perioden fra 1986 til 1992 var standardavviket 0.25. Dette tolker vi som en usikkerhet for den enkelte elev på grunn av at vanskegraden ikke er lik hvert år. Vi har altså funnet et mål for  $\sigma_{E3}$ , nemlig  $\sigma_{E3} = 0.25$ .

Vi har vist at i fysikk har vi tre feilvarianser. Vi kan slå disse sammen til en samlet feilvarians og får da:

$$\sigma_E^2 = 0.41^2 + 0.22^2 + 0.25^2 = 0.28$$

Det vil si  $\sigma_E = 0.53$  som vi oppfatter som en samlet standardfeil på målingen.

Hvis vi nå antar at det faktisk er en tilfeldig målefeil ved enhver fysikkeksamen på omtrent  $\sigma_E = 0.53$  kan vi fra tabeller finne at det er en sannsynlighet på 76 % for at en som f.eks. har fått 4 er bedre i fysikk enn en som har fått 3. Hvis vi vil være 95 % sikker på at en er bedre enn en annen, må vi kreve at karakterforskjellen er 1,5 karakterpoeng.

Altså; hvis det skal være signifikant forskjell (5 % nivå) på to elevers kunnskap i fysikk, må karakterforskjellen være 1.5 karakterpoeng. Dette indikerer at på grunn av usikkerhet er karakterskalaen til eksamen for fmggradert.

Med utgangspunkt i klassisk testteori har vi altså vist at det er knyttet tilfeldige målefeil til enhver test eller eksamen. Vi har delt disse usikkerhetene i tre kategorier, en knyttet til oppgaveutvalget ved en eksamen, en knyttet til usikkerheten ved sensorenes rettinger, og en som er knyttet til variasjonen i gjennomsnittskarakter fra år til år. Av våre beregninger ser vi at det er usikkerheten knyttet til oppgaveutvalget som er størst. Hvis vi er opptatt av at eksamen skal fungere så pålitelig og rettferdig som mulig, så er det tilfeldigheten i hvilke oppgaver den enkelte elev får akkurat et bestemt år, som betyr mest. Dette bør jo få konsekvenser for tenkningen rundt eksamensordninger og evaluering.

#### 10.4.4 Er eksamen rettferdig?

Nå vil vi ta opp tråden fra tittelen: «*Er eksamen rettferdig?*» La oss begynne med spørsmålet om hvordan vi kan redusere tilfeldighetene ved eksamen. Vi vil ta opp problemstillingene knyttet til de tre målefeilene som vi har diskutert.

Først vil vi se på problemer knyttet til oppgaveutvalget. Hvis vi vil prioritere en høy indre konsistens, så er det en enkel vei å gå. Vi må ha mange små oppgaver uavhengige av hverandre. Disse oppgavene må til sammen dekke over hele pensum, og de må gjøre det på samme måte hvert år.

Her er det faktisk sånn at jo flere små oppgaver vi har, jo høyere reliabilitet får vi og dermed mindre måleusikkerhet. Ved å bruke flervalgsoppgaver som tar liten tid for elevene, kunne vi øke antallet oppgaver dramatisk.

På den andre siden skal eksamen ha høy validitet. Flervalgsoppgaver vil neppe bli vurdert som særlig valide. Likevel vil vi hevde at det burde overveies om ikke en av de fem oppgavene kunne erstattes med korte flervalgsoppgaver hentet fra hele pensum. På denne måten kunne man øke reliabiliteten vesentlig uten å miste noe i validitet.

Neste problemstilling er knyttet til sensureringen. Spørsmålet er om vi kan gjøre rettingen enda mer pålitelig. En mulighet er selvsagt å gi enda mer detaljerte anvisninger i rettemalen, og det bør kanskje gjøres.

Ved å bruke bare flervalgsoppgaver, kunne en eliminere dette problemet helt, men det er ikke aktuelt. Derimot ser vi her at det er flere grunner til å ha innslag av slike oppgaver.

I noen land foregår sensureringen ved at sensorene kommer sammen og trenes opp slik at de ikke begynner selve rettingen før man har oppnådd akseptabel sensorreliabilitet. Dette kunne også være en mulighet for Norge. Imidlertid har vi vist i denne rapporten at det er liten grunn til å fokusere så mye på denne feilkilden som tross alt er den minste av de tre vi har diskutert. Men her er det meget store forskjeller mellom fagene. I norsk f.eks. er det åpenbart at usikkerheten ved sensurering er betydelig.

Den tredje problemstillingen gjelder årsvariasjonene i vanskegrad. Som vi har påpekt er det store forskjeller i gjennomsnittet for de ulike årene. Dette er også et punkt som lett får stor oppmerksomhet i media. Som vi har vist, er heller ikke dette den viktigste måleusikkerheten ved eksamen i fysikk, men den er så lett å oppdage.

Hvis man ønsker å standardisere gjennomsnittet, er det to måter å gjøre det på. Den ene er å konsekvent grupperelatere karakterene slik at karakterfordelingen blir lik hvert år. Dette kan gjøres ved at sensorene ikke gir karakterer, men poengsum for hver elev. Overføringen fra poeng til karakter kan da gjøres etter at poengfordelingen er klar, og karaktergrensene kan settes slik at karakterfordelingen blir som ønsket. Dette er en enkel måte å løse dette problemet på.

En annen mulighet er å sørge for at oppgavesettene faktisk er like vanskelige hvert år. Det kan man få til ved å prøve ut oppgaver på forhånd, og ved å ha en oppgavebank med et stort antall utprøvde oppgaver. Dette er ganske omstendelig, men fullt mulig. Fordelen er at vi på forhånd vet utfallet av eksamen.

Vi har diskutert rettferdighet til eksamen i betydningen at det bør være presise og ikke tilfeldige målinger av den enkelte elevs kunnskaper. De fleste som diskuterer dette, vil være opptatt av rettferdighet ut fra ett gitt eksamenssett. Men vi mener å ha påvist at det største problemet ligger i oppgaveutvalget som slår forskjellig ut for de ulike elevene og derfor i stor grad er «urettferdig».

I tråd med klassisk testteori har vi i denne rapporten tenkt oss at eksamen er et måleapparat som best mulig skal måle den enkelte elevs «dyktighet i fysikk», og vi tenker oss videre at dette begrepet har en teoretisk «sann verdi» som eksamensmålingen skal komme så nær som mulig.

Vi hevder at en «rettferdig» eksamen krever at en høy utvalgsreliabilitet (indre konsistens), blir vektlagt høyere enn i dag. Helt konkret er det grunn til å stille

spørsmålet om man ikke bør forlate de store oppgavene som handler om en og samme situasjon og derfor er avhengige av hverandre. Dette argumentet er minst like aktuelt i andre realfag, og også andre fag, men ikke så mye i fag som norsk og fremmedspråk hvor det er grunn til å tro at elevenes prestasjoner er mindre avhengig av hva oppgaven i detalj handler om.

Vi har flere ganger påpekt at flervalgsoppgaver har klare fordeler, både når det gjelder sensorreliabilitet og når det gjelder oppgaveutvalget. Vi forstår ikke hvorfor slike oppgaver er nærmest ikke-eksisterende i norsk skole i motsetning til mange andre land. I Norge har det nærmest vært tabu å snakke om flervalgsoppgaver, og alle de opplagte negative sidene ved disse oppgavene har vært fremhevet. Vi har også i denne rapporten vært opptatt av at vi må bruke oppgaver der elevene selv må kunne uttrykke seg, selv sette premisser for svarene sine o.l. Vi har klart uttalt vår støtte til bl.a. bruk av relativt omfattende «essayoppgaver».

I tillegg til flervalgsoppgavens fordeler som vi allerede har diskutert, vil vi fremheve et annet argument som kanskje er det viktigste. For flervalgsoppgaver er det en lett sak å registrere hvilket svar hver elev avgir på hver oppgave. (Det kan gjøres ved optisk lesing knyttet til en datamaskin). Slike flervalgsoppgaver gir en mulighet til å studere nokså detaljert og systematisk hvilke faglige feil og misforståelser som er vanlige, og hvordan sammenhengen mellom disse er. Dersom det er laget gode distraktorer, vil en retting av feilsvarene gi en mengde nyttig informasjon om hvordan elever tenker. Ut fra dette kan vi få viktig fagdidaktisk kunnskap. Dette kan opplagt ha stor betydning for hvordan undervisningen kan gjøres bedre.

I tråd med dette kunne vi vri på tittelen vår slik: Kan vi rettferdiggjøre at så mye ressurser brukes på fysikkeksamen der målet bare er å sette et tall på hver enkelt elev?

Uansett hvordan eksamensformen er, mener vi det er viktig at vi bruker det apparatet som eksisterer og den store datamengden til å skaffe ny kunnskap om eleven og om elevenes måte å tenke på. Det er også viktig å få systematisk kunnskap om hvordan eksamen og vurderingen foregår i de enkelte fag og hvilke konsekvenser dette har.

#### 10.4.5 Oppsummering

Begrepene validitet og reliabilitet henger på en måte sammen. Som nevnt er **reliabilitet** et uttrykk for hvor nøyaktig eller pålitelig vi kan måle, og **validitet** er et mål på i hvilken grad testen måler det den gir seg ut for å måle. Det kan dermed bli et motsetningsforhold mellom to krav til en test. På den ene side vil en test som består av flervalgsoppgaver, automatisk ha høy sensorreliabilitet. Et tilstrekkelig antall oppgaver vil også kunne sikre høy indre konsistens. En slik test er med andre ord reliabel i den forstand at måleusikkerheten for den enkelte elev er liten. Men likevel kan testens validitet være lav, både fordi oppgavene ikke nødvendigvis handler om vesentlige sider ved faget, men også fordi oppgaveformatet hindrer elevene i å uttrykke seg, selv sette premisser for løsninger og/eller begrunne sine svar. Dersom det siste faktisk er et mål, vil selvsagt flervalgsoppgaver være dårlige instrumenter for en test, selv om testen kan ha nærmest perfekt sensorreliabilitet og høy indre konsistens fordi det kan være mange oppgaver. På den andre siden vil åpne oppgaver gi større usikkerhet når det gjelder retting, men flere sider av fagets mål kan rimeligvis testes dersom oppgavene ikke har ferdigkonstruerte svaralternativer. Hvis det å formulere seg er et mål for faget, vil en

vurdere åpne oppgaver til å ha høyere validitet enn flervalgsoppgaver. Dette har klar relevans til hvordan eksamener og prøver konstrueres i skolen. Norsk tradisjon setter kravet til høy validitet høyt. I USA derimot, har bruken av flervalgsoppgaver (i alle fall inntil de siste år) vært svært dominerende nettopp med begrunnelsen av høy reliabilitet. Rettferdighetsaspektet ved prøver som rangerer elever, blir gjerne sett på som det viktigste. Kravene til reliabilitet og validitet må sees på i sammenheng. De kan ikke løsrives fra hverandre. Dessuten spiller en tests eller prøves formål en ganske avgjørende rolle. I alle former for summative vurderinger der elevene skal rangeres etter oppnådde poeng, vil selvsagt krav til pålitelighet og rettferdighet spille en viktig rolle. Er derimot testen eller prøven av diagnostisk karakter, vil kravet til høy validitet bli framhevet.

## 11. Forslag til litteratur

Angell, C. (1996): **Elevers fysikkforståelse. En studie basert på utvalgte fysikkoppgaver i TIMSS.** Dr.scient.-avhandling, Universitetet i Oslo

Angell, C. og Lie, S. (1993): **Er eksamen rettferdig? Søkelys på fysikkeksamen 1989 - 1992.** Skrift nr. 10, SLS og Skolelaboratoriet, avd. fysikk, Universitetet i Oslo.

Angell, C. og Lie, S. (1990): **Fysikkeksamen og eksamensfysikk.** Skrift nr. 4, SLS og Skolelaboratoriet, avd. fysikk, Universitetet i Oslo.

Fjelland, R. (1991): **Vitenskapsteori.** Universitetsforlaget. Oslo.

Lie, S og Angell, C. (1990): **Fysikk i videregående skole: Hvem velger faget og hvorfor?** Delrapport nr 1 fra prosjektet "Elevvalg i videregående skole". Skrift nr.5. Senter for lærerutdanning og skoletjeneste og skolelaboratoriet, avd. fysikk, Universitetet i Oslo.

Lie, S., Sjøberg, S. (1981): **Fart og kraft. En empirisk undersøkelse og noen pedagogiske synspunkter.** Fysisk institutt, Universitetet i Oslo.

Nielsen, H. og Thomson, P.V. (1990): **Den historisk-filosofiske dimensjon i fysikkundervisningen.** I K. Baalsrud m. fl. (red): Naturfag i skolen. Framskritt og fornyelse. Nordisk forskersymposium, Sjusjøen 1990, Universitetet i Oslo.

Nielsen, H. og Paulsen, A. C. (red): **Undervisning i fysikk - den konstruktivistiske idé.** Gyldendal, København.

Sjøberg, S. (1981): **Kraft og bevegelse i historisk perspektiv.** Rapportserien ved Fysisk institutt, Universitetet i Oslo

Sjøberg, S. (1992): **Naturfagenes didaktikk. Fra vitenskap til skolefag.** Gyldendal Forlag, Oslo

Wormnæs, O. og Vistnes, A. I. (1994): **Kan vi stole på vitenskapen.** Cappelen Forlag, Oslo