

**TEKST NR 90**

**1984**

**ENERGI i 1.G**

*- en teori for tilrettelæggelse.*

**Albert Chr. Paulsen**

**TEKSTER fra**

**IMFUFA**

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

Abstract

Teorier og modeller for og om undervisning har især i de sidste 25 år været omfattet med stor interesse. Modeller for tilrettelæggelse af undervisning har ofte taget deres udgangspunkt uden for den egentlige undervisningssituation, f.eks. i videnskabsteoretiske eller psykologiske teorier og beskrivelser. Disse teorier og beskrivelser er således umiddelbare i forhold til den forskrift for undervisning, som de danner grundlaget for.

Ved tilrettelæggelsen af undervisningen i fysik i 1.g i emnet energi var det hensigten at lægge mest mulig vægt på begrebsudviklingen. Her tilbød David P. Ausubel's teori og model sig, som den, der mest direkte tager udgangspunkt i tilegnelse af lærestof i skolen.

Ausubel's teori er en assimilationsteori. Det væsentlige er her, det eleven i forvejen ved. Den viden, som skal tilegnes, vekselvirker med den eksisterende viden, og kun ved at eleven kan relatere nyt stof til den i eleven eksisterende viden, bliver lærestoffet meningsfuldt.

Meningsfuldhed er en nødvendig forudsætning for, at lærestoffet kan tilegnes, så det kan anvendes i fremtidige nye situationer. I konsekvens heraf er det nødvendigt - mener Ausubel - at gå fra mere generelle overordnede begreber til de mere specielle og underordnede begreber. Det overordnede begreb fungerer derved som organisator for den nye viden og forener den med mening.

Ausubel's model syntes i særlig grad egnet og realiserbart for energibegrebet.

Der gives her en skitse af Ausubel's teori og en gennemgang af modellen, og hvordan den kan benyttes til tilrettelæggelse af "Energi i 1.g.". Eksemplerne er fra et undervisningsforløb, tilrettelagt og udført af Karin Beyer og Albert Chr. Paulsen.

ENERGI i 1. G.

En teori for tilrettelæggelse.

Albert Chr. Paulsen

"... en Sprænglærd Informator, der ikke haver Skiønsomhed nok til at udforske en Discipels Naturel, spilder Tiden ved at oplære ham i de Ting, som han siden skal for-  
glemme. ...."

Ludvig Holberg  
Epistola CCCXC

INDHOLDSFORTEGNELSE

	<u>Side</u>
FORORD .....	2
INLEDNING .....	4
Om den fuldkomne undervisning som en myte .....	4
Om anvendelse af teorier for til- rettelæggelse af undervisning .....	6
Om det selvopdagede og det recep- tive .....	7
SKITSE AF AUSUBELS TEORI .....	10
Subsumption .....	10
Begrebet "meningsfuld" .....	12
Begrebsudvikling .....	15
Ausubels teori om motivation .....	16
Kritik af Ausubels teori .....	17
AUSUBELS KRITIK AF SÆDVANLIG UNDERVISNING .	19
EN MODEL FOR TILRETTELÆGGELSE AF UNDERVISNING .....	22
Organisatorer for nyt lærestof .....	23
Betydningen af elevernes kognitive udvikling .....	27
Eksempler på organisatorer .....	30
Voksende differentiering af begre- ber og relationer .....	32
Eksempler på voksende differen- tiering .....	33
Integrering og forening af begre- ber og relationer .....	35
Sekventiel ordning af lærestoffet .....	37
Eksempel på sekventiel ordning af stof .....	37
Konsolidering .....	38
Eksempler på konsolidering .....	39
AFSLUTNING .....	43
APPENDIX 1 .....	45
Energibegrebet .....	46
APPENDIX 2 .....	57
Indholdsfortegnelse over noter til "Fysik i 1.g." .....	57
LITTERATURFORTEGNELSE .....	61

## FORORD

I skoleåret 1981/82 fik Karin Beyer, Roskilde universitetscenter og jeg lejlighed til på Nørre gymnasium at undervise i hver sin 1. gymnasieklasse i fysik.

Vi besluttede at tilrettelægge undervisningen efter nogle ideer, vi igennem længere tid havde diskuteret på det institut, vi begge er tilknyttet. Undervisningen skulle være begrebscentreret uden derfor at slippe forbindelsen til den praktiske og samfundsmæssige virkelighed. Med energibegrebet centralt placeret i undervisningen mente vi at kunne tilgodese en hel del af vore ønsker.

Meget inspiration og også en del materialer kom fra "Energi i 5. klasse", et udviklingsarbejde i samarbejde med Hans Lütken og Carl Jørgen Veje, Fysisk Institut, Danmarks Lærerhøjskole.

Ideerne om tilrettelæggelse af undervisningen skulle nu tilpasses lærestof og organisationsform i en sædvanlig 1. gymnasieklasse. Af hensyn til elevernes fortsatte undervisning havde vi ikke noget ønske om at afvige væsentligt fra det sædvanlige indhold.

I den situation bød Ausubels\* model for tilrettelæggelse af undervisning sig til, som et teoretisk grundlag. De ideer, vi havde, kunne her i mange henseender begrundes og dermed hjælpe og bekræfte os i vores arbejde.

Ved at følge en model får man imidlertid nogle ganske skarpe kriterier for valg af stof, og det er en meget nyttig oplevelse. Noget stof fik derved en så marginal placering, at det blev gennemgået "uden for forløbet"

\*) David P. Ausubel er ansat ved City University i New York. Han fremsatte sin teori i begyndelsen af 60'erne. Han stod i modsætning til den pædagogiske bølge, der anså det selvopdagede, for det eneste virkeligt tilegnede.

for at tilgodese ovenstående hensyn til den fortsatte undervisning.

Modellen blev heller ikke af os opfattet som en spænde-trøje. Der blev plads til skiftende undervisningsformer og projektagtige forløb, som da Karin Beyers klasse en dag det blæste for voldsomt lod varmluftballoner af plastikfolie stige "til vejrs" i festsalen.

De eksempler fra den gennemførte fysikundervisning, som anføres i forbindelse med redegørelsen for modellen er - med fare for at være uforståelige - meget korte. Dette er imidlertid af hensyn til omfanget og fordi modellen ikke er specielt orienteret imod fysikundervisningen. Det er nemlig mit håb, at den er tilstrækkelig almen beskrevet, så lærere i andre fag og på andre klassetrin også kan bruge den.

Tak til alle de ovennævnte personer specielt til Karin Beyer for kritisk gennemlæsning af manuskriptet. Ikke mindst tak til elever og lærere på Nørre gymnasium. Det er deres engagement og interesse, som har fået mig til at skrive dette.

Albert Chr. Paulsen

## INDLEDNING

### Om den fuldkomne undervisning som en myte

Ser man på undervisning som et forhold mellem mennesker, så må alle beskrivelser af forholdet blive fragmentariske. Dele af forholdet vil helt unddrage sig beskrivelse. Et sådant synspunkt er almindeligt accepteret. Man kan dog også møde pædagoger, som mener, at det må være muligt at udvikle en fuldstændig beskrivelse af undervisningsforholdet.

Et sådant syn på undervisning var meget udbredt og accepteret især blandt neobehaviourister i 1960'erne. Ved en videnskabeliggørelse af undervisningen mente man at kunne beskrive situationen så fuldstændig, at der kunne udarbejdes teorier og "forskrifter" for enhver undervisning. Sådanne teorier for undervisning ville da kunne etablere en éntydig sammenhæng mellem formål, mål og intentioner og de resultater, undervisningen skabte i eleverne.

Især i USA, men også i en række andre lande, har troen på teoretisk at kunne indfange undervisning ført til en næsten myteagtig tro på undervisningsstrategier. Disse strategier er forskrifter for undervisning, som skulle sikre sammenhæng mellem mål og resultatet i eleven - indlæringsproduktet. Generelt er disse strategier dog behæftet med et dilemma. De er i reglen forskrifter dannet på baggrund af beskrivelser af erkendelsesmæssige, psykologiske eller videnskabsteoretiske forhold. Der sker altså en - i værste fald ubevidst - sammenblanding af beskrivelser for et område og forskrifter for et andet område.

Det er f.eks. betænkeligt, når Piagets udviklingspsykologiske beskrivelse af erkendelsesprocesser direkte benyttes som forskrift for undervisningstilrettelæggelse.

En sådan strategi sikrer nemlig ikke umiddelbart, at den erkendelsesmæssige udvikling, som teorien beskriver, kommer til at ske i eleven. Det er jo ikke utænkeligt, at den erkendelsesproces, som der foreligger en teori om, sættes i gang og vedligeholdes af helt andre faktorer end dem, der umiddelbart lader sig aflede af den udviklingspsykologiske beskrivelse.

Denne indvending forekommer så meget mere berettiget, som der jo i reglen er tale om strategier, som anvendes i klasseundervisning, mens teorierne ofte beskriver udviklingen i det enkelte individ.

Teorierne har forskellig status. Det kan, som omtalt, være f.eks. psykologiske eller videnskabsteoretiske beskrivelser, der benyttes som grundlag for udvikling af modeller for undervisning. Det kan også være teorier, som er udviklede specielt for skoleundervisningen. Det gælder således den teori, der skal omtales her. Atter andre er udviklet i nær tilknytning til skolepraksis ved pædagogisk udviklingsarbejde eller ved iagttagelse af praksis.

I et klasseværelse sker der så meget omkring eleverne. Der sker noget imellem eleverne indbyrdes, mellem elev og lærer, mellem elev og undervisningsmateriale, mellem eleven og de øvrige omgivelser osv. Mange af disse forhold er analyseret og danner grundlaget for nogle teoridannelser. De variable, der specielt er knyttet til en valgt strategi, vil imidlertid altid virke sammen med mange andre variable. Ligeledes vil de have effekt på områder, som ikke specielt angår den tilsigtede tilegnelsesproces. Dertil kommer alle de forhold uden for skolen, som er forskellige fra elev til elev, og som rent faktisk har indflydelse på undervisningssituationen.



En række strategier har i særlig grad været mytedannende. Nogle af disse strategier er udviklede på baggrund af teorier om indlæring og om menneskets udvikling. Andre er udviklede på grundlag af lærer-elevinteraktionsanalyser. Atter andre bygger på metateorier om fagenes struktur og metode. Endelig danner den kritisk-rationale beslutningsproces idégrundlaget for nogle strategier.

Der findes en omfangsrig især amerikansk empirisk forskning vedrørende undervisningsstrategier. Den består imidlertid for en stor del af "frit svævende data" og er i reglen teoriløs i relation til skolens dannelsesmæssige opgaver. De fleste er korttidsundersøgelser (meriteringsarbejder) over denne eller hin strategis effektivitet uden at redegøre for, hvad der menes med effektiv.

#### Om anvendelse af teorier for tilrettelæggelse af undervisning

I forbindelse med implementeringen af undervisningsstrategier drejer det sig altså om, at læreren forsynes med forskrifter. Disse kan forefindes i form af generelle beskrivelser af elevernes indlæring, taxonomier og beskrivelser af psykologisk begrundet sekventiel tilrettelæggelse af undervisning osv. helt ned til et færdig udarbejdet undervisningsmateriale. Forskrifterne intenderer at etablere en sammenhæng mellem hensigter og resultater i undervisningen.

Til al undervisning er der selvfølgelig knyttet hensigter og forventninger, og der er intet forkert i at argumentere med elementer fra de omtalte teorier og modeller. Tværtimod er det et middel til at bevidstgøre nogle træk ved undervisningsprocessen og et middel til forandring og udvikling af undervisningsmetoder. Inten-

tionen med de foregående betragtninger har ikke været at give læseren det indtryk, at de omtalte teorier er nytteløse i undervisningsmæssig sammenhæng. Der skal imidlertid undervises med dem uden at bruge dem som en begrænsende forskrift for lærerens og elevernes udfoldelsesmuligheder i det menneskelige forhold, undervisningen er.

Anvendelsen af teorierne kan beskrives ved, at der af undervisningssituationerne udtages en lille delmængde, som betragtes nærmere, og for hvis handelsesforløb der argumenteres ud fra nogle særlige synspunkter om menneskelig aktivitet og menneskelig-faglig-samfundsmæssig udvikling. Den del, man udtager af sammenhængen, bliver ændret. Sættes den derefter igen i sammenhæng med de øvrige undervisningssituationer, ændres også de. Deri ligger fornyelsen for undervisningen - men også usikkerheden om udfaldet. Derfor er det også helt nødvendigt at gennemføre udviklingsarbejder for at afprøve ideer og teorier i praksis.

#### Om det selvopdagede og det receptive

Anvendelsen af en teori for tilrettelæggelse af undervisning skal således ses i en større sammenhæng. Hvilken model, man vil bruge, afhænger af mål, elever, lærer, stof, skolesystem osv. Som et eksempel kan man betragte den gamle strid mellem "selvopdagende læring" ("discovery learning") og "receptiv læring" ("receptive learning") personificeret ved hhv. Bruner og Ausubel.

Især på baggrund af Jerome S. Bruners essay: "The Act of Discovery" gik der i '60'erne og begyndelsen af '70'erne en pædagogisk bølge over hele den vestlige verden. Man udviklede undervisningsstrategier, som skulle

bevirke, at eleverne selv opdagede sammenhænge i naturen og i samfundet. Eleverne skulle forske som naturvidenskabskvinder og -mænd. Viden tilegnet på denne måde var den eneste, som ville blive tilstrækkelig generel til, at den ville kunne anvendes i nye situationer, og som ikke ville blive glemt. "Selvopdagende læring" forbindes med selvbestemmelse, frihed, reflektion, kritik og selvkritik i indlæringsituationen. Den påstås at være antiautoritær og antidogmatisk. Forudsætningen for denne model er troen på rationalitet i alle menneskers tænkning.

"Receptiv læring" er kendetegnet ved, at det udelukkende drejer sig om at lære formidlet viden. Denne viden bliver ikke problematiseret, og der tilstræbes en konformitet mellem lærestof og det af eleven tilegnede produkt. Ausubel kom derved til at fremstå som den reaktionære, den der søgte at bevare den traditionelle skole. I det store og hele blev Ausubel afvist og underkendt af "progressive" pædagoger. Han forsvarer sit syn i en artikel fra 1961: "In Defense of Verbal Learning". Her påpeger han bl.a., at eleverne jo ikke kan "opdage" hele vores viden på ny. Vi må også benytte os af sproget for at formidle vores viden og kultur til næste generation. Specielt er det et problem, hvordan eleverne selv vil kunne "opdage" netop de sammenhænge, som læseplanen foreskriver.

De to modeller - den selvopdagende undervisning og den receptive undervisning - som kort er karakteriseret her, udelukker jo imidlertid ikke hinanden. Der vil ofte i forløb med "selvopdagende læring" - såkaldte "discovery"- eller "inquiry"-forløb - være brug for at tilegne sig viden ved receptiv læring. Det kan f.eks. være som forudsætning for at komme i gang, for at få mulighed for et "opdagende" forløb, eller viden man må tilegne sig for at kunne anvende den i en eller anden situation.

Projektorganiseret undervisning kan opfattes som en dialektisk proces mellem det receptive og det kreative - det opdagende.

Ausubels teori er nu, tyve år efter den blev fremsat, kommet i forgrunden og kompletteret ved Joseph D. Novak, Cornell University. Det sker ikke som reaktion imod "selvopdagende læring" men som et alternativ til Piaget-inspirerede modeller for undervisning.

Modellen er udviklet på baggrund af en teori, der er rettet mod skoleundervisning. Ausubel selv anser sin model som én ud af flere mulige, afhængig af hvad man vil opnå med undervisningen. Denne model er egnet til indlæring af et bestemt (læseplans-)stof. Andre teorier og modeller som "opdagende læring" har, indrømmer han, andre væsentlige faglige og almendannende kvaliteter.

Fysik i 1.g. kan næppe, hvis man vil opfylde de formelle krav, i sin helhed gennemføres som en "opdagende" til-egnelsesproces. Så ønskelig det netop i 1.g. end kunne være at gennemføre en fysikundervisning, som havde de for "opdagende læring" karakteristiske træk.

Ved vores tilrettelæggelse af fysikundervisningen i 1.g. blev der da for en stor del af stoffets vedkommende anvendt Ausubels model for "receptiv læring". Han kalder den "meaningful receptive learning".

I det undervisningsforløb, som blev gennemført i 1.g., indgik der også mindre forløb tilrettelagt ud fra andre pædagogiske ideer især i metodisk henseende. Tilrettelæggelsen af selve undervisningssekvensen, dvs. hvad kommer før hvad, følger imidlertid i det væsentlige Ausubels model, som bygger på teorien om subsumption.

## SKITSE AF AUSUBELS TEORI

### Subsumption

Ausubels teori er en assimilations-teori. Nyt indlæringsstof fortolkes ud fra det, eleven allerede ved, og optages i elevens kognitive struktur. Kognitiv struktur skal forstås, som den viden bestående af facts, begreber, relationer, teorier og sansedata, et individ til enhver tid har til rådighed. Den vigtigste faktor for indlæring bliver altså omfang, klarhed og organisation af elevens allerede forhåndenværende viden. For at skelne teorien fra andre assimilationsteorier kalder Ausubel assimilationsprocessen for subsumption.

---

Meningsfuld receptive læring står i modsætning til udenadslæren (rote learning). Ved udenadslæren står indlæringsproduktet som isoleret viden urelateret til den øvrige kognitive struktur. Den totale mangel på vekselvirkning med den kognitive struktur i øvrigt gør denne viden ubrugelig i alle andre situationer end indlærings-situationen. Den kan kun kaldes frem via netop denne specielle situation. Den glemmes hurtigt og glemmes totalt netop på grund af, at den er helt urelateret.

Subsumption er derimod et resultat af meningsfuld læring. Dette sker ved, at ny viden kan relateres til og vekselvirke med den kognitive struktur. Den nye viden indordnes - subsummeres - under et relevant eksisterende overordnet begreb eller en relation - en subsumator - på en adækvat, ikke arbitrær måde.

Subsumption kan ske på to måder, som er grundlæggende forskellige. Den derivative subsumption sker, når indlæringsmaterialet er en eksemplificering af det i den kognitive struktur eksisterende overordnede begreb, eller det bekræfter og illustrerer en tidligere indlært relation. Det indlærte lader sig altså i princippet aflede (derivere) af allerede eksisterende viden - et overordnet begreb eller en relation.

Den correlative subsumption sker, når indlæringsmaterialet udvider, modificerer, elaborerer eller tilføjer nye betydninger til eksisterende relationer og begreber. Det nye stof lader sig altså ikke uden videre repræsentere ved eksisterende viden i den kognitive struktur. Den optages i og vekselvirker med den eksisterende viden, men lader sig ikke aflede af den.

De to former for subsumption har forskellig betydning over for glemsel. Ved derivativ subsumption vil subsumatoren - det overordnede begreb - kunne fungere som hjælp til ny indlæring; selv om underordnede begreber, detaljer og facts bliver glemt. Ydermere kan denne underordnede viden under visse betingelser rekonstrueres. Denne form for glemsel er med andre ord kvalitativt forskellig fra den "totale" glemsel, som gør sig gældende for udenadslært stof. Ausubel skelner imellem de to former for glemsel.

Subsumtionen af stof, som (kan) glemmes, men hvor der består "rester" på grund af stabile subsumatorer, kaldes for obliterativ subsumption.

Obliterativ subsumption er en økonomisk foranstaltning af den kognitive struktur. Den går altså ud på, at detaljer og facts - underordnet viden - glemmes, mens overordnede strukturer består. Derfor er obliterativ subsumption et problem i forbindelse med correlative subsumption. Her drejer det sig netop ikke om indlæringsstof, som uden videre kan indordnes som afledt viden, men om stof som modificerer og uddyber. I de tilfælde må tendensen til obliterativ subsumption altså modvirkes. Herved bliver nødvendigheden af klare og stabile subsumatorer understreget. Kun derved er det muligt at erkende, hvornår et nyt materiale er en afledning eller en kvalitativ ændring.

### Begrebet "meningsfuld"

Centralt i Ausubels teori om "meaningful reception learning" er begrebet meningsfuld. I det foregående er der redegjort for subsumtionen altså det receptive.

For at en meningsfuld læring af et stof kan foregå, kræves tre betingelser opfyldt:

1. Lærestoffet må kunne relateres til en hypotetisk struktur på en substantiel og ikke-arbitrær måde.
2. Personen, der skal lære, må være i besiddelse af viden, som lærestoffet kan relateres til på en substantiel og ikke-arbitrær måde.
3. Personen, der skal lære, må intendere at relatere lærestoffet til sin eksisterende viden på en substantiel og ikke-arbitrær måde.

Den første betingelse angår selve lærestoffet, som skal være logisk meningsfuld. Det skal altså være bygget op af facts, begreber og relationer, som er konsistente og relaterbare. Det må ikke kunne relateres vilkårligt til hypotetiske subsumatorer, men på en bestemt og substantiel måde. Lærestoffet skal altså være tilpasset "eleven", forstået som en hypotetisk person med en tænkt kognitiv struktur og en tænkt modenhed. Specielt skal stoffet være tilpasset elevens udviklingstrin. Ausubel finder ikke begrebet udviklingstrin heldigt valgt, idet han ser udviklingen som en kontinuerlig proces.

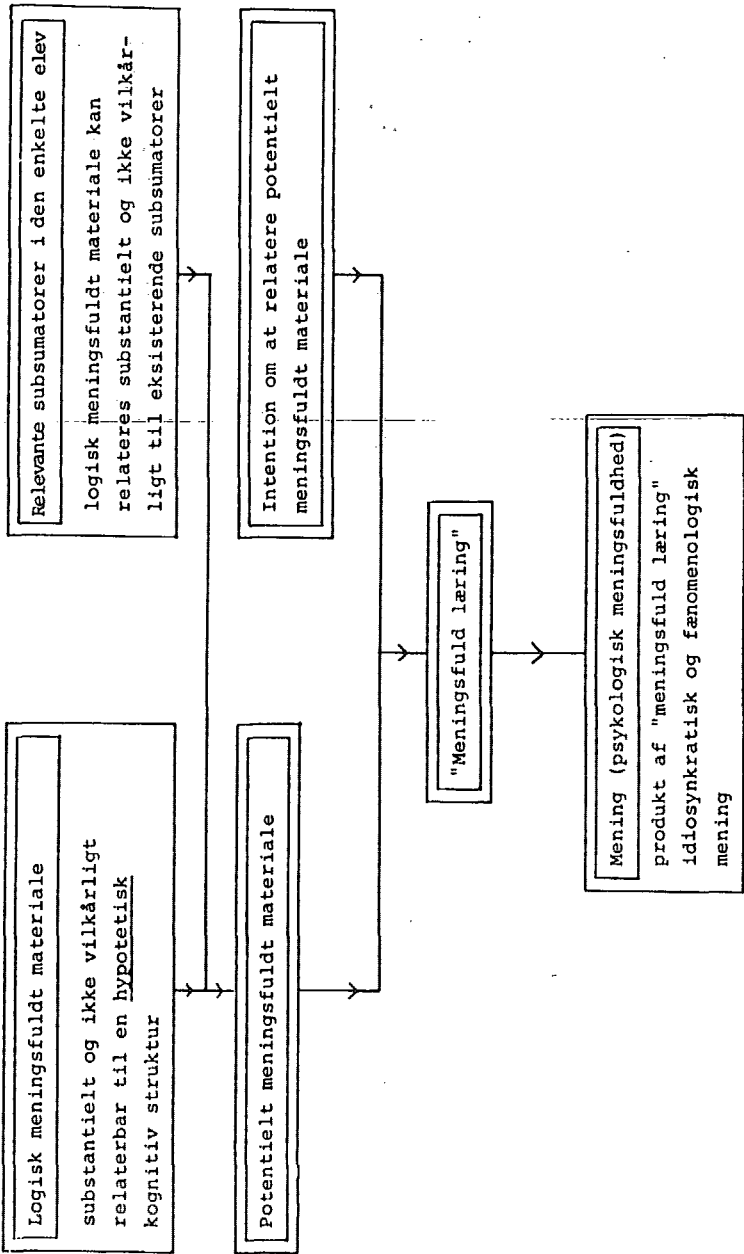
Den anden betingelse angår den faktiske elevs faktiske kognitive struktur. Den skal indeholde stabile subsumatorer, som det logisk meningsfulde lærestof kan relato-

res til. Lærestoffet siges da at være potentielt meningsfuld.

Den tredje betingelse angår personen, der skal lære. For at "meningsfuld læring" kan ske, må personen - eleven - have intentionen om, at relatere det potentielt meningsfulde stof til sin kognitive struktur. "Meningsfuld læring" er en aktiv proces, som ikke kan foregå, medmindre eleven har intentioner om det. Der kan selvfølgelig foregå anden indlæring. Eleven kan udmærket have et ønske om at lære stoffet uden derfor at ville relatere det substantielt og ikke-arbitrært til sin kognitive struktur. Elevens ønske rækker måske ikke længere end til at behage læreren eller kunne reproducere viden ved en prøve. Ud fra en sådan intention skønner eleven, at det er tilstrækkeligt at lære stoffet udenad. Måske benytter eleven nogle private mnemotekniske fif (arbitrær relatering), eller eleven relaterer til ustabil privat viden, som f.eks. diverse "hverdagsbegreber", fordi det forekommer lettere. Her forudsættes altså, at de relevante subsumatorer er til stede, men at eleven af en eller anden grund ikke ønsker at bruge dem. Når denne intention om at relatere nyt stof til relevante subsumatorer (se mere herom senere) altså ikke er til stede, kan "meningsfuld læring" ikke ske, og stoffet får derfor heller ingen mening for eleven.

Mening er altså et produkt af "meningsfuld læring". Mening (- psykologisk mening -) er et resultat af vekselvirkningen mellem et potentielt meningsfuldt materiale og subsumatorer i elevens kognitive struktur. Der er ikke tale om, at der blot adderes ny viden til den eksisterende. Der er tale om en vekselvirkning, hvorved der sker kvalitative ændringer i strukturen. Psykologisk mening er derfor fænomenologisk og idiosynkratisk dvs. forskellig fra person til person.





Psykologisk mening er nødvendig, for at den tilegnede viden kan tjene som subsumator for ny videnstilegnelse. Mangler blot én af ovennævnte betingelser, vil det resultere i udenadslæren, og udenadslært viden kan ikke benyttes som subsumator. Ny viden kan derfor ikke forankres til den kognitive struktur, den bliver i stedet fragmentarisk, meningsløs, ubrugelig og glemmes hurtigt og totalt.

### Begrebsudvikling

Som det fremgår, henviser Ausubel ved al indlæring til, hvad den lærende allerede ved. Et nærliggende spørgsmål vil da være, hvor denne viden kommer fra. Ny viden dannes, ved at nyt stof korreleres eller kombineres med eksisterende viden. En tilsyneladende uforenelighed mellem nyt stof og eksisterende viden kan overvindes af den lærende ved udviklingen af nye mere overordnede begreber eller relationer. Ved at nyt stof vekselvirker med eksisterende viden, udvikles den lærendes begrebsverden altså kontinuerlig. På denne måde bliver spørgsmålet om, hvor en subsumator - et begreb eller en relation - oprindeligt kom fra til et spørgsmål om ægget og hønen.

Dog finder der ifølge Ausubel en oprindelig begrebsdannelse sted. Den sker i direkte vekselvirkning med konkrete materialer i omverdenen. Denne begrebsdannelse er ikke omfattet af Ausubels teori om receptiv læring. Forøvrigt mener Ausubel, at de for skoleundervisningen nødvendige begreber er dannede, før barnet kommer i skole. I skolen bliver der således tale om stabiliseringer, præcise definitioner og en udvikling af nye begreber og relationer - nye subsumatorer - som beskrevet ovenfor. Tilegnelsesprocessen i skolen består således i reglen i correlative subsumption, dvs. tilegnelse af viden, som ikke direkte kan afledes af eksisterende viden.

Ausubel fremhæver i sit forsvar for sin model sproget, som den formidlende faktor. Netop sproget betyder, at man ikke behøver at opdage alting på ny.

Det betyder imidlertid ikke, at erfaringer herunder eksperimentet i naturvidenskaberne ikke spiller nogen rolle. Tværtimod fremhæves det, at omfattende relevante erfaringer er nødvendige ikke mindst i barndommen for at tilægge sig naturvidenskabelige begreber og relationer. De konkrete erfaringer kan ikke i skolen erstattes ved andenhånds beretninger for at spare tid. Formaliseringer (f.eks. en matematisk formalisering) kræver konkrete erfaringer og relevante subsumatorer. For tidlig indførte formaliseringer kan nok læres udenad, men de bliver ikke meningsfulde. De bevirker en ukritisk accept og bliver en kilde til fremtidige misforståelser.

#### Ausubels teori og motivation

Nysgerrighed og "stråben efter kundskaber" per se anser Ausubel for væsentlige motiverende faktorer. De er i hvert fald mere væsentlige i forbindelse med meningsfuld læring end med udenadslæren. At tilegne sig viden meningsfuldt bærer belønningen i sig selv. Men det fremhæves, at der kun kan finde en meningsfuld tilegnelse sted, hvis eleven føler et behov for og interesse i selve lærestoffet.

Motivationen manifesterer sig i elevens intentioner om at relatere det nye stof til sin eksisterende viden. Det er en af de tidligere nævnte betingelser for meningsfuld læring. Tilegnelse er en aktiv proces, som kun eleven kan gennemføre. Læreren kan ikke gøre andet end at tilrettelægge så meningsfuldt, som det er hende muligt.

Tilegnelse og udvikling af nye begreber og relationer til psykologisk meningsfuld viden er et personligt anliggende. Det er uomgængeligt, at eleven må føle sig ansvarlig. Derfor må eleven også have et medansvar for sin egen indlæringsituation. Viden, som skal tilegnes ved tvang eller som blot passivt accepteres, kan altså ikke resultere i "meningsfuld læring".

### Kritik af Ausubels teori

Meget af den kritik, som er vendt imod Ausubels teori, er - i øvrigt af ham selv - imødegået ved at indrømme andre teorier lige så væsentlige kvaliteter, afhængig af hvilke mål man vil forfølge med sin undervisning. Ausubels teori og den deraf afledte model for tilrettelæggelse af undervisningsstof har den umiskendelige styrke, at den henvender sig direkte til skoleundervisningen.

En model, der bygger på Piagets teori om kognitiv udvikling, lider af den allerede nævnte svaghed, at forskriften afledes af en beskrivende teori for det enkelte individs udvikling.

Den samme svaghed gør sig gældende i en del modeller for "opdagende læring". Bruners kendte essay "The Act and Discovery" har været benyttet som argument for alle mulige modeller for "opdagende læring". Bruner udtaler sig imidlertid kun om, hvordan selvopdaget viden er organiseret, og hvilke kvaliteter den har. Bruner siger intet om, hvordan tilegnelsesprocessen foregår, eller hvordan man skal få den til at ske. Således har forskellige udgaver af videnskabsteoretiske beskrivelser af den såkaldte "naturvidenskabelige arbejdsmetode" været brugt (og misbrugt) til metodisk model for undervisning i naturvidenskab. Lod man eleverne iagttage, opstille

hypoteser, verificere eller falsificere osv., så ville de opdage (genopdage) sammenhænge og lære "at forske" ("lære at lære"). I praksis lod man imidlertid sjældent eleverne arbejde på egne betingelser. Man tog i reglen ikke hensyn til det for Ausubel væsentligste, nemlig det eleverne allerede vidste.

At arbejde på egne betingelser, at lære udforskende adfærd, at opøves i intellektuel og anden kreativitet er ifølge Ausubel en væsentlig del af skolens arbejde, men noget ganske andet end den læring Ausubels model sigter til.

---

I Ausubels model er det lærestoffet, som skal tilegnes på en sådan måde, at det kan bruges i nye situationer, og så eleverne kan beherske et stof. Modellen understreger lærestoffets autoritet. Kan man som lærer ikke leve med den omstændighed, må man lade være at bruge modellen. Det er derfor klart (også for Ausubel), at modellen kun benyttes af læreren i det omfang, det er hensigtsmæssigt i relation til undervisningens mål.

Ausubel prøver på denne måde at tage vinden ud af sejlene på kritikken. Tilbage står dog, at modellen tilstræber konformitet og er konserverende. Eleverne problematiserer ikke lærestoffet og distancerer sig ikke fra det.

Et andet kritikpunkt i nær sammenhæng med det foregående er, at det receptive opfattes som passivitet fra elevernes side. Dette imødegås med, at subsumtionen er en aktiv proces. Et af kriterierne for meningsfuld læren er netop, at eleven skal intendere at submere. Det er med andre ord ikke blot en aktiv, men også en bevidst proces.

Ausubel tager imidlertid ikke højde for, at netop det autoritære, dette at lærestoffet ikke problematiseres, ofte

medfører en passivitet og i konsekvens heraf - ifølge Ausubel selv - ingen meningsfuld læring. Dette hænger sammen med, at Ausubel ikke tager stilling til interesser eller motivation hidrørende fra problemer i elevernes omverden. Motivation hidrører fra det, eleven allerede ved og fra nysgerrighed per se. Det er et rent kognitivt anliggende for Ausubel. Den væsentligste motivationsfaktor hidrører således fra "at eleverne lærer". Derfor kan passivitetskritikken ikke uden videre tilbagevises for det kan ikke være ligegyldigt, hvad de lærer.

Ausubels teori udtaler sig om og lægger vægt på, hvordan viden er organiseret, og definerer mening som et produkt af meningsfuld læren. Det sidste kritikpunkt vedrører netop denne fundamentale del af teorien. Ausubel hævder, at viden tilegnet ved meningsfuld læren kan frigøres fra indlæringsprocessen og bruges i nye situationer. Dette gælder imidlertid kun inden for den faglige disciplin, der er tale om. Ausubels model omfatter tilegnelse af lærestof, altså systematiseret og formidlet viden. Der er altså ikke tale om at abstrahere og systematisere viden fra mere kompliserede strukturer, som de foreligger i virkeligheden. Derfor er handlemulighederne i relation til omverdenen også mere eller mindre begrænsede afhængigt af stoffets karakter. Ausubels teori er nok egnet til brug for elevernes skolekarriere, mens den sigter mindre på mere almene dannelses- og uddannelsesmål.

#### AUSUBELS KRITIK AF SÆDVANLIG UNDERVISNING

Ausubels kritik af den sædvanlige traditionelle undervisning og de undervisningsmaterialer, som benyttes, kan sammenfattes til følgende. Eleverne skal lære om - for dem ukendte - emner og detaljer af emner uden at kunne

indordne dem i en relevant, adækvat sammenhæng. Desuden bliver emnerne kun præsenteret et af flere mulige steder, hvor det ville være relevant og ønskeligt. Opdelingen af stoffet i over- og underordnede dele er emnemæssig og sker uden hensyntagen til begrebsmæssig generalitet og abstraktionsniveau. Konsekvensen er, at stoffet bliver unødvendigt svært at lære og hurtigt glemmes, fordi eleverne behandler materialet som noget, der skal læres udenad.

Ovenstående træk ved undervisningen er også velkendt i danske undervisningsmaterialer ikke mindst i materialer til fysikundervisningen. Også her giver man stoffet en struktur, som fører eleven igennem fysikkens emner i håb om, at eleven "hen ad vejen" danner de mere generelle begrebsmæssige strukturer. Traditionelt er det således almindeligt, at man tager mekanisk arbejde, varme og elektrisk arbejde hver for sig, inden man nævner arbejde og varme som ækvivalente begreber og nævner energibevarelsen (termodynamikkens første hovedsætning). For eleverne indtager den sidste del af undervisningen, som handler om væsentlige generelle sammenhænge, ikke mere "plads" i form af tid eller intellektuel udfordring end ethvert af de første emner. Undervisningen har det sædvanlige indhold af formler, eksempler og opgaver osv. Bortset fra at læreren siger dette eller hint er væsentligere, ligger der i reglen ikke i selve undervisningen noget, der over for eleverne indikerer, at en relation er mere overordnet end en anden. Det overlades således i det store og hele til eleverne at indse generaliteten.

Et andet eksempel er Ohms lov og Maxwells ligninger. Behandlingen af de to "emner" adskiller sig ikke fra hinanden, hverken i beskrivelse, omfang, opgavernes form eller eksperimenternes udformning. Kun den geniale elev vil kunne indse den meget væsentlige forskel i generalitet. Dette var da også acceptabelt, hvis det for en elev-

gruppe slet ikke var hensigten at formidle en generel begrebsstruktur. Ohms lov er jo udmærket til at behandle praktiske kredsløbsspørgsmål. Men i gymnasiet er det jo netop et krav at kunne indse overordnede generelle faglige strukturer. Mange undersøgelser viser, at eleverne ikke kan leve op til disse krav f.eks. med hensyn til termodynamikkens første hovedsætning.

Dertil kommer, at der i lærebøgerne kan indsnige sig "foreløbige" definitioner på baggrund af de lærte detaljer. Disse foreløbige definitioner kan på grund af deres begrænsede (og til tider ukorrekte) indhold i høj grad hindre en senere tilegnelse af en mere generel (og korrekt) repræsentationsform af begreber eller relationer. Kendte eksempler er, at energi på baggrund af mekanikkens begreber defineres som "evnen til at udføre arbejde", og at spændingsforskel på baggrund af Ohms lov defineres som strømstyrke gange resistans (modstand).



EN MODEL FOR TILRETTELÆGGELSE AF UNDERVISNING

På baggrund af sin teori om subsumption beskriver Ausubel en model for tilrettelæggelse af undervisning. Den består i følgende krav til undervisningen og undervisningsmaterialet:

1. Organisatorer for nyt lærestof  
(Advance organizer)
2. Voksende differentiation af begreber og begrebsrelationer  
(Progressive differentiation)
3. Integration og forening af begreber og begrebsrelationer  
(Integrative reconciliation)
4. Sekventiel tilrettelæggelse  
(Sequential organization)
5. Konsolidering  
(Consolidation).

Med begrebsrelationer eller blot relationer menes der her udsagn, som i ord eller ved formler udtrykker en ny indsigt eller erkendelse ved at sammensætte flere allerede kendte begreber. Følgende er f.eks. en relation: "Ændringen i den indre energi er summen af den overførte varme og det overførte arbejde". Udtrykket relation eller begrebsrelation er en forsøgsvis oversættelse af udtrykket "propositions". De fem krav er ligeledes forsøgsvis oversættelser af Ausubels udtryk, som er tilføjet i parentes. I det følgende skal de fem krav behandles nærmere.

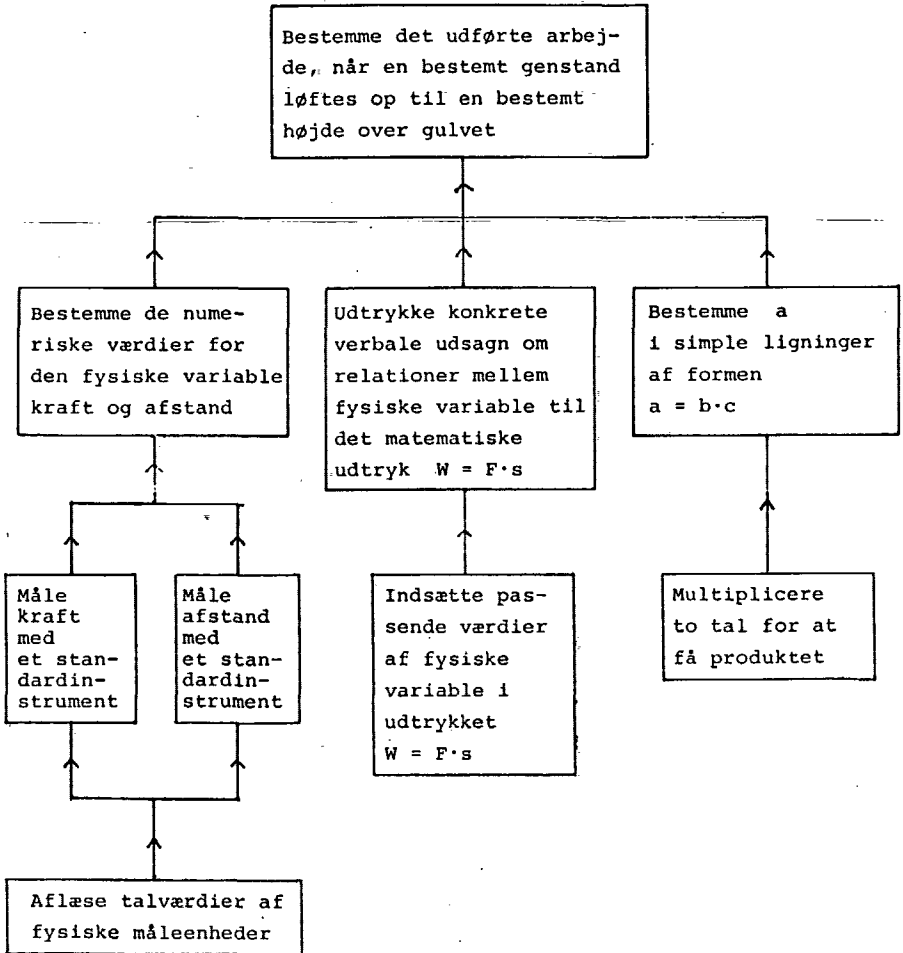
### Organisatorer for nyt lærestof

De emner, som i den traditionelle undervisning går forud for tilegnelsen af mere generelle begreber og relationer kan ifølge Ausubel ikke gøres til genstand for meningsfuld læring, da referencerammen (subsumatoren) - nemlig de selvsamme generelle begreber og relationer - mangler. Den referenceramme, som gør <sup>meningsfuld</sup> læring mulig, skal være til rådighed. Undervisningen må derfor tilrettelægges, så det overordnede begreb eller den overordnede relation indlæres forud for detaljerne. Kun derved bliver logisk meningsfuldt materiale potentielt meningsfuld. Sammen med den lærendes intention om at lære er dette forudsætningen for meningsfuld læring. Derved fremhæves og indses de overordnede begrebers og relationers relevans og anvendelighed og deres forklaringsværdi. Repræsentationsformen i den kognitive struktur bliver mere generel og stabil. Dette sidste er vigtigt med henblik på fremtidig indlæring af beslægtet stof. Samtidig fremhæver det overordnede også relevansen af det nye lærestof.

For hvert nyt lærestof må der altså vælges et overordnet begreb eller en begrebsrelation, der kan organisere den nye viden. En sådan organisator, hvortil ny viden kan forankres, er altså et velovervejjet og bevidst pædagogisk indgreb fra tilrettelæggerens - lærerens - side. Den har til hensigt at skabe sammenhæng mellem det eleven allerede ved, og det stof som skal tilegnes. Denne proces, hvor eleven tilføjer viden til den eksisterende referenceramme, gøres også bevidst for eleven.

En organisator kan fremstå ved en afgrænsning og præcisering af eksisterende viden, som eleven er fortrolig med fra dagligdagen. Derved lærer eleven også at skelne imellem sine egne hverdags-forestillinger og de korrekte faglige begreber. En organisator kan også bestå i viden, som eleven ikke på forhånd er fortrolig med. I så fald

må den først indlæres. Det vil sige, at det må gøres muligt, at "konstruere" og formidle en viden, der er overordnet i forhold til det følgende lærestof. Ausubel taler også om ankerbegreber, dvs. begreber, ny viden kan forankres til.



Eksempel på en hierarkisk struktur

(Oversættelse efter Gagné 1965)

Bemærk, at der ikke er tale om en oversigt eller lignende, men om et overordnet begreb eller en overordnet begrebsrelation.

Ausubel står her i modsætning til den hierarkiske model for tilrettelæggelse af lærestof, som den f.eks. fremsættes af Gagné. Ifølge en sådan model ordnes lærestoffet hierarkisk efter generalitet. Derefter tilrettelægges undervisningen, så eleverne føres fra lavere til højere generalitet af viden. Det vil sige, intet begreb og ingen relation indlæres, før hele den af lærestoffet omfattede viden af lavere generalitet beherskes. Med hensyn til generalitet er der altså kun én vej igennem stoffet. Ausubel finder et sådant énvejssystem uheldigt. Indlæringsproduktet bliver knyttet til dette hierarkiske system, som bliver den eneste mulige sammenhæng, det faglige stof kan ses i. Derfor får den således tilegnede viden en repræsentationsform i den kognitive struktur, som er ubrugelig i andre, nye situationer. Alle underordnede emner, som skulle være forudsætningsgivende er "meningsløse" og irrelevante for eleverne, da de ikke er i besiddelse af en referenceramme - en forudgående organiserende viden. Derfor lærer eleverne stoffet udenad på forventet efterbevilling af indsigt. Først når eleverne har været igennem hele hierarkiet, er der imidlertid mulighed for at indse det generelle, det som giver mening til detaljerne. Det vanskeliggøres nu af, at detaljerne har været lært udenad. De har derfor en uheldig repræsentationsform eller er glemt.

En hierarkisk ordning kan bruges til en analyse af lærestof. Det skal blot ikke resultere i en énvejsmodel, som om der ikke var andre veje gennem lærestoffet. Skal hierarkiet benyttes, må det være oppefra og ned fra højere til lavere generalitet. En tanke som i øvrigt ikke ligger fjernt fra den russiske psykolog Vygotskys tanker.

Vygotsky skelner således mellem udviklingen af "dagligdags begreber" og "videnskabelige begreber". Dagligdagsbegreberne udvikles spontant ved vekselvirkning med omgivelserne og fra lavere til højere generalitet. De videnskabelige begreber udvikles derimod fra højere imod lavere generalitet, fordi de formidles til den lærende. Derved bliver forholdet til "genstanden" for begrebet middelbar og ikke spontant. Det videnskabelige begreb går forud for sin "genstand". I øvrigt er der også en række andre fælles træk mellem Vygotsky's og Ausubel's tanker. De mener bl.a. begge, at videnskabelige begreber tilegnes og udvikles ved en aktiv og bevidst proces, hvorved begrebet knyttes til erfaringen. Vygotsky siger, at begrebet kæmper sig vej til objektet.

---

En anden grund til at Ausubel afviser brugen af en hierarkisk model er, at den er alt for rigid i forhold til den variation i kognitiv struktur, som findes i en elevgruppe. Han fremhæver netop det idiosynkratiske, at viden ikke er noget absolut, som man enten kan have eller ikke have. Viden har forskellige repræsentationsformer i de forskellige mennesker, og nyt lærestof bliver fortolket ud fra den enkelte elevs repræsentationsform. Derfor må læreren også være accepterende over for forskelle i fortolkning og forklaring af nyt stof. At tilstræbe en ensartethed vil resultere i udenadslæren. Der er selvfølgelig ikke tale om at acceptere direkte ukorrekte opfattelser, men netop forskelle i opfattelser på grund af forskelle af repræsentationsform i den enkelte elev. Dette er ikke mindst vigtigt i betragtning af elevernes forskellige udviklingstrin.

Ved konstruktion af en organisator må der derfor tages hensyn til elevernes udviklingstrin, og formuleringen må være i et sprog, eleverne er fortrolige med. Et fagligt set generelt og overordnet begreb behøver ikke at have en meget abstrakt repræsentationsform. En sådan repræsentationsform kan være et mål, som eleverne skal udvikles hen imod.

### Betydningen af elevernes kognitive udvikling

Ausubel benytter sig i høj grad af træk fra Jean Piagets beskrivelse af den kognitive udvikling, men fortolker den ind i sin egen model. Han fremhæver konkret og formel (abstrakt) tænkning som to kvalitativt forskellige tankemønstre, men afviser at udviklingen sker i identificerbare spring. Udviklingen fra konkret til abstrakt sker kontinuert og i høj grad som et produkt af indlæringsprocesser. Denne udvikling er idiosynkratisk dvs. afhængig af individet og afhængig af de emner, der skal indlæres. Ausubel forholder sig kritisk til Piaget, men kritikken er dog nærmere rettet imod nogle hårdhændede og vulgære tolkninger af Piagets teori og dens anvendelse i undervisningsmæssig sammenhæng.

Man kan beskrive det konkrete og det abstrakte eller formelle tankemønstre specielt med henblik på undervisningen i fysik på følgende måde:

Det konkrete tankemønster er kendetegnet ved, at det refererer til genstande og hændelser, som er konkrete og fortrolige. Det iagttagelige er en nødvendighed, når egenskaber og hændelsesforløb skal benyttes i tænkningen.

Arsagssammenhænge kan nok benyttes - f.eks. i forbindelse med en forklaring - men kun en enkelt årsag ad gangen. Tænkning, der bygger på relationer, flere samtidige årsager eller hypotetiske ikke-iagttagelige forhold er ikke mulig.

Forklaringer, der bygger på analogier til iagttagelige situationer - konkret tænkning i modeller - er mulig, men det sker uden hensyntagen til evt. andre kendte men modsigende iagttagelser. Associationer er springende og indbyrdes inkonsistente.

Den tænkende person er sig ikke sin egen tænkning bevist og har derfor svært ved at begrunde sit eget valg af forklaringer.

I eksperimentelle situationer kan den konkret tænkende let udpege enkelte variable, men er ikke i stand til systematisk at undersøge deres indflydelse på et forsøgsudfald. Ved længere eksperimentelle forløb, hvor der er tale om en kombination af flere eksperimentelle betingelser, er det derfor nødvendigt med en trin for trin instruktion. Denne kan til gengæld følges med omhu og præcision.

Konklusioner drages kun på baggrund af en enkel sammenhæng, den checkes ikke med andre kendte facts.

En teoretisk kontrol dvs. en sammenligning af et resultat med en teori eller et teoretisk princip ligger uden for rækkevidde. Det vil kræve hypotetisk - deduktiv tænkning, som netop kendetegner det næste trin - det formelle tankemønster.

Det er imidlertid vigtigt at understrege, at så længe den konkrete reference er til stede, dvs. genstande, fænomener og hændelser, som er oplevede og iagttagelige og som huskes, så er konkret tænkning et ganske udmærket og magtfuldt redskab til argumentation og problemløsning. Der kan etableres simple sammenhænge, og tankemønstret har, når betingelserne er til stede, en slags indre konsistens, som den, der har diskuteret meget med børn, ikke kan have undgået at bemærke.

Begrænsningerne i det konkrete tankemønster er netop de egenskaber, som udmærker det formelle tankemønster.

Det formelle tankemønster er ikke bundet af konkrete iagttagelige forhold, men kan benytte sig af såvel det konkrete som det mulige - det hypotetiske.

Den formelt tænkende kan tænke i principper og begrebsrelationer. En situation kan gennemtænkes og analyseres ud fra flere årsager, og sammenhænge kan opstilles funktionelt og matematisk.

Der er nu ikke blot mulighed for, at forklaringer kan bygge på alle kendte facts, men der vil også være en trang til forklaring og en trang til indre konsistens. Der er således tale om bevidst (også teoretisk) kontrol af forklaringshypoteser. Tænkning i modeller kan være såvel konkret som abstrakt (matematisk), og en egentlig teoretisk kontrol ved hypotetisk-deduktiv tænkning er mulig.

I eksperimentelle situationer kan den formelt tænkende selv planlægge og gennemføre et eksperimentelt forløb med en systematisk variabel-kontrol.

Konklusioner sammenlignes og checkes med andre kendte facts og kontrolleres teoretisk. Det formelle tankemønster er kendetegnet ved en bevidst kritisk og selvkritisk tænkning.

Som det fremgår af denne beskrivelse, kan det få afgørende betydning for forståelsen og brugen af en organisator, hvordan den indføres, og hvilken formulering der benyttes. Da det drejer sig om en overordnet viden - det være sig et begreb eller en begrebsrelation - er der fare for, at formuleringen bliver for abstrakt. Funktionen af den overordnede referenceramme går selvfølgelig tabt, når eleverne ikke kan tilegne sig den på grund af et for højt abstraktionsniveau. Det vil være u hensigtsmæssigt f.eks. i 1.g. at definere energi som en tilstandsfunktion. Det vil eleverne sprogligt ikke kunne forstå, og det vil ligge langt over deres kognitive formåen.



### Eksempler på organisatorer

Da vi skulle tilrettelægge undervisningen i fysik i 1.g., havde vi et ønske om at give energibegrebet en central placering. Energi skulle derfor være det overordnede, organiserende begreb. Det drejede sig altså om, at eleverne fik et stabilt og for den følgende undervisning relevant energibegreb forud.

I den traditionelle tilrettelæggelse introduceres energibegrebet i mekanikken efter kraftbegrebet og begrebet mekanisk arbejde. Ved så at forsøge at definere energi alene ud fra mekanikken, kommer man i et dilemma, idet termodynamikkens første hovedsætning ikke er til rådighed. Derfor bliver energi af og til noget misvisende defineret som arbejdsevne. I varmelæren og i elektricitetslæren vender man så tilbage til energibegrebet, men igen efter at være begyndt "forfra" med de underordnede begreber. Derefter håber man, at elever i det væsentlige selv kan generalisere energibegrebet bl.a. ved nu at indføre termodynamikkens første hovedsætning. Men en definition sikrer ikke en generel og brugbar viden (brugbar i nye situationer). Selv om der har været gennemgået en del detaljer og selv om materialet er logisk meningsfuldt, så er det ikke potentielt meningsfuldt, fordi eleverne mangler en referenceramme. Uden en referenceramme (subsumatoren) kan der ikke ske meningsfuld læring.

Energibegrebet er velkendt fra elevernes dagligdag. Det har imidlertid mange betydninger. Med hensyn til fysikundervisning er der her altså tale om, at der i elevernes kognitive struktur forefindes en relevant subsumer, men den er vag og flertydig. Der er således brug for en begrebsmæssig præcisering og stabilisering, hvis man vil undgå fremtidige misforståelser og fortolkninger ud fra elevernes "førvidenskabelige" eller "hverdags"-begreber. Samtidig må denne præcisering være afpasset efter elevernes kognitive udviklingstrin. Undersøgelser viser f.eks., at mange elever er konkret tænkende. Derfor indførtes be-

greberne energikilde, energimodtager og tegn på energi-overførsel ved hjælp af mange eksempler. Disse begreber er netop repræsenterede i omverdenen ved konkrete og iagttagelige genstande og hændelser. Desuden indførtes begrebet energikæde.

I konkrete situationer kan energiændringer i et system eller energioverførsler måles eller beregnes ud fra målte størrelser. En måler for energiomsætning er f.eks. den elektriske måler i husene. Denne benyttedes nu til at måle energioverførsler ved f.eks. en hårtørrer el.lign. Dernæst brugtes en særlig måler for energioverførsel (et joulemeter) til at måle overførslen af energi fra en elektrisk energikilde til forskellige energimodtagere. Det var f.eks. en motor, der løftede noget op, nogle elektriske pærer der lyste eller en varmetråd, som opvarmede noget vand.

Ved så at finde ud af sammenhængen mellem overført energi og tid blev begrebet effekt defineret. Energibevarelsen blev postuleret, og begreberne "energiforbrug", nyttevirkning og energiomkostning indførtes ved konkrete eksempler og forsøg.

Hvert trin i forløbet - i undervisningssekvensen - skulle organisere og give mening til de følgende trin. Energibegrebet blev således mere og mere præciseret og stabiliseret, uden at der derfor var tale om en formel definition. Ved konkrete og iagttagelige eksempler fik også såvel termodynamikkens første som anden hovedsætning en eller anden - omend meget foreløbig og kvalitativ - repræsentationsform.

Efter dette indledende forløb, hvor der blev forsøgt udviklet en forudgående organiserende viden, fortsatte forløbet med en nærmere beskrivelse af energioverførsler (med stigende formalitet). Eleverne blev i øvrigt informeret om forløbets opbygning og ideen med det. Appendix 1 viser de første sider fra elevernes hæfte.

### Voksende differentiering af begreber og relationer

Ved at arbejde med underemner og detaljer efter tilegnelsen af et overordnet begreb eller en relation opnås en begrebsmæssig nuancering. Samtidig med at den nye viden indordnes, ændres også den overordnede viden. Den får en repræsentationsform, som er bredere og mere anvendelig i nye situationer. Stoffet bør derfor tilrettelægges, så denne differentiering fremgår. Derved vil der hele tiden være en relevant organisator for ny viden til rådighed.

Til grund for en sådan ordning af begreber, relationer og facts ligger postulatet om, at det er mindre vanskeligt for eleven at gå fra helheden til detaljen, end det er at indse helheden på baggrund af detaljerne. Desuden postuleres, at viden i den enkeltes kognitive struktur er ordnet sammenhængende hierarkisk, således at ny viden (detaljer) kan indordnes (subsummeres) i den overordnede struktur og derved opnå en nuancering og en voksende differentiering.

### Eksempler på voksende differentiering

Vender vi tilbage til de tidligere omtalte eksempler på organisatorer, så skete der allerede en nuancering i og med de mange eksempler på energiomsætninger og den simple kvantificering. En yderligere differentiering opnåedes med begreberne effekt, energibevarelse, "energiformbrug", nyttevirkning osv.

Ved nu kvantitativt at behandle de forskellige former for overførsel af energi med de relevante begreber nærmede vi os den sædvanlige tilrettelæggelse af fysikstoffet, men med en helt anden indfaldsvinkel og et andet perspektiv. Således blev energioverførsel ved kræfter det første eksempel på en nærmere beskrivelse altså en differentiering.

Begrebet kræfter behandlede i det omfang, det var nødvendigt for at kunne beskrive forskellige kræfter og deres arbejde. På kvantitativ måde arbejdede eleverne med eksempler på tyngdekraftens arbejde, gnidningskræfters arbejde og fjederkræfters arbejde. Med mekanisk arbejde som udgangspunkt omtaltes nu begrebet energitilvækst altså ændringer i energikildens og/eller energimodtagerens tilstand. Netop denne relation har været repræsenteret kvalitativt i mange af de allerførste eksempler i begyndelsen af forløbet.

Dernæst indførtes begrebet potentiel energi kvantitativt og formlen for kinetisk energi blev indført på baggrund af mekanikkens energisætning.

På helt tilsvarende måde fra de overordnede til de underordnede begreber behandlede energioverførsel ved varme og elektrisk arbejde. Bemærk, at begreberne elektrisk strøm, spændingsforskel og resistans indførtes som differentiering af begrebet energioverførsel. Derved kan disse begreber gøres til genstand for meningsfuld læring. De kan indføres og defineres fagligt korrekt, og man behøver ikke gribe til tvivlsomme genveje såsom at definere spændingsforskel ved hjælp af Ohms lov, som omtalt tidligere.

Energioverførsel ved varme og ved arbejde blev nu forenet i termodynamikkens første hovedsætning: "Ændringen i et systems indre energi - energitilvæksten - er summen af energioverførslerne ved arbejde og ved varme". Derved fås et kvantitativt udtryk for energibevarelsen, og arbejde og varme fremtræder som analoge begreber. Denne sidste relation rækker imidlertid ud over kravet om den voksende differentiering. Der er ikke blot tale om en differentiering, men også om en integrering og forening af nogle begreber.

### Integrering og forening af begreber og relationer

For at den lærende skal kunne indse begrebsmæssige sammenhænge, placere begreber og begrebsrelationer i forhold til hinanden og erkende graden af generalisation, er det ikke tilstrækkeligt, at den nye viden differentierer eksisterende viden. Den eksisterende viden skal også re-kombineres i lys af den nye tilegnede viden. Ligheder, forskelle og sammenhænge mellem begreber og relationer skal derfor tydeliggøres.

Dette indebærer, at der for ethvert nyt emne, begreb eller relation, som skal læres, bruges plads og tid på at referere til beslægtede dele i det allerede tilegnede stof. Derved undgås, at eleven lærer det nye stof isoleret. Dette ville nemlig medføre en repræsentationsform i den kognitive struktur, som er begrænset i sin anvendelse på nye situationer. Desuden formindskes risikoen for, at eleven selv skaber forkerte relationer mellem begreber, som kun tilsyneladende er beslægtede.

Sammenblanding, tvetydighed og misforståelser på grund af at nyt stof fortolkes ud fra elevens egne (hverdags-) forestillinger er velkendte fra fysikundervisning. De færreste elever har f.eks. begreberne energi, impuls og kraft på en repræsentationsform, som tillader dem at kunne skelne klart imellem dem. Dette kan skyldes, at der ikke i tilstrækkelig grad undervises i "slægtskabet" og relationerne imellem begreberne. Et emne bør derfor heller ikke kun optræde ét sted men i alle de forbindelser, hvor det er relevant, og hvor det i en ny sammenhæng kan føre til en ny indsigt.

Det er måske kun tilsyneladende, at der bruges mere plads og tid til at gentage tidligere lærte begreber og tydeliggøre relationer, ligheder og forskelle for hvert enkelt nyt stykke stof. Foruden at der undgås misforståelser, vil såvel den nye som den allerede eksisterende viden få en

mere generel repræsentationsform. Det vil gøre den mere anvendelig i nye situationer og altså også i fremtidige indlæringsituationer.

Det er ofte nødvendigt at dele lærestof op i parallelle, tidsmæssigt adskilte forløb. De begrebsmæssige sammenhænge imellem tidsmæssigt adskilt, tilegnet stof er derfor en væsentlig del af hele tilegnelsesprocessen.

Disse sammenhænge er især væsentlige at fremhæve, fordi eleverne i en presset skolesituation vil tendere til at isolere ny tilegnet viden og lære udenad. Derved søger de på forhånd at undgå eventuelle misforståelser, tilsyneladende modsætninger og almindelig forvirring, som kan opstå, når ny viden vekselvirker med eksisterende upræcis, ustabil eller helt irrelevant viden. Afklaringen af sådanne dårligt fungerende forhold mellem ny og eksisterende viden kræver tid, som eleven ikke har. Derfor vælger eleven at lære udenad.

En tilskyndelse til udenadslæren kan også opstå ved, at skolen ikke i tilstrækkelig grad erkender de individuelle forskelle i kognitiv struktur. Manglende accept af et bredt spektrum af mulige fortolkninger og forklaringer inden for det fagligt forsvarlige kan bevirke, at udenadslæren benyttes som en forsvarsmekanisme.

#### Eksempler på integration og forening af begreber og relationer

Ser vi på de tidligere omtalte begreber som "energiformbrug" og energibevarelse, er der en tilsyneladende modsætning. En tidsmæssig adskilt omtale i undervisningen kan derfor føre til, at eleven ikke kan gøre rede for betydningen af de to begreber, hvis modsætning udeluk-

kende skyldes sprogbrugen. En egentlig opklaring af forskellen ligger i termodynamikkens anden hovedsætning. Kvalitativt er det dog let at integrere de to begreber, ved at der ved "energiforbrug" er tale om energikildeforbrug, dvs. der kan ikke overføres mere energi fra en (konkret) energikilde til en energimodtager. Energibevarelse er derimod et formelt energiregnskab uafhængig af konkrete kilder og modtagere. Den daglige sprogbrug "energiforbrug" er vigtig at inddrage i undervisningen netop for, at den ikke skal bevirke misforståelser eller give anledning til, at begreber isoleres.

I det foregående afsnit blev der, som eksempler på en differentiering af begrebet energioverførsel anført begreberne arbejde og varme. I undervisningen blev de to begreber behandlet i parallelle tidsmæssigt adskilte forløb. Ved at integrere og forene begreberne arbejde og varme med allerede eksisterende viden om ændringer i den indre energi af et system fremtræder de to begreber som analoge. Man kan altså ikke se på et system, om ændringen i indre energi er sket ved, at der er overført varme eller ved, at der er udført et arbejde på det. En metalklods kan f.eks. være blevet varmere enten ved, at den er bragt i kontakt med en varmere genstand, eller ved at der er gnedet på den subsidiært ledet en strøm igennem.

Samtidig fortæller relationen, at holder man regnskab med tilvækst i indre energi og energioverførsler i form af arbejde og varme, så er energien bevaret. Disse væsentlige erkendelser kan ikke opnås, ved at de bliver nævnt som sådanne. Det er nødvendigt at gentage og referere til tidligere behandlet stof i lys af det nye stof, således at begreber og relationer i den nye sammenhæng bliver præcise og stabile. Kun derved opnås den generelle repræsentationsform, som er nødvendig for en fremtidig anvendelse. Det er her nok igen værd at bemærke, at den nye viden jo i reglen fremtidig skal bruges som organisator for nyt lærestof.

### Sekventiel ordning af lærestoffet

For at en differentiering, en integrering og en forening af begreber og relationer kan ske, må stoffet ordnes i forløb, således at ethvert trin i forløbet bygger på det foregående. Det er en banal selvfølgelighed. Det kræver imidlertid en nøje undersøgelse, der omfatter såvel en analyse af det faglige stof som en analyse af elevernes forudsætninger. Hvad der kommer før hvad, er altså et spørgsmål om ordning efter faglige sammenhænge afpasset efter elevernes udvikling (logisk meningsfuldhed) og efter eksistensen af relevante subsumatorer i eleven (potentiell meningsfuldhed). For hvert trin må tilrettelæggeren sikre sig, at den nødvendige organisator er til rådighed, og at kravet om en voksende differentiering, integrering og forening af begreber og relationer tilgodeses. Undervisningssekvensen er i reglen (altid) et kompromis mellem den faglige analyse, elevernes forudsætninger og undervisningens mål. Sådanne valg kan være belastende for tilrettelæggeren. Derfor vil der ofte være en tendens til at benytte sig af det kendte, det engang prøvede forløb. Der kan inden for et traditionsrigt fag som f.eks. fysik ligefrem indsnige sig en opfattelse af, at der kun er én autoritativ måde at ordne dette eller hint stof på. Der er det nok nyttigt at erindre, at enhver systematisering af stof er et resultat af nogle valg, en person eller nogle personer har foretaget. Disse valg er måske i betragtning af Ausubels kritik af traditionel skoleundervisning ikke altid lige heldige.

### Eksempel på sekventiel ordning af stof

Eksemplerne i de foregående afsnit repræsenterer allerede dele af undervisningssekvenser. Ser vi på begrebet arbejde, så er forudsætningen i den her valgte sammenhæng, at eleverne har begrebet energioverførsel til rådighed. Til at



begynde med kaldte vi derfor arbejde for energioverførsel ved kræfter. Først da kraftbegrebet var behandlet og rimeligt præciseret og stabiliseret, blev arbejde defineret som kraft gange vej evt. på vektorform. Derimod arbejdede vi ikke med tids- eller stedsafhængige kræfter, bortset fra fjederkræfter, hvor der er en simpel sammenhæng. Denne sammenhæng kan afbildes grafisk, og arbejdet kan udregnes geometrisk. Arbejde som et integral var det af hensyn til elevernes forudsætninger ikke muligt at behandle.

### Konsolidering

De enkelte led i det sekventielt opbyggede undervisningsforløb konsolideres, inden der fortsættes til det næste led. Fordi de enkelte led skal bruges som organisatorer for de følgende led, er det nødvendigt at sikre, at de har en sådan repræsentationsform i den kognitive struktur, at de kan bruges i de fremtidige nye (indlærings-) situationer.

Alt efter stoffets karakter kan det gøres ved diskussioner og samtaler, hvor begreber og begrebsmæssige sammenhænge afklares, misforståelser korrigeres osv. Der kan gives opgaver, der dels kræver reproduktion af det gennemarbejdede stof, dels giver mulighed for at bruge stoffet i nye situationer. Specielt for fysik- (og den øvrige naturvidenskabs-) undervisning gælder, at eksperimenter i særlig grad giver mulighed for at anvende viden i konkrete og nye situationer.

I alle disse konsolideringsbestræbelser er det vigtigt ikke blot at se et stykke lærestof - et led i sekvensen - placeret i forhold til de nærmest foregående led, men også ved oversigter, repetitioner og lignende se det placeret i en større sammenhæng.

### Eksempler på konsolidering

Et emne, der kan diskuteres og derved afklare nogle relationer, er f.eks. følgende:

Giv en forklaring på, at der ikke behøver at være modstrid imellem, at energien i verden er bevaret, og at energikilder bruges op.

Eller

"Hvordan vil menneskelig arbejdskraft indgå i en energiomkostningsanalyse og i en økonomisk analyse?"

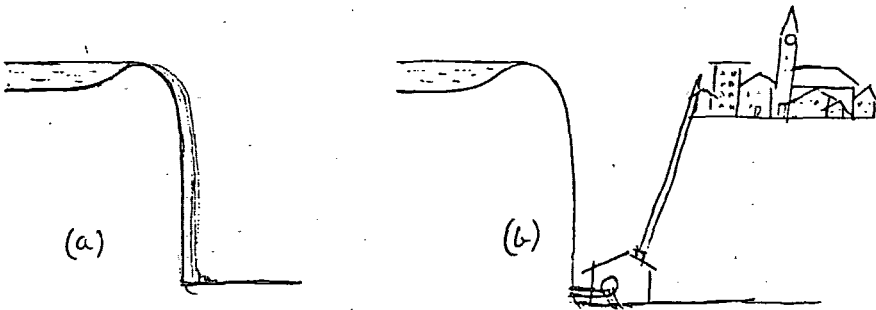
Typiske er også følgende:

Overvej nøje følgende tre påstande om betydningen af  $E_{\text{pot}} = mgh$  for en partikel i tyngdefeltet. Overstreg den/de forkerte og indrøm den/de rigtige.

- $E_{\text{pot}} = mgh$  er tyngdekraftens arbejde, når partiklen falder fra højden  $h$  til højden nul.
- $E_{\text{pot}} = mgh$  er tyngdekraftens arbejde, når partiklen løftes fra nulniveauet til højden  $h$  i tyngdefeltet.
- $E_{\text{pot}} = mgh$  er det arbejde, en ydre kraft må udføre for at løfte partiklen fra nulniveauet til højden  $h$  i tyngdefeltet.

Den indre energi af en kobberklods får tilvæksten 440 J. Herved stiger klodsens temperatur med  $5^{\circ}\text{C}$ .

- Beregn klodsens varmekapacitet.
- Find kobbers specifikke varmekapacitet i en tabel og beregn klodsens masse.



Figuren skal forestille et vandfald før (a) og efter (b) at det udnyttes til el-produktion.

Redegør for, hvilke tegn på energioverførsel der er, hvad der er energikilde, og hvad der er energimodtager i de to tilfælde. Specielt vil jeg gerne bede dig om at forklare følgende:

I (b) forsynes en by med el-energi fra vandfaldet.

Hvad skete der med den energi, før el-værket blev sat i drift?

Var den der?

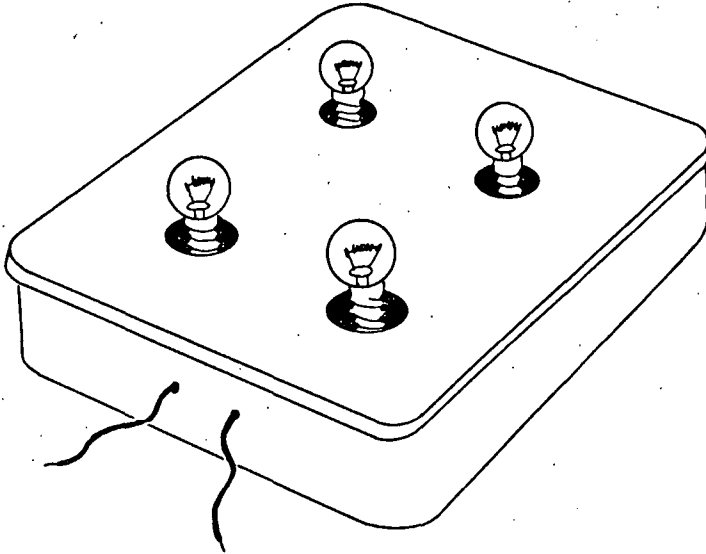
Hvor?

Hvilken form fik den?

For at løse den følgende opgave må begreberne strøm og spændingsforskel være repræsenteret, så de kan bruges i praktiske situationer.

I det følgende kan du selv afprøve, hvor dygtig du er blevet til at finde ud af elektriske kredse. Du skal nemlig finde ud af, hvordan nogle pærer er forbundet, kun ved at iagttage, hvordan de lyser.

Du får nogle kasser som nedenstående tegning:



Spillereglerne er følgende:

Kassen skal forsynes med 6 volt jævn- eller vekselspænding.

Kassen må ikke lukkes op.

Der skal tegnes et diagram over, hvordan pærerne er forbundet.

Til hjælp for opgaveløsningen må man gerne skrue pærerne løse. Det samme gælder for testningen af det tegnede diagram.

Ved hjælp af diagrammet forudsiger man, hvordan pærerne vil lyse, når man skruer en bestemt pære løs - og prøver så.

En anden form for konsolidering, vi benyttede, var at lade eleverne skrive en stil på baggrund af en artikel om energi. Her fik de lejlighed til at udtrykke sig med deres egne ord og bruge begrebet. Dette skete i samarbejde med dansklæreren.

## AFSLUTNING

I lys af de sidste års undersøgelser over skoleelevers hverdagsbegreber - eller førvidenskabelige begreber - i naturvidenskab forekommer Ausubels teori meget væsentlig i sit udgangspunkt, nemlig:

"Den væsentligste faktor ved indlæring er, hvad den, der skal lære, allerede ved:"

Spørgsmålet er så, om Ausubels model anvendt på lærestof vil bevirke, at eleverne i højere grad kan bruge de tilegnede videnskabelige begreber i relevante hverdagsituationer. Her må man nok erindre, at en betingelse for meningsfuld receptiv læring er, at den lærende skal intendere at subsumere. Hvordan intentionen om at subsumere skabes og fastholdes igennem et undervisningsforløb, er en sag om nysgerrighed og glæden ved at lære skabt ved, at man allerede besidder viden, som man "mestrer". Bemærk, at der bruges udtryk som nysgerrighed og glæde, uden dog at ordet interesse nævnes. Ausubel spørger ikke om, hvad eleverne er interesseret i. Alligevel er det måske netop elevernes interesser, som er det helt afgørende for tilegnelse af viden. Eleverne er interesseret i at lære noget, men det er - også ifølge Ausubel - ikke nok. De skal være interesseret i det, undervisningen handler om - intendere at subsumere den ny viden i den eksisterende, som Ausubel udtrykker det. Kan eleverne det uden at problematisere den ny og den eksisterende viden?

Ausubels kritik af den eksisterende skole forekommer imidlertid relevant. Det gør indledningscitatet af Holberg også. De er fremsat med mange års mellemrum og illustrerer, at mange fundamentale problemer er de samme.

Et af fysikundervisningens problemer er, at det anses for at være et svært, koldt og hårdt fag, hvor der er skarpe veldefinerede grænser mellem rigtig og forkert. Har fysikken den karakter, eller er det kun skolefaget fysik? Trænger skolefaget til at erkende, at al viden er idiosynkratisk, og at der derfor kræves aksept af variationer i forståelse og udtryksmåder? Det er banalt at understrege betydningen af elevernes forudsætninger. Det er tilsyneladende ikke banalt at tilrettelægge og udføre en undervisning, som tager hensyn til elevernes forudsætninger.

---

APPENDIX 1

Det følgende er de første sider fra noterne til undervisning i fysik i 1.g. De viser, hvordan energibegrebet blev introduceret som et organiserende begreb forud for resten af undervisningen i skoleåret. Noterne er skrevet af Karin Beyer og mig. Størstedelen af disse første sider er dog fra en forsøgsudgave af lærervejledningen til "Energi i 5. klasse", der er omtalt i forordet.



## Energibegrebet

### Energikilde, energimodtager, tegn på energioverførsel

I dagligsproget bruges ordet energi ofte i en noget vag betydning som evne (eller vilje) til at få noget til at ske, som evne til at forårsage forandringer i omgivelserne: "Han er fyldt med energi", "Ny energi med solgryn", "Energi, der er oplagret i kul og olie", "Stor psykisk energi" osv.

I fysikken har ordet et langt mere præcist begrebsindhold, men det er ikke muligt at give en kort og samtidig korrekt definition af "energi". Vi vælger derfor i stedet at afgrænse begrebet ved hjælp af eksempler.

At fastlægge indholdet af et begreb ved hjælp af eksempler er ikke noget usædvanligt. Det er på den måde, vi har fået indhold i begrebet som hund, rød, stribet og sur smag.

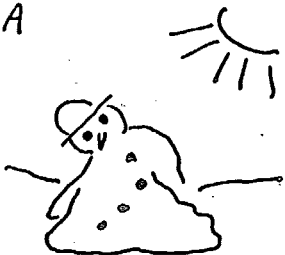
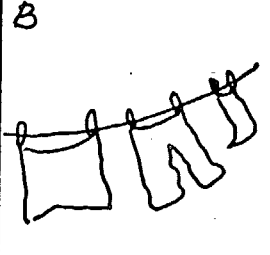
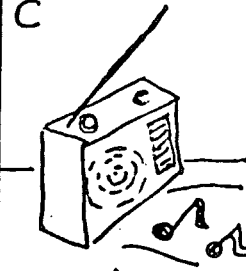
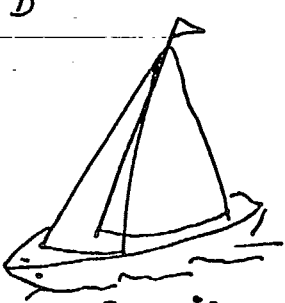
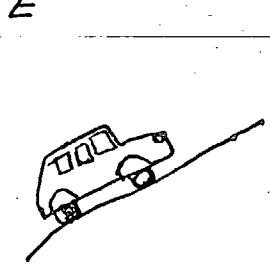
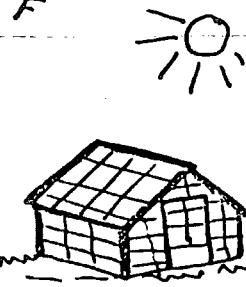
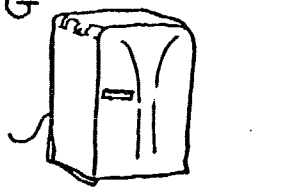
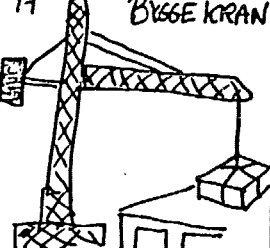
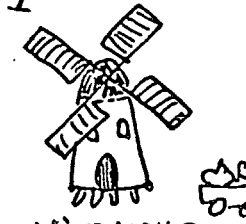
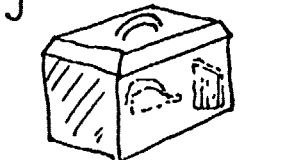
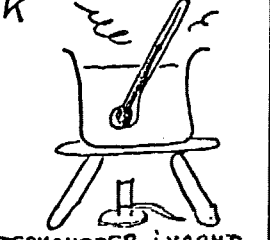
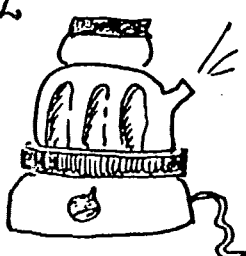
Ved behandlingen af energibegrebet vil vi både her i disse første sider og i undervisningsforslaget lægge vægt på hele tiden at referere til konkrete genstande og handlinger, idet vi bruger ordene energikilde, energimodtager og tegn på energioverførsel.

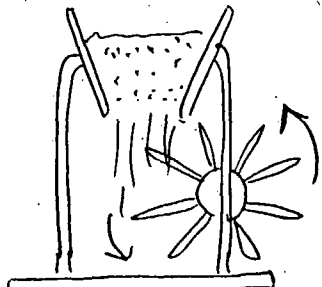
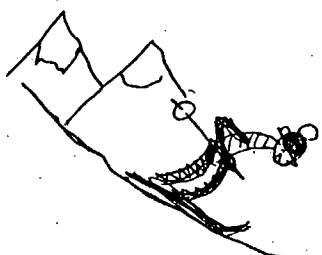
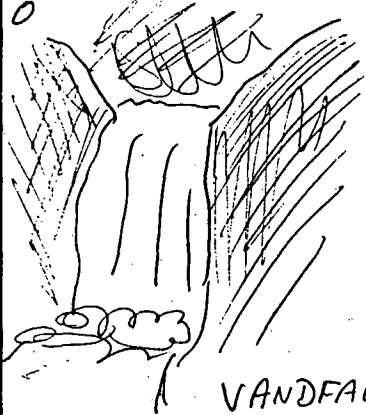
Eksempel: Når en pære og et element forbindes, og pæren lyser, siger vi, at elementet virker som energikilde og pæren som energimodtager. Dette, at pæren lyser, kalder vi et tegn på energioverførsel. Når et vækkeur kimer, vil vi sige, at den optrukne fjeder er energikilde og klokken energimodtager. Tegn på energioverførsel er, at en lille hammer sættes i bevægelse, og at klokken udsender en lyd. Et tredje eksempel: En kedel vand varmes over gassen. Her er gassen energikilde og kedelen med vand energimodtager. Tegn på energioverførsel er, at vandets temperatur stiger.

Opgave 1

Betragt situationerne, der er skitseret på de følgende sider. Angiv for hvert tilfælde, hvad der er energikilde, energimodtager og tegn på energioverførsel.

Opstil selv et skema, der oplyser om energikilder, energimodtager og tegn på energioverførsel for de situationer, som er antydnet nedenfor:

<p>A</p>  <p>SNEMAND</p>	<p>B</p>  <p>VASKETØJ</p>	<p>C</p>  <p>RADIO</p>
<p>D</p>  <p>SEJLBÅD</p>	<p>E</p>  <p>BIL</p>	<p>F</p>  <p>DRIVHUS</p>
<p>G</p>  <p>KØLESKAB</p>	<p>H</p>  <p>BYGGEKRAN</p>	<p>I</p>  <p>VINDMØLE</p>
<p>J</p>  <p>TERMOTASKE MED MAD OG FRYSE- ELEMENTER</p>	<p>K</p>  <p>TERMOMETER I VARMT VAND</p>	<p>L</p> 

<p>M Sand/mand-mølle</p> 	<p>N Skiløber</p> 
<p>O</p>  <p>VANDEALD</p>	<p>P</p>
<p>Q</p>	<p>R</p>

indfør dine egne eksempler!

## Opgave 2

- a) Angiv eksempler på systemer, der i én situation optræder som energimodtager og i en anden situation som energikilde.
- b) Giv eksempler på, at et system på én gang optræder som energikilde og energimodtager.
- c) Tag udgangspunkt i en situation på tegningsarkene og udbyg analysen til en mulig energikæde (dvs. en kæde af systemer eller genstande, hvor hvert led modtager energi fra det foregående led og afgiver energi til det efterfølgende).

---

### Energikilder bruges op

Et fællestræk ved energikilder er, at de i en vis forstand "bruges op". Selv solen, Jordens vigtigste energikilde, kan vel ikke være evigt? Som eksempel kan vi igen tage pære og element, der er forbundet, så pæren lyser. Tegn på energioverførsel er, at pæren lyser og bliver varm, samt at elementet efterhånden bliver "brugt op".

Når den spændte fjeder i vækkeuret virker som energikilde, slappes den samtidig. Til sidst ringer uret ikke mere.

I en atomkernereaktor virker uran som energikilde, og omgivelserne modtager energi i form af varme. Tegn på energioverførsel er bl.a., at uranet bliver omdannet til andre stoffer og derved brugt.

Som et nyt eksempel kan vi se på et brændende stearinlys. Her er stearinen energikilde og den omgivende luft energimodtager. Tegn på energioverførsel er bl.a., at luften bliver varm, og at lyset bliver kortere. Når vi

sagde, at stearinen var energikilde, var det lidt af en tilsnigelse. Strengt taget er energikilden systemet bestående af stearin og luft. Stearin alene er ikke megen nytte til, (prøv blot at sætte et omvendt syltetøjsglas ned over lyset, så det lukkes inde), men fordi vi i reglen har luft (ilt) nok i vore umiddelbare omgivelser, og ikke behøver at gøre os umage for at skaffe den frem, undlader (glemmer) vi ofte at nævne den.

På samme måde kan kul og ilt, olie og ilt osv. virke som energikilder, men i overensstemmelse med sædvanlig sprogbrug vil vi oftest tillade os at omtale f.eks. kul alene som energikilde.

Både for kul, olie og stearinlys er det tydeligt, at kilden ikke varer evigt.

Når man siger, at en energikilde er brugt op, er sprogbu-  
gen egentlig lidt misvisende. Et element bliver jo ikke væk, selv om det "bruges op". Det kan blot ikke mere virke som energikilde.

Energikilden "kul og ilt" bliver kun tilsyneladende væk. Den omdannes til kulilte og kultveilde.

Det er ofte en alvorlig biomstændighed ved energioverførsler, at man står tilbage med nogle "udbrændte" og således nytteløse energikilder, der kan give miljøproblemer. Som eksempel kan nævnes brugte kviksølvelementer, brændselsstave fra uran-reaktorer og kulilte, svovlilte og kultveilde fra forbrænding af kul og olie.

#### Nogle tegn på energioverførsel

Ved vor afgrænsning af energibegrebet kan det være nyttigt at nævne nogle typiske tegn på energioverførsel.

Når en genstands temperatur stiger, er det tegn på energioverførsel; genstanden er energimodtager. Falder temperaturen, er genstanden energikilde. En genstand, der lyser eller udsender lyd, er energikilde.

Når et stof fordampes eller smelter, virker det som energimodtager. Holder man f.eks. en isklump i hånden, er hånden energikilde, klumpen modtager. Tegn på energioverførsel er, at klumpen smelter.

Når en fjeder, en elastik el.lign. spændes, virker den som energimodtager, når den slappes, kan den virke som energikilde.

Når en genstand hæves, er den energimodtager, når den sænkes, energikilde.

En genstand, hvis fart forøges, modtager energi. Formindskes farten, afgives energi.

Følgende er altså tegn på energioverførsel:

- Temperaturændring
- Lysudsendelse
- Lydundsendelse
- Fordampning
- Fortætning
- Smeltning
- Størkning
- Hævning
- Sænkning
- Fartændring.

#### Energikæde

Når en fjeder i et vækkeur strammes, virker den som energimodtager, mens hånden er energikilde; men når uret senere ringer, virker fjederen som energikilde. Vi møder meget hyppigt sådanne eksempler, hvor en genstand først modtager energi og senere afgiver den igen. Man siger, at energien

gennemløber en energikæde. For omstående eksempel kan vi opskrive følgende kæde:

Hånd → urfjeder → klokke.

Måske kan vi udbygge den

Føde → hånd → urfjeder → hammer → klokke → øre.

Som et andet eksempel kan vi betragte en situation, hvor et barn skyder en sten op i luften med en slangebøsse. Mens elastikken strammes, virker barnets muskler som energikilde og elastikken som energimodtager. Men når elastikken slippes, virker den som energikilde. Stenen er energimodtager. Der overføres først energi fra muskler til elastik og derpå fra elastik til sten.

En oplagt energikæde er da:

Muskler → elastik → sten.

Kan vi forlænge kæden? Stenen rammer måske en rude og virker da som energikilde og ruden som modtager.

Tegnene på energioverførsel kan være, at stenen stoppes, og ruden går itu. Kan vi forlænge kæden den anden vej? Energien i musklerne kommer nok fra den mad, barnet har spist.

? → føde → muskler → elastik → sten → rude → ?

En karakteristisk ting for det enkelte led i kæden er, at genstanden først virker som energimodtager, så som energikilde.

Det er vigtigt at gøre sig dette klart, så at man undgår, hvad man kunne kalde "associationskæder", "tidsfølgekæder" el.lign.



Mindre vellykkede eksempler på forslag til energikæder er følgende:

Olie → bil → radiator → luft.

Bilen transporterer olien, men den modtager ikke energi fra olien (derimod fra benzinen i dens tank), og den er ikke energikilde i forhold til radiatoren.

Skorsten → oliefyr → varme → radiator.

Skorstenen afgiver ikke energi til oliefyret, og "varme" er ikke en genstand, derfor er "varme" hverken kilde eller modtager.

Luft → blæst → mølle.

Luft er ikke energikilde i forhold til blæst.

Jord → frø → mark → græs.

Frøet modtager energi fra solen, ikke fra Jorden, og det giver ikke energi videre til marken. En korrekt kæde kan være:

Sol → frø (plante) → ko.

### Opgave 3

Betragt energikilderne i eksemplerne på tegningsarkene foran. Besvar om muligt følgende spørgsmål:

- a) Hvad er tegn på, at energikilden er brugt op?
- b) Kan den "opbrugte" energikilde fungere som energikilde i en anden sammenhæng? Giv eksempler.
- c) Under hvilke omstændigheder kan det pågældende system fungere som energikilde? Hvad er i hvert eksempel tegn på, at "kilden" vil kunne afgive energi til et givet andet system?

### Energien er bevaret

Vi har i eksemplerne ovenfor set, at et bestemt system kan fungere som energikilde, energimodtager eller begge dele, efter hvordan det nøjere vekselvirker med andre systemer.

Vi har talt om tegn på energioverførsel, når noget smeltede, blev varmere, blev løftet, fik større fart, fordampede, udsendte lys osv. Man taler om at løftede genstande besidder beliggenhedsenergi, at legemer, der bevæger sig med en vis fart, besidder bevægelsesenergi eller kinetisk energi, at temperaturstigning er tegn på ændring i termisk energi, og at tilstandsændringer som smeltning og fordampning er tegn på ændring i indre energi.

Vi skal komme tilbage til disse begreber, og vi skal gradvist søge at begrunde den fælles betegnelse "ENERGI" i tilknytning til den mangfoldighed af processer, der foregår i forskellige situationer, hvor systemer vekselvirker. Efterhånden vil det fremgå, hvordan systemer tillægges energi, og hvordan processer bidrager til energiændringer.

Det er et afgørende postulat i fysikken, at energien kan omdannes fra en form til en anden, men ikke opstå eller forsvinde. For et system, der vekselvirker med omgivelserne, vil energien ændre sig, men det er altid muligt at beskrive ændringen ved, at andre systemer har modtaget eller afgivet energi. I et system, der ikke vekselvirker med omgivelserne (et isoleret system), er energien konstant eller bevaret.

Denne naturlov, som indtil videre er bekræftet af erfaringen inden for alle områder af fysikken, er den egentlige begrundelse for, at det ovenfor antydede begreb ENERGI er hensigtsmæssigt. Det er netop fysikkens opgave at finde frem til de grundlæggende begreber og sammenhænge, hvormed de meget forskellige forhold kan beskrives.

Fysikkens energibegreb er et meget nyttigt og meget fundamentalt begreb, som vi skal arbejde videre med i både varmelære, el-lære og mekanik i resten af dette kursus.

Opgave 4

Giv en forklaring på, at der ikke behøver at være modstrid imellem, at energien i verden er bevaret, og at energikilder bruges op.

APPENDIX 2

Indholdsfortegnelse over noter til "Fysik i 1.g."

Det følgende omfatter størstedelen af indholdsfortegnelsen til noterne til fysik i 1.g. skrevet af Karin Beyer og mig. Udeladt er emner, som blev marginale i undervisningen. Det gælder først og fremmest Gassers fysik bortset fra "Stempelarbejde". Sidetallene er fjernet.

### Energibegrebet

Energikilde, energimodtager og tegn på energioverførsel

Energikilder bruges op

Nogle tegn på energioverførsel

Energikæde

Energien er bevaret.

### Energimåling. "Energiforbrug"

Energienheder

Energiforbrug

Elevforsøg: Måling af elektrisk "energiforbrug"

Effekt

Elevforsøg: En el-pæres "spildenergi"

Nyttevirkning

Energiomkostninger ved et produkt

Nogle oplysninger om "energi-forbrug" i forskellige samfund.

### Kræfter og arbejde

Energioverførsel ved kræfter

Måling af kræfters størrelse

Tyngdekraften

Kræfter som vektorer

Newtons 1. og 3. lov

Kraftens arbejde - simpelt system

Enheder for arbejde

Gnidningskræfters arbejde

Fjederkræfter, elastiske kræfter

En fjederkrafts arbejde

Elevforsøg: Strækningsarbejde for en elastik

Arbejde og energitilvækst

Potentiel energi - i tyngdefeltet

Potentiel energi - for en fjeder

Energibevarelse for mekaniske systemer.

## Kinetisk energi - en eksperimentel analyse

Mekanikkens energisætning

Variable for kinetisk energi

Forsøg over kinetisk energi.

Indledning

Fartmåling:

Forsøgsrække 1: Det faldende lod.

Forsøgsrække 2: Pendulet

Forsøgsrække 3: Rulleskøjtevoan på skråplan  
Fartmåling med timer

Forsøgsrække 4: Rulleskøjtevoan på skråplan  
Fotoelektrisk fartmåling

Forsøgsrække 5: Skråplan med luftpudebænk  
Fotoelektrisk fartmåling

Fælles for 1.-5. forsøgsrække.

## (Gassers fysik)

Stempelarbejde.

## Energioverførsel ved varme

Elevøvelse: Vandblandingstemperatur

Opvarmning af vand ved et elektrisk arbejde

Opvarmning af en aluminiumsklods ved mekanisk arbejde

Elevforsøg: Energioverførsel ved varme fra aluminium  
til vand

Smeltning som tegn på energioverførsel

Elevøvelse: Smeltning af is

Fordampning som tegn på energioverførsel

Vands fortætnings-/fordampningsvarme ved 100°C

Tilstandsformer: De tre faser

Termisk energi

Indre energi

Varme.

Termodynamikkens hovedsætninger

Ændringer i den indre energi  
Termodynamikkens 1. hovedsætning  
Et eksempel med freon  
Varmepumpe og køleskab - et eksempel  
Energiomdannelse - kvalitet og nyttevirkning  
Energi og energianvendelse (artikel)  
Når energien omdannes (artikel).

Elektrisk arbejde og elektriske kredse

Elektrisk energi - praktiske opgaver  
Elevforsøg: Overførsel af energi ved elektrisk arbejde  
El-kredse  
Elektrisk strøm  
Ladning  
Strømstyrke  
Spændingsforskel  
Potential  
Vandfald og andre analogier  
Flere praktiske opgaver  
Elevforsøg: Strøm-spændingskarakteristikker (rapport)  
Ohmske komponenter  
Modstandes afhængighed af temperaturen  
Sammensætning af resistorer  
Modstanden af en metaltråd  
Ohms lov for et kredsløb  
Ohms lov for en strømgren  
Opgaver  
Afrunding af el-læren.

Herefter en oversigt over hele forløbet.

LITTERATURFORTEGNELSE

Ausubel, D. P.:

In defense of verbal learning. Education Theory.  
1961, 11, 15-25

Ausubel, David P.:

Some psychological aspects of the structure of  
knowledge.

Discussion of Dr. Ausubels paper.

i: Education and the Structure of Knowledge  
Rand McNally & Co., Chicago 1964

Ausubel, D. P.:

Educational Psychology. A cognitive view.  
New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968

Ausubel, David P., Robinson, Floyd G.:

School Learning. An Introduction to Educational  
Psychology. Holt, Rinehart and Winston, N.Y. 1969

Ausubel, David P., Novak, Joseph D., Hanesian, Helen:

Educational Psychology. A cognitive view.  
(Second Edition) Holt, Rinehart and Winston, N.Y., 1978

Beyer, Karin og Paulsen, Albert C.:

Fysik i 1. G. Undervisningsnoter. Ikke publiceret

Borowski, G., Hielscher, H., Schwab, M.:

Unterrichtsprinzipien und Modelle. Quelle und Meyer,  
Heidelberg, 1976

Bruner, J. S.:

The Act Discovery.

i: On Knowing, Essays for the left hand. Cambridge-  
Massachusetts, the Belknap Press, 1962

Bruner, J. S.:

Some Elements of Discovery..

i: Schulman, L. S., Keislar, E. R. (Ed.) Learning by  
discovery. A Critical Appraisal. Chicago, Rand McNally  
& Co., 1966

Bruner, J. S.:

Toward a Disciplined Intuition.

i: Bruner, J. S. The Relevance of Education.  
London, George Allen & Unwin Ltd., 1972

Gagné, Robert M.:

The Conditions of Learning. Holt, Rinehart and Winston.  
N.Y., 1965



Lott, Gerald W.:

The effect of Inquiry Teaching and Advance Organizers upon Student Outcomes in Science Education. Journal of Research in Science Teaching. Vol. 20, No. 5, pp. 437-451 (1983)

Nielsen, Henry og Thomsen, Poul V.:

Hverdagsforestillinger om fysik - en fysiktest fra 8. klasse til 3.g. GF-rapport nr. 1. Det fysiske Institut. Århus Universitet, 1983

Novak, Joseph D., Ring, Donald G., Tamu, Pinchas:

Interpretation of Research Findings in Terms of Ausubels Theory and Implication for Science Education. Science Education, 55 (4), 483-526

Novak, Joseph D.:

An Alternative to Piagetian Psychology for Science and Mathematics Education. Studies in Science Education 5 (1978) 1-30

---

Paulsen, Albert C.:

Elevforudsætninger i fysik - en test i 1.g. med kommentarer. Tekst nr. 69. Tekster fra IMFUFA. Roskilde Universitetscenter, 1983

Piaget, J.:

Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood. Human Development. Vol. 15, No. 1 (pp. 1-72), 1972

Vygotsky, L. S.:

Tænkning og sprog I + II. Hans Reitzel, København 1974 (specielt kap. 6)

- 1/78 "TANKER OM ET PRAKSYS" - et matematikprojekt.  
Projekt rapport af Anne Jensen, Lena-Lindenskov, Marianne Kesselmann og Nicolai Lomholt.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 2/78 "OPTIMERING" - Menneskets forøgede beherskelsesmuligheder af natur og samfund.  
Projekt rapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen, Gert Kreinøe og Peter H. Lassen.  
Vejleder: Bernhard Booss.
- 3/78 "OPGAVESAMLING", breddekursus i fysik. Nr. 3 er a jour fort i marts 1984  
Lasse Rasmussen, Aage Bonde Krømmér, Jens Højgaard Jensen.
- 4/78 "TRE ESSAYS" - om matematikundervisning, matematiklæreruddannelsen og videnskabsrindalismen. Nr. 4 er p. t. udgået.  
Mogens Niss.
- 5/78 "BIBLIOGRAFISK VEJLEDNING til studiet af DEN MODERNE FYSIKS HISTORIE". Nr. 5 er p. t. udgået.  
Helge Kragh.
- 6/78 "NOGLE ARTIKLER OG DEBATINLÆG OM - læreruddannelse og undervisning i fysik, og - de naturvidenskabelige fags situation efter studentereprøret".  
Karin Beyer, Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen.
- 7/78 "MATEMATIKKENS FORHOLD TIL SAMFUNDSØKONOMIEN". Nr. 7 er udgået.  
B.V. Gnedenko.
- 8/78 "DYNAMIK OG DIAGRAMMER". Introduktion til energy-bound-graph formalismen.  
Peder Voetmann Christiansen.
- 9/78 "OM PRAKSYS' INDFLYDELSE PÅ MATEMATIKKENS UDVIKLING". - Motive til Kepler's: "Nova Stereometria Doliorum Vinariorum".  
Projekt rapport af Lasse Rasmussen.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 
- 10/79 "TERMODYNAMIK I GYMNASIET".  
Projekt rapport af Jan Christensen og Jeanne Mortensen.  
Vejledere: Karin Beyer og Peder Voetmann Christiansen.
- 11/79 "STATISTISKE MATERIALER"  
red. Jørgen Larsen
- 12/79 "LINEÆRE DIFFERENTIALLIGNINGER OG DIFFERENTIALLIGNINGSSYSTEMER". Nr. 12 er udgået  
Mogens Brun Heffelt
- 13/79 "CAVERDISH'S FORSØG I GYMNASIET".  
Projekt rapport af Gert Kreinøe.  
Vejleder: Albert Chr. Paulsen

- 14/79 "BOOKS ABOUT MATHEMATICS: History, Philosophy, Education, Models, System Theory, and Works of Reference etc. A Bibliography".  
Else Hoyrup.
- 15/79 "STRUKTUREL STABILITET OG KATASTROFER i systemer i og udenfor termodynamisk ligevægt".  
Specialeopgave af Leif S. Striegler.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 16/79 "STATISTIK I KRÆFTFORSKNINGEN".  
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 17/79 "AT SPØRGE OG AT SVARE i fysikundervisningen".  
Albert Christian Paulsen.
- 18/79 "MATHEMATICS AND THE REAL WORLD", Proceedings of an International Workshop, Roskilde University Centre, Denmark, 1978. Preprint.  
Bernhelm Booss & Mogens Niss (eds.).
- 19/79 "GEOMETRI, SKOLE OG VIRKELIGHED".  
Projektrapport af Tom J. Andersen, Tommy R. Andersen og Per-H.H. Larsen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 20/79 "STATISTISKE MODELLER TIL BESTEMMELSE AF SIKRE DOSER FOR CARCINOGENE STOFFER".  
Projektrapport af Michael Olsen og Jørn Jensen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 21/79 "KONTROL I GYMNASIET - FORMAL OG KONSEKVENSER".  
Projektrapport af Crilles Bacher, Per S. Jensen, Preben Jensen og Torben Mysteen.
- 22/79 "SEMIOTIK OG SYSTEMEGENSKABER (1)".  
1-port lineært response og støj i fysikken.  
Peder Voetmann Christiansen.
- 23/79 "ON THE HISTORY OF EARLY WAVE MECHANICS - with special emphasis on the role of reality".
- 
- 24/80 "MATEMATIKOPFATTELSESR HOS 2.G'ERE".  
a+b 1. En analyse. 2. Interviewmateriale.  
Projektrapport af Jan Christensen og Knud Lindhardt Rasmussen.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 25/80 "EKSAMENSOPGAVER", Dybdemodulet/fysik 1974-79.
- 26/80 "OM MATEMATISKE MODELLER".  
En projektrapport og to artikler.  
Jens Højgaard Jensen m.fl.
- 27/80 "METHODOLOGY AND PHILOSOPHY OF SCIENCE IN PAUL DIRAC'S PHYSICS".  
Helge Kragh.
- 28/80 "DIELEKTRISK RELAXATION - et forslag til en ny model bygget på væskernes viscoelastiske egenskaber".  
Projektrapport, speciale i fysik, af Gert Kreinøe.  
Vejleder: Niels Boye Olsen.

- 29/80 "ODIN - undervisningsmateriale til et kursus i differentialligningsmodeller".  
 Projekt rapport af Tommy R. Andersen, Per H.H. Larsen og Peter H. Lassen.  
 Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 30/80 "FUSIONSENERGIEN - - - ATOMSAMFUNDETS ENDESTATION".  
 Oluf Danielsen.  
 Nr. 30 er udgået.  
 Udkommer medio 1982 på Fysik-, Matematik- og Kemilærerens forlag.
- 31/80 "VIDENSKABSTEORETISKE PROBLEMER VED UNDERVISNINGSSYSTEMER BASEREDE PÅ HENDELÆRE".  
 Projekt rapport af Troels Lange og Jørgen Karrebæk.  
 Vejleder: Stig Andur Pedersen.  
 Nr. 31 er p.t. udgået
- 32/80 "POLYMERE STOFFERS VISCOELASTISKE EGENSKABER - BELYST VED HJÆLP AF MEKANISKE IMPEDANSMALINGER OG MOSSBAUER-EFFEKTMALINGER".  
 Projekt rapport, speciale i fysik, af Crilles Bacher og Preben Jensen.  
 Vejledere: Niels Boye Olsen og Peder Voetmann Christiansen.
- 33/80 "KONSTITUERING AF FAG INDEN FOR TEKNISK-NATURVIDENSKABELIGE UDDANNELSER. I-II".  
 Arne Jakobsen.
- 34/80 "ENVIRONMENTAL IMPACT OF WIND ENERGY UTILIZATION".  
 ENERGY SERIES NO.1.  
 Bent Sørensen.  
 Nr. 34 er udgået.  
 Publ. i "Renewable Sources of Energy and the Environment", Tycooli International Press, Dublin, 1981.
- 35/80 "HISTORISKE STUDIER I DEN NYERE ATOMFYSIKS UDVIKLING".  
 Helge Kragh.
- 36/80 "HVAD ER MENINGEN MED MATEMATIKUNDERVISNINGEN ?".  
 Fire artikler.  
 Mogens Niss.
- 37/80 "RENEWABLE ENERGY AND ENERGY STORAGE".  
 ENERGY SERIES NO.2.  
 Bent Sørensen.
- 
- 38/81 "TIL EN HISTORIEFØRDI OM NATURERKENDELSE, TEKNOLOGI OG SAMFUND".  
 Projekt rapport af Erik Gade, Hans Hedal, Henrik Låu og Finn Physant.  
 Vejledere: Stig Andur Pedersen, Helge Kragh og Ib Thiersen.  
 Nr. 38 er p.t. udgået
- 39/81 "TIL KRITIKKEN AF VEKSTØKONOMIEN".  
 Jens Højgaard Jensen.
- 40/81 "TELEKOMMUNIKATION I DANMARK - oplæg til en teknologivurdering".  
 Projekt rapport af Arne Jørgensen, Bruno Petersen og Jan Vedde.  
 Vejleder: Per Nørregaard.  
 Nr. 40 er p.t. udgået
- 41/81 "PLANNING AND POLICY CONSIDERATIONS RELATED TO THE INTRODUCTION OF RENEWABLE ENERGY SOURCES INTO ENERGY SUPPLY SYSTEMS".  
 ENERGY SERIES NO.3.  
 Bent Sørensen.

- 42/81 "VIDENSKAB TEORI SAMFUND - En introduktion til materialistiske videnskabsopfattelser".  
Helge Kragh og Stig Andur Pedersen.
- 43/81 1. "COMPARATIVE RISK ASSESSMENT OF TOTAL ENERGY SYSTEMS".  
2. "ADVANTAGES AND DISADVANTAGES OF DECENTRALIZATION".  
ENERGY SERIES NO.4.  
Bent Sørensen.
- 44/81 "HISTORISK UNDERSØGELSE AF DE EKSPERIMENTELLE FORUDSETNINGER FOR RUTHERFORDS ATOMMODEL".  
Projektrapport af Niels Thor Nielsen.  
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 
- 45/82
- 46/82 "EKSEMPLARISK UNDERVISNING OG FYSISK ERKENDELSE - I+II ILLUSTRERET VED TO EKSEMPLER".  
Projektrapport af Torben O. Olsen, Lasse Rasmussen og Niels Dreyer Sørensen.  
Vejleder: Bent C. Jørgensen.
- 47/82 "BARSEBACK OG DET VÆRST OFFICIELT-TÆNKELIGE UHELD".  
ENERGY SERIES NO.5.  
Bent Sørensen.
- 48/82 "EN UNDERSØGELSE AF MATEMATIKUNDERVISNINGEN PÅ ADGANGSKURSUS TIL KØBENHAVNS TEKNIKUM".  
Projektrapport af Lis Eilertzen, Jørgen Karrebæk, Troels Lange, Preben Nørregaard, Lissi Pedersen, Laust Rishøj, Lill Ron, Isac Showiki.  
Vejleder: Mogens Niss.
- 49/82 "ANALYSE AF MULTISPEKTRALE SATELLITBILLEDER".  
Projektrapport af Preben Nørregaard.  
Vejledere: Jørgen Larsen & Rasmus Ole Rasmussen.
- 50/82 "HERSLEV - MULIGHEDER FOR VEDVARENDE ENERGI I EN LANDSBY". ENERGY SERIES NO.6.  
Rapport af Bent Christensen, Bent Hove Jensen, Dennis B. Møller, Bjarne Laursen, Bjarne Lillethorup og Jacob Mørch Pedersen.  
Vejleder: Bent Sørensen.
- 51/82 "HVAD KAN DER GØRES FOR AT AFHJÆLPE PIGERS BLOKERING OVERFOR MATEMATIK?"  
Projektrapport af Lis Eilertzen, Lissi Pedersen, Lill Ron og Susanne Stender.
- 52/82 "DESUSPENSION OF SPLITTING ELLIPTIC SYMBOLS"  
Bernhelm Booss & Krzysztof Wojciechowski.
- 53/82 "THE CONSTITUTION OF SUBJECTS IN ENGINEERING EDUCATION".  
Arne Jakobsen & Stig Andur Pedersen.
- 54/82 "FUTURES RESEARCH" - A Philosophical Analysis of Its Subject-Matter and Methods.  
Stig Andur Pedersen & Johannes Witt-Hansen.

- 55/82 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde  
Universitetsbibliotek. Vedr. tekst nr. 55/82:  
En bibliografi. Se også tekst 62/83.  
Else Høyrup.
- 56/82 "ÉN - TO - MANGE" -  
En undersøgelse af matematisk økologi.  
Projektrapport af Trøels Lange.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 
- 57/83 "ASPECT EKSPERIMENTET" - Nr. 57 er udgået.  
Skjulte variable i kvantemekanikken?  
Projektrapport af Tom Juul Andersen.  
Vejleder: Peder Voetmann Christiansen.
- 58/83 "MATEMATISKE VANDRINGER" - Modelbetragtninger  
over spredning af dyr mellem småbiotoper i  
agerlandet.  
Projektrapport af Per Hammershøj Jensen &  
Lene Vagn Rasmussen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 59/83 "THE METHODOLOGY OF ENERGY PLANNING".  
ENERGY SERIES NO. 7.  
Bent Sørensen.
- 60/83 "MATEMATISK MODEKSPERTISE" - et eksempel.  
Projektrapport af Erik O. Gade, Jørgen Karrebæk og  
Preben Norregaard.  
Vejleder: Anders Madsen.
- 61/83 "FYSIKS IDEOLOGISKE FUNKTION", som et eksempel på  
en naturvidenskab - historisk set.  
Projektrapport af Annette Post Nielsen.  
Vejledere: Jens Høyrup, Jens Højgaard Jensen og  
Jørgen Vogelius.
- 62/83 "MATEMATISKE MODELLER" - Litteratur på Roskilde  
Universitetsbibliotek.  
En bibliografi. 2. rev. udgave  
Else Høyrup
- 63/83 "CREATING ENERGY FUTURES: A SHORT GUIDE TO  
ENERGY PLANNING".  
ENERGY SERIES No. 8  
David Crossley & Bent Sørensen
- 64/83 "VON MATHEMATIK UND KRIEG".  
Bernhelm Booss og Jens Høyrup
- 65/83 "ANVENDT MATEMATIK - TEORI ELLER PRAKSIS".  
Projektrapport af Per Hedegård Andersen, Kirsten  
Habekost, Carsten Holst-Jensen, Annelise von Moos,  
Else Marie Pedersen, Erling Møller Pedersen.  
Vejledere: Bernhelm Booss & Klaus Grünbaum
- 66/83 "MATEMATISKE MODELLER FOR PERIODISK SELEKTION I  
ESCHERICHIA COLI".  
Projektrapport af Hanne Lisbet Andersen, Ole  
Richard Jensen og Klavs Frisdahl.  
Vejledere: Jørgen Larsen og Anders Hede Madsen

- 67/83 "ELIPSOIDE METODEN - EN NY METODE TIL LINEAR PROGRAMMERING?"  
Projekt rapport af Lone Biilmann og Lars Boye  
Vejleder: Mogens Brun Heefelt
- 68/83 "STOKASTISKE MODELLER I POPULATIONSGENETIK"  
- til kritikken af teoriladede modeller.  
Projekt rapport af Lise Odgård Gade, Susanne Hansen, Michael Hviid, Frank Mølgård Olsen.  
Vejleder: Jørgen Larsen.
- 69/83 "ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK"  
- en test i 1.g med kommentarer  
Albert Chr. Paulsen
- 70/83 "INDLÆRINGS- OG FORMIDLINGSPROBLEMER I MATEMATIK PÅ VOKSENUKERSNIVEAU"  
Projekt rapport af Hanne Lisbet Andersen, Torben J. Andreasen, Svend Age Houmann, Helle Glerup Jensen, Keld Fl. Nielsen, Lene Vagn Rasmussen.  
Vejleder: Klaus Grünbaum & Anders H. Madsen
- 71/83 "PIGER OG FYSIK"  
- et problem og en udfordring for skolen?  
Karin Beyer, Sussanne Blegaa, Birthe Olsen, Jette Reich & Mette Vedelsby
- 72/83 "VERDEN IFOLGE PEIRCE" - to metafysiske essays, om og af C.S. Peirce.  
Peder Voetmann Christiansen
- 73/83 "EN ENERGIANALYSE AF LANDBRUG"  
- økologisk contra traditionelt  
ENERGY SERIES No. 9  
Specialeopgave i fysik af Bent Hove Jensen  
Vejleder: Bent Sørensen
- 
- 74/84 "MINIATURISERING AF MIKROELEKTRONIK" - om videnskabeliggjort teknologi og nytten af at lære fysik  
Projekt rapport af Bodil Harder og Linda Szkotak Jensen.  
Vejledere: Jens Højgaard Jensen og Bent C. Jørgensen
- 75/84 "MATEMATIKUNDERVISNINGEN I FREMTIDENS GYMNASIUM"  
- Case: Lineær programmering  
Projekt rapport af Morten Blomhøj, Klavs Frisdahl, Frank Mølgård Olsen  
Vejledere: Mogens Brun Heefelt & Jens Bjørneboe
- 76/84 "KERNEKRAFT I DANMARK?" - Et hørings svar indkaldt af miljøministeriet, med kritik af miljøstyrelsens rapporter af 15. marts 1984.  
ENERGY SERIES No. 10  
Af Niels Boye Olsen og Bent Sørensen
- 77/84 "POLITISKE INDEKS - FUP ELLER FAKTA?"  
Opinionsundersøgelser belyst ved statistiske modeller  
Projekt rapport af Svend Age Houmann, Keld Nielsen, Susanne Stender  
Vejledere: Jørgen Larsen & Jens Bjørneboe

- 78/84 "JÆVNSTRØMSLEDNINGSEVNE OG GITTERSTRUKTUR I AMORFT GERMANIUM"  
 Specialrapport af Hans Hedal, Frank C. Ludvigsen og Finn O. Physant  
 Vejleder: Niels Bøye Olsen
- 79/84 "MATEMATIK OG ALMENDANNELSE"  
 Projektrapport af Henrik Coster, Mikael Wennerberg Johansen, Poul Kattler, Birgitte Lydholm og Morten Overgaard Nielsen.  
 Vejleder: Bernhard Booss
- 80/84 "KURSUMATERIALE TIL MATEMATIK B"  
 Mogens Brun Heefelt
- 81/84 "FREKVENSAFHÆNGIG LEDNINGSEVNE I AMORFT GERMANIUM"  
 Specialrapport af Jørgen Wind Petersen og Jan Christensen  
 Vejleder: Niels Bøye Olsen
- 82/84 "MATEMATIK- OG FYSIKUNDERVISNINGEN I DET AUTOMATISEREDE SAMFUND"  
 Rapport fra et seminar afholdt i Hvidovre 25-27 april 1983  
 Red.: Jens Højgaard Jensen, Bent C. Jørgensen og Mogens Niss
- 83/84 "ON THE QUANTIFICATION OF SECURITY"  
 PEACE RESEARCH SERIES NO. 1  
 af Bent Sørensen
- 84/84 " NOGLE ARTIKLER OM MATEMATIK, FYSIK OG ALMENDANNELSE"  
 Jens Højgaard Jensen, Mogens Niss m. fl.
- 85/84 "CENTRIFUGALREGULATORER OG MATEMATIK"  
 Specialrapport af Per Hedegård Andersen, Carsten Holst-Jensen, Else Marie Pedersen og Erling Møller Pedersen.  
 Vejleder: Stig Andur Pedersen
- 86/84 "SECURITY IMPLICATIONS OF ALTERNATIVE DEFENSE OPTIONS FOR WESTERN EUROPE"  
 PEACE RESEARCH SERIES NO. 2  
 af Bent Sørensen
- 87/84 "A SIMPLE MODEL OF AC HOPPING CONDUCTIVITY IN DISORDERED SOLIDS"  
 af Jeppe C. Dyrhøj
- 88/84 "RISE, FALL AND PERFECTION OF INFINITESIMALS"  
 af Detlef Laugwitz
- 89/84 "FJERNVARMEOPTIMERING"  
 af Bjarne Lillestrøm & Jacob Mørch Pedersen
- 90/84 "ENERGI I 1.G. af teori for tilrettelæggelse"  
 af Albert Chr. Paulsen