

TEKST NR 69

1983

ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK

- en test i 1.g med kommentarer

Albert Chr. Paulsen

TEKSTER
fra

IMFUFA

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

IMFUFA, Roskilde Universitetscenter, Postbox 260, 4000 Roskilde.

ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK - EN TEST I 1.G MED KOMMENTARER.

Af

Albert Chr. Paulsen

IMFUFA tekst nr. 69/83, RUC. 87 sider. ISSN 0106-6242

0. Abstract.

I begyndelsen af skoleåret 1982/83 deltog 237 elever i 1. gymnasieklasse i en mindre test, for at få et indtryk af deres forudsætninger med henblik på fysikundervisningen. I rapporten redegøres der kort for det teoretiske udgangspunkt for begrebsudvikling, som der anvendes. Testresultaterne fremstår bl. a. som en kategorisering af elevernes argumentationer og forklaringer i relation til begreberne konkret og formel tænkning. Denne kategorisering refererer til Jean Piagets opdeling af tankemønstre i konkret-operationelle og formelt operationelle skemaer. Der gives mange eksempler på elevsvar.

Med hensyn til kategorierne konkret og formel tænkning viser resultaterne at ca. halvdelen af eleverne anvender et konkret tankemønster ved løsning af testens opgaver. Testens to mere specifik fysiske opgaver viser den samme mangel på beherskelse af fysiske begreber i dagligdags situationer, som er blevet påvist i så mange andre undersøgelser. - Specielt afspejler resultaterne ret store og karakteristiske forskelle mellem drenge og piger. I kommentarerne til testen fremsættes på baggrund af denne test nogle synspunkter om fysikundervisning i en debatterende form. I det væsentlige drejer det sig om den manglende sammenhæng mellem forventninger til eleverne og elevernes muligheder for på baggrund af undervisning og erfaring at opfylde disse forventninger.

ELEVFORUDSÆTNINGER I FYSIK

- en test i 1.g med kommentarer -

Albert Chr. Paulsen

"Vi forblir altid barn i forhold
til nye og ukjente opgaver"
(Trygve Braatøy citeret i Ruth
Frøylund Nielsens bog "Piaget")

IMFUFA

ROSKILDE UNIVERSITETSCENTER

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

1983

POSTBOX 260
DK-4000 ROSKILDE
DANMARK

INDHOLDSFORTEGNELSE

	<u>Side</u>
Forord	2
Indledning	4
Om elevernes begrebsudvikling	6
Om testens opgaver	12
Populationen	24
Testmetoden	25
Resultater	29
Opgave 1	29
Opgave 2	39
Opgave 3	42
Opgave 4	45
Opgave 5	47
Opgave 6	53
Opgave 7	63
Sammenligning af opgaver.....	63
Diskussion og konklusion	68
Kommentarer til testen	72
Afslutning	79
Referencer	1-3 incl.
Litteraturliste	4-6 incl.
Appendix	7

FORORD

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

Vi havde da i begyndelsen af skoleåret et ønske om at vide noget om elevernes forudsætninger - ikke så meget med hensyn til faglig fysisk viden som med hensyn til grundlæggende færdigheder (f.eks. proportionalitetsregning) samt deres måde at tænke på, det jeg i det følgende vil kalde tankemønstre. Vi mente, at vi ud fra en sådan viden bedre kunne tilrettelægge undervisningen, så der blev stillet rimelige krav til eleverne under hensyntagen til deres intellektuelle udvikling og deres færdighedsmæssige forudsætninger.

Ideerne til testens opgaver er fra mange forskellige kilder¹. Det drejede sig altså om en ganske "uhøjtidelig" test af diagnostisk karakter til information for os som lærere.

I skoleåret 1982/83 fortsatte Karin Beyer sin undervisningsvirksomhed ved Nørre Gymnasium bl.a. med en ny 1. gymnasieklasse i fysik og havde da et ønske om at gentage testen, dog med ændringer på grundlag af erfaringerne fra året før. Testopgaverne blev da let ændrede, nogle blev udeladt og andre - herunder et par mere fagligt fysisk prægede - blev tilføjet.

Nu viste der sig imidlertid en mere udbredt interesse blandt andre fysiklærere i 1. gymnasieklasse for at lade deres klasser deltage i testningen, således at der deltog 9 klasser med i alt 237 elever. Jeg vil gerne rette en tak til de deltagende elever og lærere på Nørre Gymnasium og Aurehøj Gymnasium for den beredvillighed, hvormed de deltog og

- især for elevernes vedkommende - for den omhu de har besvaret testens opgaver. Det har betydet, at 235 besvarede tests ud af 237 mulige er brugbare.

I det følgende vil der blive gjort rede for testen og dens resultater. Inden behandlingen af selve testen er der redegjort for testens baggrund med hensyn til min opfattelse af viden og formidling af viden. Ligeledes har jeg kort redegjort for relevante sider af tænkningens udvikling og begrebsudvikling i det væsentlige i overensstemmelse med Piagets teorier. Testens opgaver og svarkategorier er så relateret til denne redegørelse. Det udviklingspsykologiske aspekt i relation til fysikundervisningen tages så op igen i en debatterende form i mine kommentarer til testen, hvor også pigernes forhold til undervisningen omtales. Man kan således med en vis ret hævde, at jeg bruger testen som en anledning til at debattere fysikundervisningen og fremsætte nogle synspunkter.

For at gøre elevernes forhold til de stillede opgaver så nærværende som muligt, er der givet mange eksempler på elevsvar.

Til den statistiske behandling af resultaterne er der blevet udført en række χ^2 tests med hjælp fra Jørgen Larsen. Der er angivet signifikans efter de sædvanligvis anvendte regler, nemlig at sandsynligheden for at en fordeling er tilfældig skal være mindre end 5% skrevet $p < 0,05$. Desuden anvendes følgende højere signifikansniveauer $p < 0,01$, $p < 0,005$ og $p < 0,001$.

INDLEDNING

De tankemønstre, eleverne benytter sig af ved løsning af fysiske problemer, er afgørende for elevernes muligheder for at forstå og løse problemerne.

At skaffe sig et indblik i elevernes tankemønstre er derfor af stor betydning for læreren, når hun skal tilrettelægge undervisningen i fysik. Bl.a. for at understrege spredningen i tankemønstre, repræsentationsform og sprogbrug har jeg anført en hel del eksempler på elevsvar. Ikke mindst fysik benytter sig jo i vid udstrækning af repræsentationsformer, som er særdeles abstrakte og formelle.

Mange undersøgelser har vist, at elever og studerende på alle trin har meget svært ved at benytte fagets begreber og relationer til at beskrive den fysiske virkelighed og løse fysiske problemer². Det drejer sig her om ikke blot at lære at kunne gengive en faglig struktur, men netop også om at tilægge sig repræsentationsformer, som beskriver en virkelighed.

I undervisningen er valget af repræsentationsform under hensyntagen til elevernes forudsætninger væsentligt for elevernes muligheder for at forstå og bruge fagets begreber og relationer. - Det er jo nemlig sådan, at læreren ikke nødvendigvis behøver at benytte sig af abstrakte og formelle strukturer, når forudsætningerne hos eleverne ikke er til stede. Netop fordi fysik beskæftiger sig med en virkelighed, som kan opleves, genstande og hændelser, som er konkrete, vil det i reglen være muligt at vælge en repræsentationsform, som eleverne har forudsætninger for at forstå og bruge.

Undervisningen skal da bl.a. ved en passende tilrettelæggelse udvikle elevernes repræsentationsformer hen imod den form, som er målet for undervisningen. Der er altså for eleverne tale om et intellektuelt udviklingsforløb, som læreren ved sin tilrettelæggelse af undervisningsforløb vil have til at foregå.

Det må understreges, at der altså er tale om en udvikling i eleven. Der er ikke tale om en overførsel af viden fra lærer til elev. Viden kan principielt ikke overføres. Læreren kan ved sin tilrettelæggelse - sin pædagogiske kunnen - søge at skabe betingelser for, at viden udvikles i eleven. Det fremgår heraf, at viden heller ikke er noget absolut, som man kan have eller ikke have. Viden er forskellig fra individ til individ. Afgørende for, om og hvordan individet kan handle med sin viden, er den repræsentationsform, som denne viden har i individet. Er kraftbegrebet f.eks. repræsenteret sådan, at man nok kan redegøre for Newtons 2. lov ved hjælp af et skråplan på fysikauditoriets demonstrationsbord, men ikke bruge det på en simpel dagligdags situation, som en bold der kastes op i luften?

OM ELEVERNES BEGREBSUDVIKLING

Skal læreren skabe betingelser for elevernes udvikling, må han vide noget om deres forudsætninger. På hvilken måde er de fysiske begreber repræsenteret i eleven, og hvilke tankemønstre benytter eleven sig af?

Som nævnt er der blevet gennemført mange undersøgelser over elevens og studerendes brug af fysiske begreber, sidst af en gruppe ved Århus universitet². De viser alle, at elever og studerende kun i meget ringe udstrækning kan bruge de fysiske begreber på "nye" situationer. I stedet benytter de sig af deres dagligdags begrebsverden.

Dette "sammenstød" mellem de dagligdags begreber og de faglig fysiske begreber har Vygotsky allerede for over 50 år siden redegjort for i sit værk "Tænkning og sprog". Her kalder han de to begrebsverdener for "spontane begreber" og "videnskabelige begreber"³.

En anden psykolog, som har haft og har stor betydning for undervisning af børn og unge, er Jean Piaget⁴. Hans teori om menneskets kognitive udvikling er nok den mest helstøbte. Især hans teori om udvikling af tankemønstre er væsentlig for forståelsen af elevens forudsætninger.

Jean Piaget har beskrevet tænkningens udvikling i en række trin. I forbindelse med denne redegørelse er især de sidste to trin af udviklingen af interesse. Det drejer sig om det konkret-operationelle og det formelt-operationelle tankemønster. For at få et rimeligt overblik er det imidlertid nødven-

digte også kort at beskrive udviklingstrinnet forud, det præ-operationelle trin.

Ruth Frøyland Nielsen har beskrevet de tre trin således⁵:

II. Den præoperasjonelle fase. (2-6/7 år).

Den karakteriseres ved at virksomheten (handlingen) i seg selv er interessant men fører samtidig til overraskelser som vekker tanken og utvider og beriker barnets horisont.

III. Den konkret-operationelle fase. (7-11/12 år).

Tanken går forut for og styrer virksomheten som hele tiden er knyttet til konkrete, håndgripelige ting.

IV. Den abstrakt-operationelle fase. (11/12 år).

Individet kan nu befri seg fra konkrete forankringer. Det klarer å behandle og bearbeide problemer teoretisk, kan tenke seg frem til eventuelle konsekvenser men er også i stand til å følge en operasjon tilbake til utgangspunktet og forestille seg hva en annen fremgangsmåte kunne føre til og, endelig, velge mellom flere muligheter. Etterhånden vil individet også bli i stand til å forstå og behandle symboler som vi f.eks. finner i matematikken.¹

Her skal de to sidste tankemønstre beskrives spesielt med henblik på undervisningen i fysik⁶:

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.

Årsagssammenhænge 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 bevidst 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 eta-

bleres simple sammenhænge, og tankemønsteret har, når betingelser 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 længere 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.

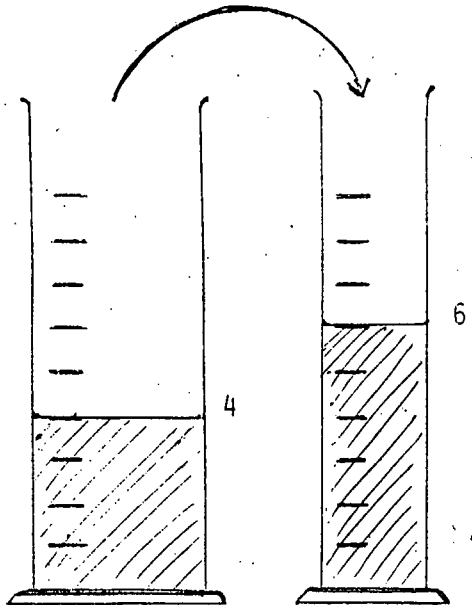
Der er nu ikke blot mulighed for, at forklaringer kan bygge på alle kendte facts, men der vil også være en trang til forklaring og en trang til indre konsistens. Der er således tale om bevidst (også teoretisk) kontrol af forklaringshypoteser. Tænkning i modeller kan være såvel konkret som abstrakt (matematisk),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

Når der i det foregående benyttes vendingen den konkret tænkende eller den formelt tænkende, betyder det ikke, at en person er enten det ene eller det andet. Det er i reglen sådan, at den enkelte vil benytte sig af et konkret tankemønster i nogle situationer og af et formelt tankemønster i andre situationer eller af en tænkning, som danner en overgang mellem de to former. Der er jo nemlig tale om en udvikling, som er afhængig af både individet og dets muligheder samt af situationen i relation til individet og dets erfaring. Det vil jeg vende tilbage til senere i de afsluttende kommentarer.

A.

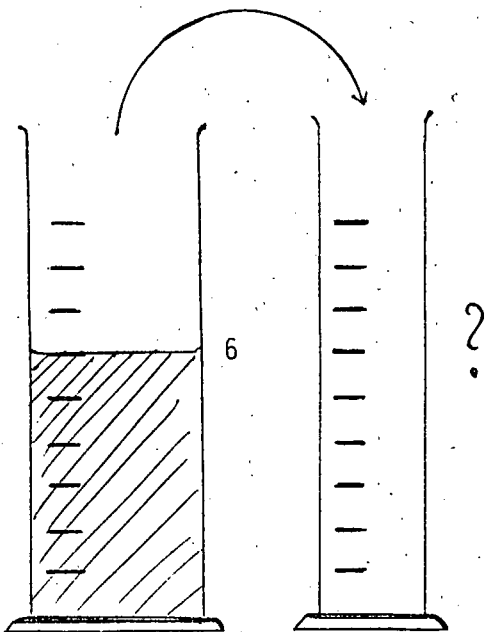


HER SER DU TO MÅLEGLAS MED FORSKELLIGT TVÆRMÅL. - DE ER INDELT I MÅLEENHEDER, SOM TEGNINGEN VISER.

DER FYLDES 4 MÅLEENHEDER VAND I DET BREDE MÅLEGLAS. - VANDET HÆLDES DEREFTER OVER I DET SMALLE MÅLEGLAS.

VANDET FYLDER 6 MÅLEENHEDER I DET SMALLE MÅLEGLAS.

B.



I ET ANDET TILFÆLDE FYLDES DER 6 MÅLEENHEDER I DET BREDE MÅLEGLAS. - VANDET HÆLDES OVER I DET SMALLE MÅLEGLAS.

HVOR MANGE MÅLEENHEDER FYLDER VANDET I DET SMALLE MÅLEGLAS ? TEGN.

DET FYLDER _____ MÅLEENHEDER.

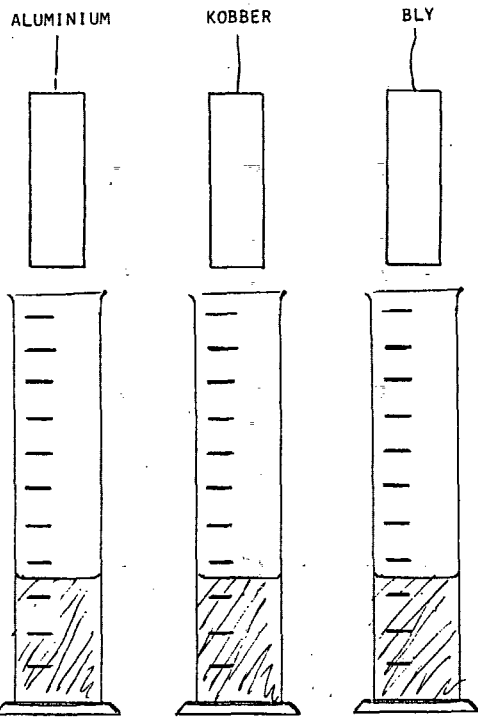
FORKLAR HVORDAN DU FIK DIT RESULTAT:

C. I ET TREDJE TILFÆLDE (SOM IKKE ER TEGNET) FYLDES DER 8 MÅLEENHEDER I DET SMALLE MÅLEGLAS. VANDET HÆLDES OVER I DET BREDE MÅLEGLAS. - HVOR MANGE ENHEDER VIL DET FYLDE I DET BREDE MÅLEGLAS ?

DET VIL FYLDE _____ MÅLEENHEDER.

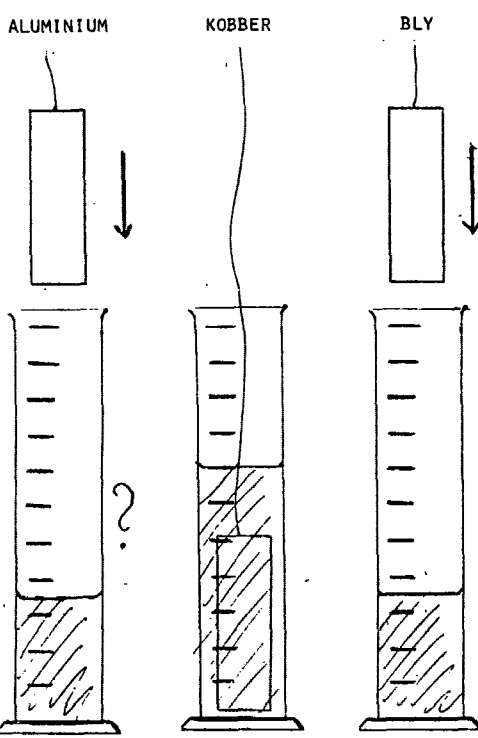
FORKLAR HVORDAN DU FIK DIT RESULTAT: _____

OPGAVE 3



HER ER TRE LODDER AF FORSKELLIGT METAL, ET AF ALUMINIUM, ET AF KOBBER OG ET AF BLY. (DER LIGGER TRE TILSVARENDE LODDER PÅ BORDET FORAN DIG).
DE TRE LODDER HAR SAMME RUMFANG.

DE KAN SÆNKES NED I TRE ENS MÅLEGLAS, DER ER FYLDT LIGE MEGET VAND I DE TRE MÅLEGLAS.



FØRST SÆNKES KOBBERLODDET NED I SIT MÅLEGLAS. VANDET STIGER, SOM TEGNINGEN VISER.

FORESTIL DIG DE TO ANDRE LODDER SÆNKET NED I HVER SIT MÅLEGLAS.

HVOR OMTRENT, MENER DU, KOMMER VANDET TIL AT STÅ I GLASSET MED ALUMINIUMLODDET OG I GLASSET MED BLYLODDET? TEGN.

FORKLAR, HVORFOR DU MENER DET: _____

tal. Det er netop, hvad der er tale om i første del af opgaven. Anden del af opgaven er lidt sværere, dvs. nærmer sig det formelle tankemønster, idet der kræves brøkregning.

Bemærk, at en forudsætning for at opgaven kan forstås, er, at mængden af vand opfattes som en bevaret størrelse, uanset hvilket glas vandet hældes over i. Dette er imidlertid en selvfølgelig ting for eleverne og udvikles da også på et tidligere udviklingstrin end det, Piaget betegner som det konkret-operationelle.

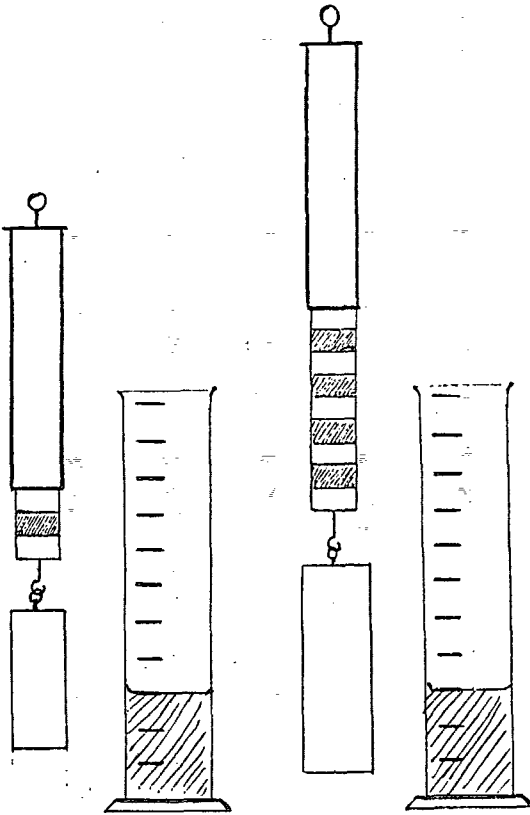
Opgave 3

Massefylde defineret som masse pr. rumfangsenhed er et formelt begreb. Forudsætningen er, at der kan skelnes mellem et legemes rumfang og dets masse, og at begge egenskaber opfattes som bevarede størrelser. Den konkret tænkende opfatter masse og rumfang for en genstand, som bevarede størrelser.

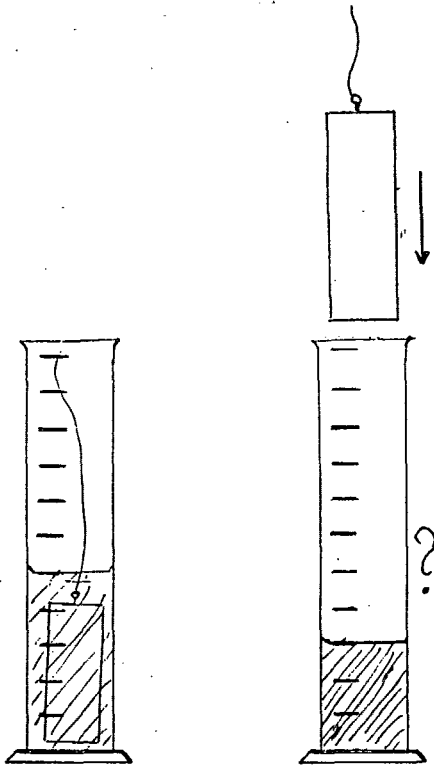
Sænkes genstanden imidlertid ned i en væske, er det ikke klart, hvilken egenskab der betyder noget for mængden af den fortrængte væske. Masse og rumfang kan ikke længere ses som klart adskilte begreber. Rumfanget af den fortrængte væskemængde opfattes ikke som værende det samme som rumfanget af genstanden. I denne opgave spørges der netop om den fortrængte væskemængde for tre lodder med samme rumfang men klart forskellig masse.

Opgave 4

Som i opgave 2 er der igen tale om en proportionalitet, men denne gang mellem masse og rumfang. Da der er tale om en simpel scaling, vil det let kunne magtes af den konkret tænkende. Ganske vist er der også tale om, at lodderne fortrænger (pro-



HER ER TO LODDER AF SAMME MATERIALE. DE ER AF JERN.
 EN FJEDERVÆGT VISER, AT DET LILLE LOD VEJER 3 VÆGTENHEDER.
 DET STORE LOD VEJER 9 VÆGTENHEDER.
 DE TO LODDER KAN SÆNKES NED I HVER SIT MÅLEGLAS.
 DER ER FYLDT LIGE MEGET VAND I DE TO MÅLEGLAS.



FØRST SÆNKES DET LILLE LOD NED I SIT MÅLEGLAS.
 SOM TEGNINGEN VISER, STIGER VANDET TO ENHEDER.
 FORESTIL DIG DET STORE LOD SÆNKET NED I SIT MÅLEGLAS.
 HVORMEGET STIGER VANDET ?

VANDET STIGER _____ ENHEDER

FORKLAR, HVORDAN DU FANDT FREM TIL DIT RESULTAT;

portionale) væskemængder. Til forskel fra opgave 3 er det imidlertid lodder af samme materiale (massefylde). Dette gør opgaven så tilpas simpel, at den konkret tænkende har mulighed for at løse den. Der er jo ikke så mange andre løsningsmuligheder end at foretage den simple scaling, som der lægges op til.

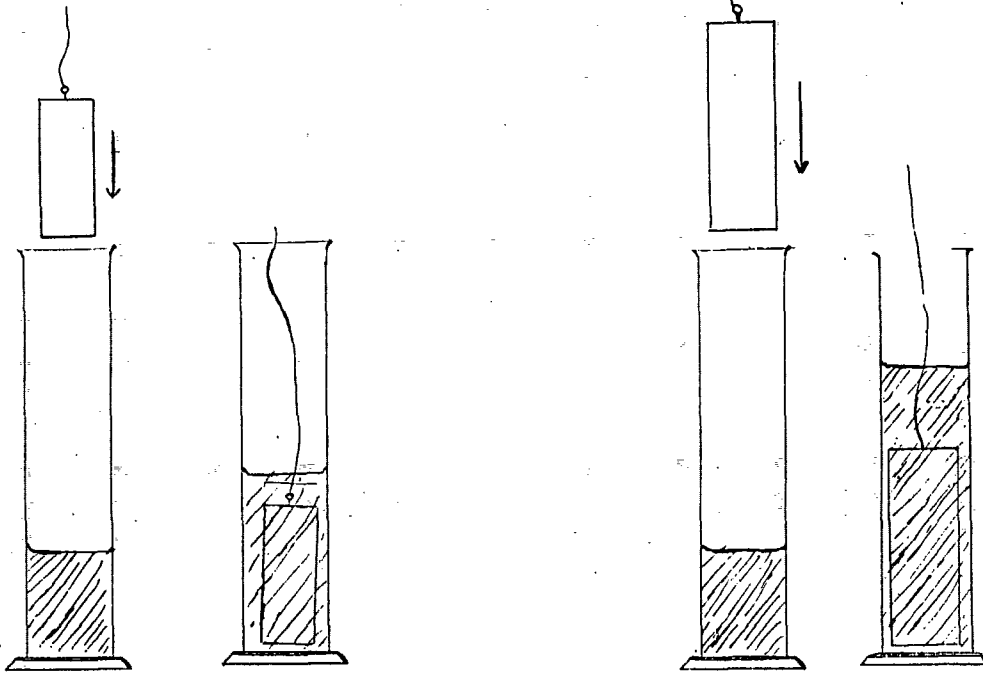
Opgaven er valgt bl.a. af hensyn til opgave 5, hvor det kan være nyttigt at vide, om eleverne uden videre opfatter rumfang og masse som proportionale for lodder af samme materiale. Bemærk, at det udmærket kan være tilfældet for den konkret tænkende, når der er tale om små, hele tal. Det implicerer ikke massefyldebegrebet repræsenteret som masse pr. rumfangsenhed.

Opgave 5

Proportionalitet er - udover en simpel scaling, en funktionel sammenhæng og kræver formel tænkning. Her i opgave 5 er problemet fra opgave 4 vendt om, dvs. det drejer sig om at beregne massen i stedet for rumfanget. Desuden er størrelserne valgt, så opgaven ikke kan løses ved en simpel scaling.

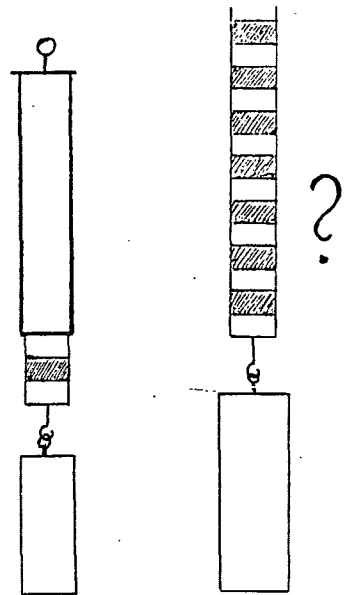
Proportionaliteten kræves skrevet op som en matematisk relation, hvilket da også er nødvendigt for at løse opgaven. Det er selvfølgelig gjort for at få et så klart indtryk som muligt af elevernes forudsætninger med hensyn til en sådan formel operation.

Opgave 1 til 5 spænder tilsammen over et spektrum af det konkrete og det formelle tankemønster.



HER ER TO LODDER AF SAMME MATERIALE. DE ER AF JERN.
 DE TO LODDER KAN SÆNKES NED I HVER SIT MÅLEGLAS.
 DER ER LIGE MEGET VAND I DE TO MÅLEGLAS.
 I GLASSET MED DET LILLE LOD STIGER VANDET 7 ENHEDER.
 I GLASSET MED DET STORE LOD STIGER VANDET 17 ENHEDER.

PÅ EN FJEDERVÆGT VEJER DET LILLE LOD 3 VÆGTENHEDER.
 SKRIV REGNESTYKKET FOR, HVOR MEGET DET STORE LOD VEJER:



SÆT ET MÆRKE PÅ DEN TEGNEDE SKALA FOR EN FJEDERVÆGT.
 DU KAN SKØNNE ELLER REGNE RESULTATET UD.

FORKLAR, HVORDAN DU FANDT FREM TIL DIT RESULTAT: _____

Opgaverne omfatter således en simpel scaling i opgave 2. Den simple scaling er i opgave 4 kombineret med sammenhæng mellem masse og rumfang for samme materiale samt sammenhæng mellem rumfang og fortrængt væskemængde i en særlig simpel udgave. Opgave 5 er af samme karakter som opgave 4, men den simple scaling er her erstattet af en opgave, som kræver at proportionalitet er repræsenteret som en egentlig funktionel sammenhæng.

At kunne skelne mellem masse og rumfang og deres betydning for den fortrængte væskemængde i opgave 3 hører til overgangen mellem det konkrete og det formelle tankemønster, mens det at forklare, hvorfor et skib flyder, klart hører til det formelle tankemønster (relation af relationer).

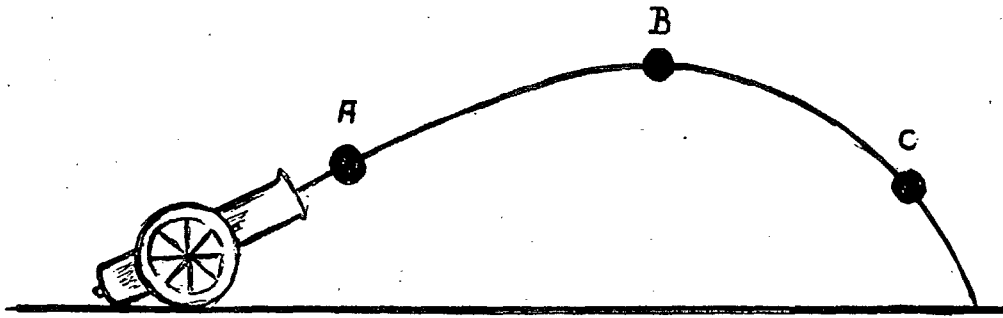
Det må her indskydes, at mens eleverne nok har regnet en del med proportioner i folkeskolen, så hører Arkimedes lov ikke med til folkeskolens fysikpensum.

Kraftbegrebet og energibegrebet, som de sidste to opgaver handler om, hører derimod på kvalitativ form med til folkeskolens pensum. Opgave 6 og 7 handler således mere specifikt om fysiske begreber.

Opgave 6

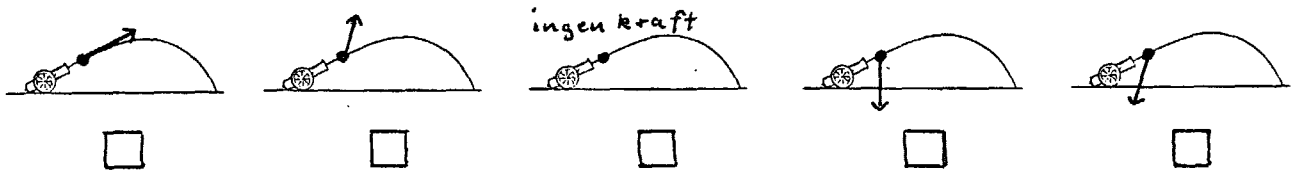
Det er ikke nogen simpel opgave for elever i folkeskole og gymnasium at kunne skelne mellem impulsbegrebet (evt. hastighed) og kraftbegrebet. Den dagligdags og aristoteliske forestilling om at kraften går i bevægelsesretningen er meget indgroet og almindelig og kan genfindes også blandt universitetsstuderende i fysik. Mange undersøgelser og tests har til stadig og gentagen forundring bekræft-

OPGAVE 6



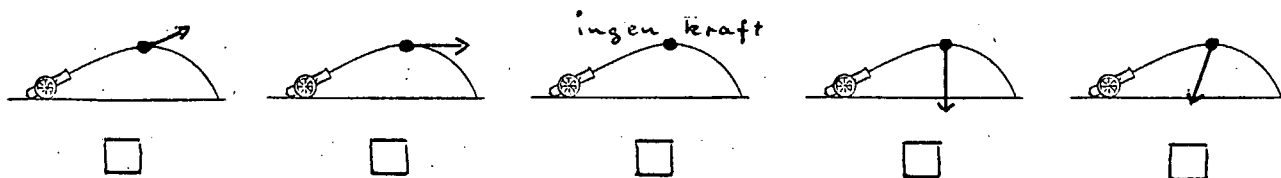
En kanon affyrer en kugle. Punkterne A, B og C viser tre forskellige steder på kanonkuglens bane.

1. Pilene skal vise retningen af kraften på kanonkuglen i punkt A. Sæt kryds under det billede, som, du mener, er det rigtige.



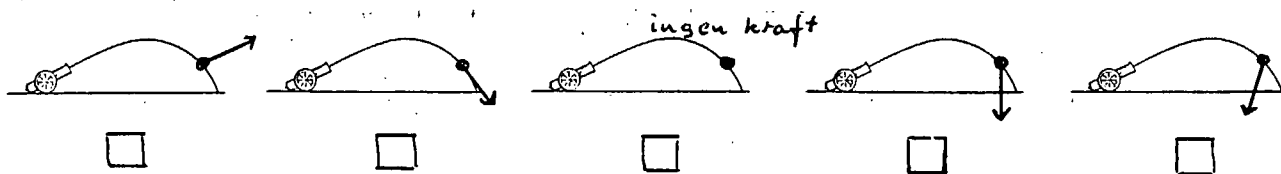
Hvorfor mener du det?

2. Pilene skal vise retningen af kraften på kanonkuglen i punkt B, som er banens højeste punkt. Sæt kryds under det billede, som, du mener, er det rigtige.



Hvorfor mener du det?

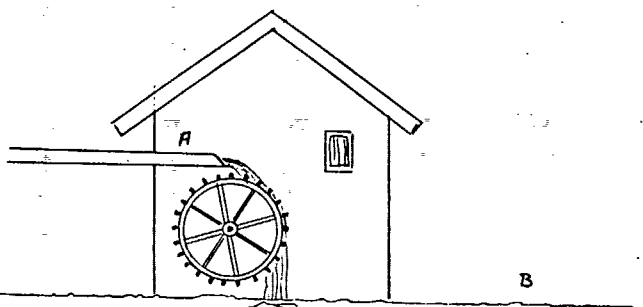
3. Pilene skal vise retningen af kraften på kanonkuglen i punkt C. Sæt kryds under det billede, som, du mener, er det rigtige.



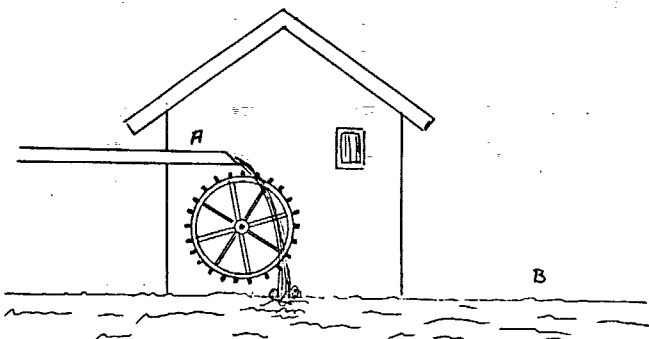
Hvorfor mener du det?

OPGAVE 7

I gamle dage benyttede man vandmøller til at drive mølleværker. På skitsen ser du en sådan vandmølle. Vandet, der kommer i renden ved A, driver møllehjulet rundt og afleverer således energi til mølleværket.



Vandet driver møllen



Vandet falder ned ved siden af hjulet.
Møllen står stille.

Møllen kan standses ved, at man flytter renden, så vandet nu falder ved siden af møllehjulet. Hvad med den energi, som før blev afleveret til mølleværket? Sæt en ramme om det svar, som du er mest enig i.

- 1) Energien er der ikke. Energien opstår først i vandet, når det får lejlighed til at drive møllen.
- 2) Energien er i vandet. Den bruges nu til at få vandet til at løbe hurtigere. Vandet i åen ved B løber altså hurtigere, når møllen er standset.
- 3) Energien er der stadig, men man kan ikke se tegn på, at den er der. Energien er bundet til vandmolekylerne og frigøres først, når vandet får lejlighed til at drive møllen.
- 4) Energien bruges nu til at opvarme vandet. Vandet i åen er altså varmere ved B end i renden ved A.

tet dette⁷. Opgave 6 kan ved sine mange svarmuligheder vise noget om, hvordan begrebet kraft er repræsenteret med henblik på den situation opgaven angiver.

Opgave 7

Den sidste opgave handler om energibevarelse og energiomsætning. De fire svarmuligheder rummer forskellige forslag på energiomsætninger og energibevarelse, og man skal angive, hvilket udsagn man er mest enig i. Svarmulighed 4 er det korrekte, mens mulighed 2 er et "fornuftigt" men forkert forslag til energiomsætning. Svarmulighed 3 rummer energibevarelsen og ser i øvrigt "avanceret" ud, selv om indholdet er forskruet. Mulighed 1 indeholder ingen energibevarelse.

POPULATIONEN

Populationen bestod af 237 1.g. elever på den matematiske linie. Det drejede sig om i alt 9 klasser, heraf var 7 klasser fra Nørre Gymnasium og 2 klasser fra Aurehøj Gymnasium.

Der er ikke foretaget undersøgelser over, hvor repræsentativ dette sample er i forhold til hele gruppen, men der er intet, der taler for, at samplet er særlig urepræsentativ.

Fordelingen af drenge og piger er i nærheden af landsgennemsnittet, idet 41% af de deltagende elever var piger og resten drenge (landsgennemsnit 1982/83 var 44% piger).

En elev var omgænger. Da dette ikke er helt atypisk, deltog han i testningen. En elev gik ud under testningen og udgår således af samplet.

TESTMETODEN

For at få en så ensartet testning som muligt foretog jeg den selv for hver enkelt klasse. I hver klasse blev testningen motiveret, og jeg bestræbte mig for at skabe en så afslappet atmosfære som muligt, samtidig med at jeg understregede det betydningsfulde i testningen. Henvendelsen til klasserne kunne derfor ikke blive helt ens fra klasse til klasse, da det ville virke for stift, men den indeholdt den samme information.

Motiveringen og instruktionen indeholdt følgende:

- at testningen bliver gennemført for at tilrettelægge en bedre fysikundervisning
- at vi derfor gerne vil vide, hvilke problemer eleverne i 1.g. kan løse, og hvordan de løser dem
- at testen er anonym
- at opgaverne gerne skal besvares så selvstændigt og så udførligt som muligt
- at besvarelserne skal begrundes
- at der gerne må gives flere begrundede svar på en opgave
- at begrundelserne gerne må indeholde talberegninger, formler, tegninger o.lign.
- at der ikke må viskes ud, da det for os ikke drejer sig om at få rigtige svar, men hvordan man får dem. Det er vigtigt at kende noget til fejltagelserne

- at man ikke må gå videre til næste opgave eller læse den, før der bliver givet tegn til det
- at man gerne må stille spørgsmål til selve opgavens tekst.

Eleverne blev desuden advaret mod at komme med spontane udbrud og stille spørgsmål, som kunne indeholde information om løsningsforslag til de øvrige elever.

Eleverne startede og sluttede samtidig på de enkelte opgaver. Der blev givet ca. fem minutter til hver opgave. Erfaringerne fra testningen i 1981 viste, at det var rimelig tid for de allerfleste. De fem minutter blev heller ikke håndhævet alt for stift, idet jeg hele tiden fulgte med i, hvor langt eleverne var i deres besvarelse. Ligeledes sagde jeg til i rimelig tid, inden de fem minutter var gået, så eleverne fik mulighed for at disponere.

Testningen kunne afvikles på i alt 45 minutter, altså én lektion. Var eleverne forsinkede, så vi måtte udskyde lektionens begyndelse, var man alle steder villig til at bruge lidt af det næste frikvarter.

Hver opgave blev læst op af mig. Til opgave 2, 3, 4 og 5 hørte en lille demonstration.

Til opgave 2 drejede det sig blot om, at jeg viste et måleglas for at være sikker på - på trods af tegningen - at alle blev erindret om, hvordan sådan et så ud.

Til opgave 3 blev der uddelt et sæt lodder til hveranden elev, så eleverne kunne tage dem i hånden. Sættet bestod af et aluminiumslod, et kobberlod og et blylod. Lodderne havde samme form og rumfang (9cm^3). Et helt tilsvarende sæt blev hængt op på demonstrationsbordet med et måleglas under hvert lod. Der var hældt lige meget farvet vand i hvert glas. Mens opgaven blev læst op, blev lodderne og måleglassene udpeget, og kobberloddet sænket ned i vandet helt i overensstemmelse med opgavens tekst og tegninger.

Der uddeltes lodder til eleverne, for at de skulle opleve masseforskellen af lodder af samme form og rumfang. Det kan selvfølgelig have medført, at nogle elever har ladet sig "narre", idet den fremtrædende forskel mellem lodderne netop ingen betydning har. Rumfanget, som har betydning for opgavens løsning, er netop ens for dem alle tre.

Denne fremgangsmåde blev imidlertid anvendt helt bevidst, idet en vigtig forudsætning for at kunne løse en opgave ved formel tænkning er, at kunne se bort fra nok så iøjnefaldende og konkrete - men for opgavens løsning betydningsløse - forhold.

I opgave 4 blev der vist to lodder af samme materiale, men med forskelligt rumfang - helt i overensstemmelse med opgavens første tegning. Der blev dog ikke demonstreret, hvordan man sænker det lille lod ned i et måleglas, da denne fremgangsmåde jo har været vist i forbindelse med en tidligere opgave.

I opgave 5 blev det lille lod ophængt i et dynamometer (fjedervægt), som så netop viste tre enheder.

Så vidt det kunne konstateres, blev opgaverne løst selvstændigt. Kun én løsning viste sig ved den se-

nere gennemgang at være direkte afskrift. Den blev kasseret.

Det var nødvendigt nogle få gange at gribe hurtigt ind over for spontane udbrud. Spørgsmål fra eleverne blev besvaret, men kun ved at gentage information, som tidligere var givet.

Især opgave 6 gav anledning til spørgsmål, idet en del elever tilsyneladende aldrig havde hørt om ordet/begrebet kraft i den sammenhæng før, mens andre stod helt fremmed over for vendingen "retningen af kraften".

Alle klasser var meget villige til at deltage og arbejdede meget seriøst, hvilket besvarelsene da også bærer præg af.

RESULTATER

Besvarelsene til opgaverne 1 til 5 blev inddelt i ikke-besvarede eller ikke-begrundede (?) og besvarede opgaver. Disse blev registreret i rigtige/forkerte (+/-) svar.

Begrundelserne blev derefter kategoriserede efter karakteristiske tankemønstre. Stavefejl eller fejl i tegnsætning er ikke medtaget.

Opgave 1

For opgave 1 valgtes kategorierne formel (F), overgangsform til formel (O), konkret (K) og intuitiv (I).

Kategori F: Begrundelsen henviser til principper, som relationen mellem skibets masse og massen af det fortrængte vand eller relationen mellem massefylder.

I en begrundelse, der henviser til systemet skib-vand, er argumentationen klar og principiel.

Eksempler:

For at et skib kan flyde, skal det erstatte den mængde vand, som det selv vejer, og det har det mulighed for i dokken.

Fordi den mængde vand en båd fortrænger er lig med bæreevnen, og da båden har fortrængt sin egen vægt i vand, kan den ikke fortrænge mere vand.

Skibet vejer stadig lige så meget, som den mængde vand, det fortrænger (dokken er også fyldt med vand).

Vægt: rumfang = skibets vægtfylde, der skal ligge under 1, hvis skibet skal kunne flyde i vand (H_2O). Skibet fortrænger vandet, indtil den del af skibet, der er under vand (i l) svarer til skibets vægt (i kg).

Et legeme nedsænket i vand taber det samme i vægt som det fortrængte vand vejer. Selv om et skib vejer meget, har det en lille massefylde, for ellers kunne det ikke flyde på vandet. Skibets massefylde må være under 1 kg/dm^3 . Formlen har jeg fra Hej Matematik.

Fordi, det er lige meget, om det er et stort (havet) eller et lille kar, som vandet er i.

Hvis det flyder i et hav (hvad det naturligvis gør), vil det også flyde i en dok. Vand er vand, omgivelserne betyder intet.

Fordi det ikke er vandets mængde, der er afgørende for at et skib kan flyde på vand.

Den mængde vand, skibet fortrænger, er den samme, om der er masser af vand eller der ikke er meget vand. Dybgangen er den samme (a) og (b).

Kategori 0: Svaret begrundes ved at referere til den konkrete situation fremfor til en generel lov-mæssighed eller et princip.

Der henvises til, at et tungere skib vil synke længere ned, men der henvises ikke til sammenhæng mellem skibets masse og massen af det fortrængte vand.

I argumentationen bruges masse rumfangsrelationer (massefylde), men ikke relationer mellem massefylder (relation af relation).

Systemet skib-vand opfattes umiddelbart som uafhængig af dokkens tilstedeværelse, men begrundelsen er postulativ og indirekte fremfor klart og formelt udtrykt.

Eksempler:

Hvis skibet sank, ville det have en større vægtfylde end før.

Fordi et skib altid vil synke i til samme punkt, forudsat massen ikke ændres.

Jeg mener dette, da skibet vejer lige meget på havet og i dokken og derved vil den synke lige meget ned det ene som det andet sted.

Efter nogen overvejelse er jeg kommet frem til, at skibet vil flyde, eftersom skibets skrog vil fortrænge den samme mængde vand (dvs. det samme antal kilo) og at ligevægt er nået.

Vandlinien ligger lige langt oppe på skibet på både (a) og (b) og skibet er selvfølgelig lige tungt begge steder.

Fordi skibet har et vist punkt, hvor det flyder, som vist på fig (b) er det blevet sænket så langt ned, at vandhøjden er den samme, som når det sejler på havet.

Fordi skibets konstruktion og vandets egenskaber gør, at skibet kan flyde ovenpå vandet hvis der er dybt nok og der ikke er hul i skibet.

Normalt flyder skibet altid på vandet. Et skib er bygget således, at det skal kunne sejle, og synker derfor ikke til bunds. Dokken er større end skibet og derfor vil det mellemrum, der er mellem skibet og dokkens sider være fyldt med vand.

Fordi det vil ikke kunne synke dybere ned i vandet i dokken end i havet.

Når båden kan flyde på vandet, kan den vel også flyde i dokken.

Kategori K: Svaret begrundes ved at der henvises til en enkelt årsag, så som skibets masse, luften i skibet eller trykket på eller i vandet.

Sammenhængen mellem skibets masse og fortrængt vandmængde bruges ikke. Der argumenteres med en sammenhæng mellem skibets masse og den resterende vandmængdes masse.

Der vises intet tegn på forståelse af relationer mellem masse og rumfang (massefylder) og derfor heller ikke mellem massefylder.

I systemet skib-vand kan der ikke ses bort fra dokkens tilstedeværelse.

Henviser til mere eller mindre relevante forsøg de selv har udført. Prøver at gengive et princip, som imidlertid ikke er forstået rigtigt.

Eksempler:

.... vægten vil gøre (i så lidt vand) at skibet ligger på bunden.

Færgen er så tung, at der ikke vil være plads til at noget af vandet er tilbage.

Fordi luften i skroget bærer skibet oppe.

Fordi trykket i vandet er større end det tryk, der vil komme udefra og ind mod skibssiderne i dokken.

Fordi trykket på vandoverfladen er mindre på fig (b).

Fordi skibet har en mindre flade at flyde på end i havet.

Fordi, der kun er et tyndt lag vand uden vægt bag.

Da den vandmængde, der er tilbage ikke er stor nok som havet til at bære skibet, vil skibet "synke", til det når bunden af dokken.

Fordi skibet er tungere end vandet og derved kan skibet ikke flyde på vandet.

P.g.a. skibet fortrænger lige så meget vand, som massen i skibet og jeg går ud fra at skibets masse er større end vandets (eller på den anden side, hvis der er meget vand, mere end skibets masse vil skibet stå på vand.

Jeg mener, at for at skibet skal kunne flyde, må der være mindst lige så meget vand i dokken, som skibet, når det bliver sænket ned, fortrænger, altså en slags ligevægt.

I det første billede har vandet et sådant stort pres på skibet, at det vil blive flydende - hvorimod der ikke er vand nok (på det andet billede) til at yde det pres der kræves for at "bære" skibet.

Fordi skibets tryk mod dokken vil medføre, at vandet holdes i spænd. Og derved ikke falder ned mod bunden.

Dokken vil yde den modstand, der normalt er i havet og skibet vil, da dokken er dybere end skibets normale stikdybde flyde på en vandhinde.

Fordi, når jeg vasker op kan jeg få et glas til at flyde i en større skål.

Fordi, da jeg var lille, legede jeg med en gryde i en vask og den blev flydende.

Fordi det fortrænger lige så meget vand, som det selv fylder.

Kategori I: Intuitive begrundelser som tilhører et før-konkret tankemønster f.eks. ved at der argumenteres med skibets form eller henvises til tegningen. Begrundelser som er irrelevante, uigennemskuelige eller intetsigende.

Eksempler:

Da dokken er en smule større end skibet, vil bunden på skroget af skibet røre bunden i dokken. Skibet kan ikke fylde dokkens sider helt ud, så der vil være en smule vand.

Skibet er ikke fladt i bunden. Derfor kan det ikke presse alt vandet op.

Man kan se på tegningen at skibet flyder.

Fordi, hvis skibet skal hvile på bunden, vil der være stor sandsynlighed for, at skibet bliver beskadiget.

Fordi skibet er sænket ned på bunden og presser det vand, der ligger helt nede på bunden op langs siderne. Selvfølgelig vil der altid være en lille smule vand på bunden, det allsammen ikke sådan lige kan blive skubbet op.

*Fordi dokken er lidt større end skibet, vil al
vandet ikke komme ud, fordi der til sidst er så
lidt vand i, at det ikke vil blive presset ud.*

*Fordi dokken er s tørre end skibets skrog og
fordi skibet flyder.*

Fordi, der altid vil være vand i dokken.

*Kun et gæt. Noget med luftmodstanden. Umuligt
at fortrænge alt vand. Det er logisk.*

Som det fremgår har jeg valgt at give en hel del eksempler. Det gælder specielt for denne opgave. Det er der flere årsager til. I sig selv finder jeg det interessant og vigtigt at se de forskelligartede tankemønstre, eleverne benytter sig af, måske nok så vigtigt, som at blive præsenteret for en kategorisering og en statistisk opgørelse over fordelingen af eleverne.

Eksemplerne giver ligeledes et indtryk af afgrænsningen af kategorierne og vanskelighederne ved i det hele taget at kategorisere elevsvarene. Enkelte elevsvar har det da også været vanskeligt at anbringe.

Eksemplerne er valgt så repræsentativt som muligt og indeholder således også nogle af de svar, hvor jeg har været i tvivl om, hvilken kategori de bør anbringes i. (En fornyet gennemgang af svarene flyttede dog kun et ubetydeligt antal svar fra en kategori til en anden).

Den statistiske opgørelse over fordelingen af eleverne fremgår af tabel I.

Tabel I: Relativ svarfordeling for opgave 1 (n = 235)

l	svarfrekv.		kategori			
	?	+ -	F	O	K	N
♂	1	66 32	19 ^{x)}	27	35	18
♀	3	58 39	5 ^{x)}	28	39	25
♂ ♀	2	63 35	13	27	37	21

Fordelingen på kategorierne signifikant forskellig ($p < 0,05$) for δ og φ .

x) signifikant forskel ($p < 0,005$) mellem δ og φ .

Som det fremgår, er det kun 40% af eleverne, som benytter sig enten af et formelt tankemønster (13%) eller af en overgangsform til et formelt tankemønster (27%).

Det må bemærkes, at der selvfølgelig kan svares "rigtigt" med en forkert begrundelse, som det også fremgår af eksemplerne. Der er således flere "rigtige" svar end korrekte begrundelser. Kun meget få elever har undladt at svare eller begrunde deres svar.

Fordelingen af drenge og piger på de fire kategorier er signifikant forskellig ($p < 0,05$), og der er signifikant flere drenge i kategori F end piger ($p < 0,005$). Der er også relativt flere drenge

end piger i de to kategorier O og F sammenlagt, nemlig hhv. 46% drenge og 33% piger. Forskellen er imidlertid ikke statistisk signifikant ($0,05 < p < 0,1$).

Opgave 2

Besvarelserne blev opdelt i kategorierne proportionalitet eller scaling (P), addition (A) og andre metoder (N).

Kategori P: Besvarelsen benytter sig af proportionalitetsregning eller scaling.

Eksempel:

B. Da forholdet mellem det store og det lille er 2:3 vil vandet fylde $\frac{6}{3} \cdot 3 = 9$ måleenheder.

C. Det fylder $\frac{8}{3} \cdot 2 = 5\frac{1}{3}$ måleenheder.

B. Fordi at en måleenhed i det store måleglas svarer til 1,5 måleenheder i det samlede glas ($1,5 \cdot 6$) måleenheder = 9 måleenheder.

C. $8:3 = 2\frac{2}{3}$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{2 \frac{2}{3}}{2 \frac{2}{3}} = \frac{8}{5\frac{1}{3}}$$

Kategori A: Ved denne metode bliver svaret i de to dele af opgaven hhv. 8 og 6, idet forskellen i antal måleenheder i A-delen ($6-4 = 2$) adderes for at finde resultatet i B-delen ($6+2 = 8$). Helt tilsvarende i C-delen, idet der nu subtraheres 2 ($8-2 = 6$).

Eksempler:

B. Fordi at når 4 enh. fylder 2 mere i A'eren, syntes jeg det var logisk at 6 enh. fyldte 8 enh.

C. Fordi det måtte være det omvendte fra forsøg B.

Kategori N: Besvarelser, som hverken benytter proportionalitet eller additions-metoden. Svar som benytter en forkert metode (fortrinsvis i del C).

Eksempler:

C. Jeg talte mig frem på tegningen.

C. Man ganger 8 med 1,5. Faciet vil blive det antal streger på det smalle.

C. Ved hjælp af fig. C.

Når kategorien (P) ikke er opdelt i scaling og proportionalitet forstået som en funktionel sammenhæng, skyldes det vanskeligheder med at skelne imellem de to metoder ved så simple tal. Som det fremgår af opgørelsen i tabel II, er der en del som opgiver at regne del C, ligesom der er en del flere i kategori N.

Tabel II: Relativ svarfordeling for opgave 2.

2B	svarfrekv.		kategori			2C	svarfrekv.		kategori		
	%	? / + - /	P	A	N		%	? / + - /	P	A	N
♂	0	96 / 4	97	2	1		3	83 / 14	89	2	6
♀	0	97 / 3	94	4	2		7	75 / 18	81	4	7
♀♂	0	96 / 4	96	3	1		5	80 / 15	86	3	6

Fordelingen på kategorierne signifikant forskellig ($p < 0,05$) for ♂ og ♀.

En undersøgelse af denne gruppe viser, at det netop er dem, der opgiver eller er placeret i kategori N, som benytter scaling i del B.

Det fremgår også af tabellen, at de fleste behersker denne simple form for proportionalitet, idet 96% af alle besvarelser af del B og 86% af besvarelserne af del C falder i kategori P.

Det kan synes lidt søgt at danne den særlige kategori A. Da en tidligere undersøgelse⁸ af lidt yngre elever imidlertid viste forskelle fra land til land og

og forskelle for drenge og piger netop for denne kategoris vedkommende var det interessant at tage den med.

Som det fremgår af tabellen, er der ingen særlig stor forskel mellem drengenes og pigernes besvarelser for hver enkelt kategoris vedkommende. Fordelingen på kategorierne er imidlertid signifikant forskellig ($p < 0,05$).

Opgave 3

Begrundelserne for svarene er blevet opdelt i kategorierne formel 1 (F_1), formel 2 (F_2), konkret (K) og uigennemskuelige (N).

Kategori F_1 : Svaret begrundes med, at lodderne har samme rumfang og derfor også må fortrænge den samme vandmængde.

Eksempler:

De har alle samme rumfang altså vil de få vandet til at stige lige meget.

Både bly og aluminium har en masse, der er større end vand, derved vil samtlige lodder blive fuldkommen nedsænket og eftersom de har samme rumfang må vandet stige lige meget i de 3 ensfyldte glas.

Kategori F_2 : Svaret begrundes, som svarene henhørende under kategori F_1 , blot påstås at aluminiumsloddet kan flyde, hvorfor det fortrænger mindre vand.

Eksempel:

Jeg tror at aluminiumloddets massefylde er min-

dre end vand og at det derfor vil flyde (svaret iøvrigt angivet på tegningen).

Kategori K: Svaret begrundes med, at det er massen, (evt. massefylden), der betyder noget for, hvor meget vand der fortrænges. Eventuelt påstås det, at aluminiumsloddet kan flyde.

Eksempler:

Fordi de har forskellig masse (tænk på historien om kongen, der skulle have lavet en krone hos en guldsmed, hvor noget af guldets bliver "byttet" med sølv).

Fordi blyloddet er tungest vil der automatisk komme til at komme mere vand i end kobberloddet.

Aluminium er et meget let stof og vandstanden vil derfor blive mindre.

Udfra vægten af de forskellige lodder. Vægt kombineret med viden om massefylden.

Aluminium ikke så stor en massefylde som kobber. Bly større massefylde end kobber.

Det er det med ham Aristoteles, når noget (er) tungt fortrænget det mere vand end noget, der er let.

Kategori N: Rigtige svar; men i begrundelsen bruges begreberne forkert, så begrundelsen bliver mere eller mindre uigennemskuelig.

Eksempler:

Vægten har ingenting med massefylden at gøre.

Bly vejer mere end vand. Aluminium vejer omtrent lidt mere end vand.

Også her er der givet en del eksempler for at vise, hvordan begrundelserne i de forskellige kategorier afviger fra hinanden.

Her er der også eksempler på begreber og principper (massefylde, Arkimedes lov), der huskes som noget, der har med problemet at gøre, men den konkrete tænkende har aldrig forstået principperne og kan ikke bruge dem. Man kunne fristes til at tro, at de huskede fragmenter endog kan hindre en mere systematisk tankevirksomhed omkring løsningen af problemet.

Tabel III: Relativ svarfordeling for opgave 3.

3	%	?	kategori			
			F ₁	F ₂	K	N
♂	1		76 ^{x)}	6	13 ^{x)}	3
♀	3		54 ^{x)}	3	33 ^{x)}	6
♂ ♀	2		67	5	21	4

x) signifikant forskel ($p < 0,001$) mellem ♂ og ♀.

Som det fremgår af tabel III, er det 67% af alle elever, som klart udtrykker, at det fortrængte vand har samme rumfang som lodderne. Dertil kommer så 5%, som mener, at aluminiumsloddet kan flyde. 21% mener lige så klart, at det er loddernes masse, som har betydning for, hvor meget vand der fortrænges.

Der er stor forskel på drengenes og pigernes besvarelser. Der er således signifikant ($p < 0,001$) relativt flere drenge end piger i kategori F₁ (ligeledes i F₁+F₂) og ligeledes signifikant ($p < 0,001$) relativt flere piger end drenge i kategori K.

Opgave 4

Begrundelserne for svarene og opdelt i kategorierne proportionalitet (P) og andre uigennemskuelige metoder (N).

Kategori P: Svarene begrundes med en proportionalitet enten ved en scaling eller en funktionel sammenhæng evt. udtrykt ved et regnestykke.

Eksempler:

Vandet stiger 2 enheder for hver 3 vægtenheder.

Det store lod er tre gange så stort, som det lille, så må det også få vandet til at stige tre gange så højt.

Kategori N: Svarene begrundes intuitivt efter loddernes tilsyneladende størrelse, ved forskellen mellem lodderne eller på andre evt. helt uigenemskuelige måder.

Eksempler:

Det store lod fylder næsten hele cylinderglasset, så vandet vil blive skubbet op over cylinderen, og der er 3 enheder vand, cylinderen fylder ca. 5-6 enheder så den vil komme op på 8-9 stk. (Svaret er $5\frac{1}{2}$ enh.).

Jeg sagde når det lille vejer 3 og stiger 2 enheder, vil det store lod som vejer 9 enheder stige 8 enheder. Jeg har aldrig set det forsøg i skolen.

Tabel IV: Relativ svarfordeling for opgave 4.

4	svarfrekv		kategori	
	%	? + -	P	N
♂	0	96 / 4	96	4
♀	1	93 / 6	94	5
♂ ♀	0	94 / 5	95	4

Som det fremgår af tabel IV, har de allerfleste - nemlig 95% af alle eleverne - begrundet opgavens resultat ved proportionalitetsbetragtninger evt. på en meget simpel form.

Svarene viser også, at langt de fleste elever tager proportionaliteten mellem masse og rumfang og mellem rumfang og fortrængt væskemængde for givet, når der er tale om samme materiale.

Opgave 5

Begrundelserne for svarene på opgave fem er blevet opdelt i kategorierne proportionalitet (P), proportionalitet, men regnet forkert (O), addition (A) og andre eller iugennemskuelige metoder (N).

Kategori P: Regnestykket er korrekt opstillet, og begrundelsen er enten et regnestykke, henvisning

til regnestykket eller en forklaring af proportionaliteten.

Eksempler:

Regnestykket:

$$7:17 = 2,42, \quad 3 \cdot 2,42 = 7,26$$

Begrundelse: se udregning.

Regnestykket:

$$\frac{7}{3} = \frac{17}{x}, \quad \frac{1 \cdot 7}{3} = \frac{3 \cdot 17}{x}$$

$$7x = 51, \quad x = 7\frac{2}{7}$$

Begrundelse:

Jeg tænkte på at forholdet mellem vægten er det samme som forholdet mellem rumfanget, fordi de er af samme materiale.

Regnestykket:

$$\frac{3}{7} = 0,42 \quad 7 \cdot 0,4 = 3$$

$$0,42 \cdot 17 = 7,4 \text{ enheder.}$$

Begrundelse:

Brugte formlen $v \cdot mf = m$, fandt ud af massefylden ved at dividere det lille lods vægtenheder med rumfanget. (Gange) det tal med rumfanget på den store = derved massen på det store.

Regnestykket:

$$7:17 = 2,42, \quad 2,42 \cdot 3 = \underline{7,26}$$

Begrundelse:

7 måleenheder divideret med 17 måleenheder = 2,42, det store lod er 2,42 gange større end det lille lod, $2,42 \cdot 3$ måleenheder = 7,26 vægtenheder som det store lod vejer.

Regnestykket:

$$\frac{17}{7} = x \quad \text{antal vægtenheder} = 3x.$$

Begrundelse:

Forholdet er 17 til 7, ergo så mange gange som 7 går op i 17, må det store lod veje mere.

Kategori 0: Til udregning og i begrundelsen benyttes proportionalitetsregning, men resultatet bliver forkert på grund af fejl i opstillingen af regnestykket eller grovere regnefejl.

Eksempler:

Regnestykket:

$$\frac{3}{2\frac{1}{3}} = 1,285; \quad \frac{7}{3} = 2\frac{1}{3}; \quad \frac{17}{2\frac{1}{3}} = \underline{7,285}$$

$$1,285 \cdot 7,285 = \underline{9,36}$$

(Som resultat angives 9,36).

Begrundelse mangler.

Regnestykket:

$$7:3 = 1,33, \quad 1 \text{ enhed} = 1,33$$

$$17 \cdot 1,33 \quad 12 \text{ enheder.}$$

Begrundelse mangler.

Regnestykket mangler, men indgår nedenfor:

Begrundelse:

$7:3 = 2,33$ for hver vægtenhed stiger vandet 2,33 enheder. Det store lod vejer $17 \cdot 2,33$ enheder.

(Ikke angivet på tegningen).

Kategori A: Til beregningen og begrundelsen anvendes forskellen imellem de to lodders rumfang (altså $17-7 = 10$), som så adderes til vægten, så der fås 13 vægtenheder. Eventuelt benyttes forskellen mellem 7 rumfangsenheder og 3 vægtenheder og adderes til de 3 vægtenheder, så der fås 11 vægtenheder.

Eksempler:

Regnestykket:

$$3:7, \quad 7:17$$

Begrundelse:

Jeg skønnede på, at hvis det lille lod vejer 3 og steg 7, måtte det store lod være ca. 4 vægtenheder større (Svar 11)

Regnestykket mangler.

Begrundelse:

Vandet i måleglasset med det store lod steg 17 enheder, hvilket er 10 enheder mere end vandet

i måleglasset med det lille lod, og da de er af samme materiale, må vægten af det store lod også være 10 enheder mere end vægten af det lille lod.

Regnestykket:

$$17-7 = \text{rumfangsforskellen} = 10$$

$$3+10 = 13 \text{ enheder} = \text{det store lod.}$$

Begrundelse:

?

Regnestykket mangler.

Begrundelse:

$$3:7 = 3+10:7+10 = 13:17$$

(Svaret er 13).

Kategori N: Besvarelser, hvor beregningen hverken benytter proportionalitetsregning eller addition f.eks. rent skøn eller forsøg på scaling. Desuden er meningsløse eller uigennemskuelige svar placeret i denne kategori.

Eksempler:

Regnestykket:

$$21:3 = 7, \quad 170:7 = 10 \text{ (Svar 10).}$$

Begrundelse:

Kan ses på regnestykket.

Regnestykket:

$$\begin{aligned} \text{Måske } 7+17 &= 3x \\ 3x &= -23 \\ x &= 7 \end{aligned}$$

Begrundelse:

Ved hjælp af regnestykket, men jeg er ikke sikker.

Det fysisk begrebsmæssige i denne opgave er af samme karakter, som i opgave 4 og ser da heller ikke her ud til at volde de store vanskeligheder. Man kan dog ikke se bort fra, at det har en indflydelse på, hvordan opgaven kan løses. Dette kan bl.a. ses af, at flere også beskriver den fysiske situation og bruger begreber som rumfang, masse og massefylde eller understreger, at der er tale om samme materiale osv.

Tabel V: Relativ svarfordeling for opgave 5.

5	svarfrekv		kategori			
	?	+ -	P	O	A	N
♂	11 ^{x)}	75 14	76 ^{xx)}	9	3	1
♀	22 ^{x)}	54 24	53 ^{xx)}	13	6	3
♂ ♀	15	66 18	67	10	4	3

x) Signifikant forskel ($p < 0,005$) mellem ♂ og ♀.

xx) Signifikant forskel ($p < 0,001$) mellem ♂ og ♀.

Tabel V afspejler dog nok i det væsentlige vanskeligheder med at regne med proportioner repræsenteret som en funktionel sammenhæng.

Mange (15%) opgiver helt at besvare opgaven. 67% af eleverne besvarer opgaven rigtigt, men der er stor forskel på drengenes og pigernes besvarelser. Således tilhører 76% af drengene kategori (P), men kun 53% af pigerne ($p < 0,001$). Der er ligeledes signifikant ($p < 0,005$) flere piger, som opgiver at regne opgaven. Også i den lille gruppe elever (4%) i kategorien A, er der relativt flere piger end drenge, men forskellen er ikke signifikant.

Opgave 6

Det har ikke været muligt at kategorisere begrundelserne i denne opgave, da de for en stor del er fragmentariske, svære at gennemskue eller giver udtryk for en opgivende holdning - ikke sjælden med et forsøg på at være morsom.

Eksempler:

1. Ved de andre billeder går pilene ikke samme vej, som kuglen, så ved de andre vil den.

2. Ved det ikke.

3. Ved det ikke.

1. Fordi den skal fremad med en nogenlunde stor kraft.

2. Fremad. Det nytter jo ikke noget hverken at komme opad eller nedad (endnu).

3. Endelig, landing.

Nogle svarforsøg er ikke begrundelser i sædvanlig forstand, men snarere beskrivelser.

Eksempel:

1. *Kanonkuglen bliver skudt skråt op (hø hø) ud af kanonen.*
2. *Her er kanonkuglen på sit højeste punkt, efter det vil den begynde at tabe fart og derfor få en nedadgående kurs.*
3. *Nu har kanonkuglen ikke mere acceleration og begynder en temmelig brat nedgang.*

-
1. *Fordi at der er på det sted at kanonkuglen flyver længst (kryds i første kasse).*
 2. *Fordi at det er den eneste pil der viser opad (kryds i første kasse).*
 3. *Fordi at på et tidspunkt vil kanonkuglen begynde at falde (kryds i fjerde kasse).*

Flere begrundet blot det første spørgsmål og kan så ikke føre argumentationen videre for de næste to spørgsmål, eller deres forklaring er i modstrid med deres afkrydsning.

Eksempel:

1. *Kuglen vil blive kastet ud i retning af pilen, men vil blive tiltrukket af jorden og derfor afbøje sin bane (kryds i første kasse).*

2. (Kryds i første kasse, ingen begrundelse).

3. (Kryds i anden kasse, ingen begrundelse).

Som helhed er begrundelserne ubehjælpomme, og begrebsmæssigt forvirret.

Eksempel:

1. Fordi den bane, der er tegnet, samtidig kan gælde for kanonkuglens kraft, altså ingen (kryds i tredje kasse).
2. Fordi kanonkuglen er på sit højeste punkt og den kommende bane er kanonkuglens kraft (kryds i tredje kasse).
3. Fordi jo er skudt ud med en bestemt aftagende kraft, som jo hele tiden vil følge den i dens bane (kryds i tredje kasse).

Ord som bane, hastighed, tyngdekraft, kraft og energi optræder, men dækker ikke de tilsvarende begreber. Det aristoteliske impetusbegreb kan genkendes i en stor del af begrundelserne.

Jeg har valgt at give en samlet registrering af svarene i tabel VI, samt nogle karakteristiske svarmønstre og eksempler på deres begrundelser.

Tabel VI: Relativ svarfordeling (%) for opgave 6.

(?)			ingen kraft 		
(3)	89	3	2	3	
(5)			ingen kraft 		
(7)	9	60	20	6	
(7)			ingen kraft 		
(7)	5	59	15	14	

Som det fremgår, falder langt de fleste svar (89%) på det 1. spørgsmål i 1. kasse, mens svaret på 2. og 3. spørgsmål for de fleste svares vedkommende (ca. 60%) falder i 2. kasse. Det bemærkes også, at d rengenes svar falder mere koncentreret i det nævnte mønster. Ser man på de enkelte svarmønstre, så kan det ikke undre, at det mest almindelige mønster netop er det, som også i den samlede registrering viser de største hyppigheder, nemlig mønster A.

Svarmønster A

		ingen kraft 		
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		ingen kraft 		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		ingen kraft 		
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

46% lader altså kraftretningen være den samme som bevægelsesretningen. Det betyder ikke, at det netop er den omstændighed, som benyttes i begrundelserne.

Eksempler:

1. Fordi kuglen vil altid bevæge sig som en tangent til sin bane.

2. Se under 1.

3. Se under 1.

1. Hvis man tænker sig at kanonkuglen ikke blev påvirket af nogen tyngdekraft ville kanonkuglen flyve i den retning, som jeg har krydset, men i praksis er den påvirket af tyngdekraften så kuglen bliver trukket ned mod jorden + kuglens kraft = banen.

2. (Intet).

3. (Intet).

1. Af kuglens retning kan det direkte ses at l'eren må være rigtig, men af banen kan det ses, at der også må være en kraft nedad (tyngdekraften).

2. (Intet).

3. (Intet).

1. Det kommer an på hvor stor hastighed kraften har, men den må en lige bue til at starte med.
2. Der er kraften ved at aftage.
3. Der er der næsten ingen kraft tilbage.

1. Kuglen har den kraft i den retning, fordi den er endnu ikke nået at blive påvirket af tyngdekraften.
2. Nu har kuglen ændret retning lidt pga. at tyngdekraften trækker i den. Hvis der ingen tyngdekraft var ville den fortsætte med den retning.
3. For nu bliver den trukket tættere og tættere mod jorden og tyngdekraften spiller en stor rolle.

Der er to argumenter, som kan genkendes. Kuglen får en kraft, som efterhånden aftager, og at kuglen får en kraft, som aftager, mens tyngdekraftens påvirkning tiltager.

Svarmønster B

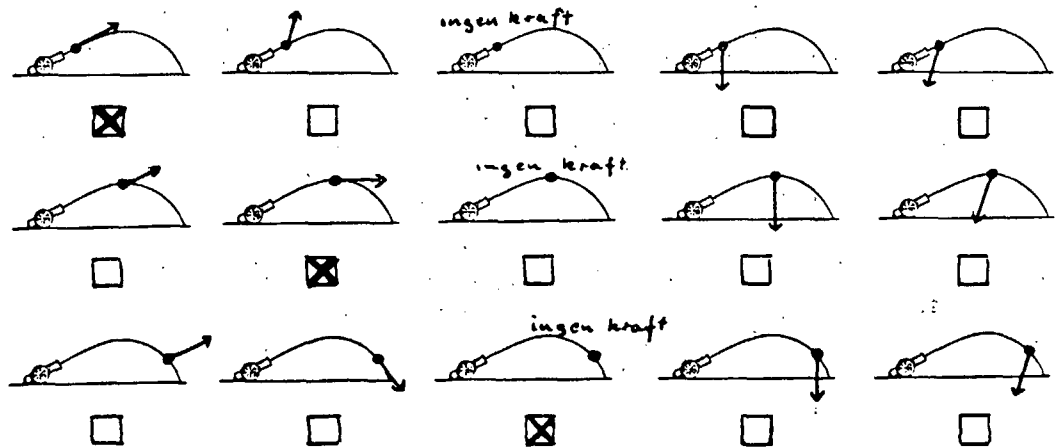
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Begge argumenter findes også i forbindelse med mønster B, som 7% af eleverne angiver som deres svar.

Eksempel:

1. Fordi den lige er blevet skudt ud af kanonen og ikke er blevet påvirket af jordens tiltrækning endnu.
2. Fordi kuglen stadig vil være påvirket af udskydningskraften men samtidig vil blive trukket mod jorden af tyngdekraften og de to kræfter vil være lige store og derfor ophæve hinanden.
3. Kuglen vil i svag grad være påvirket af udskydningskraften, men vil blive trukket mod jorden af den større tyngdekraft.

Svarmønster C



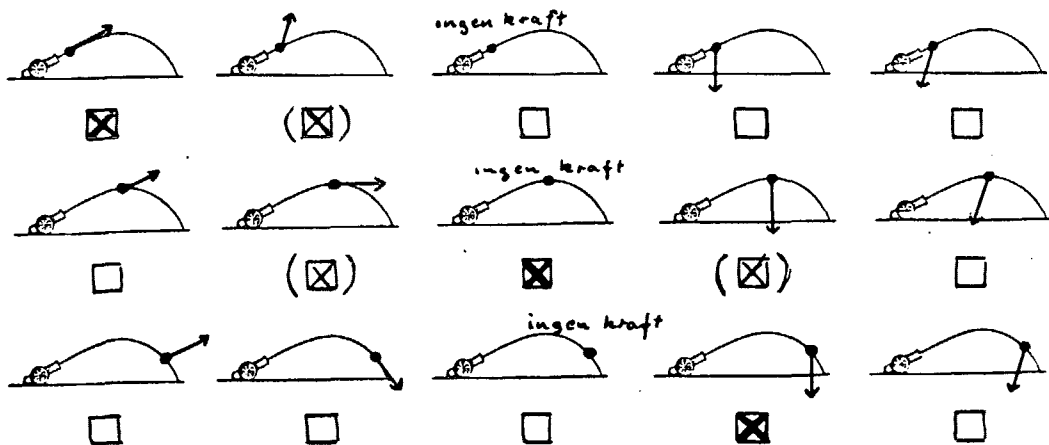
Andre 7% af eleverne svarer med mønster C, hvor tyngdekraften (i reglen) ikke er explicit repræsenteret.

Eksempler:

1. Fordi den retning har kanonens løb.
2. Fordi kraften er ved at tage af.
3. Fordi den har brugt al sin kraft og har nu kun tilbage at falde ned

-
1. Kanonkuglen vil affyres i den retning
 2. Der er ikke ret meget kraft på kuglen og retningen er derfor blevet en anelse svækket
 3. Jeg tror ikke, at der er mere kraft, kuglen falder "bare" ned, men stadig i den buede bevægelse.

Svarmønster D



Det er nok rimeligt at antage, at for mønster D, som i 3. spørgsmål har kryds i 4. kasse, vil tyngdekraften i reglen indgå i begrundelsen. Samles alle besvarelser, som har det omtalte kryds, bliver det til 11% af eleverne ud over de elever, som giver et acceptabelt svar - nemlig mønster E.

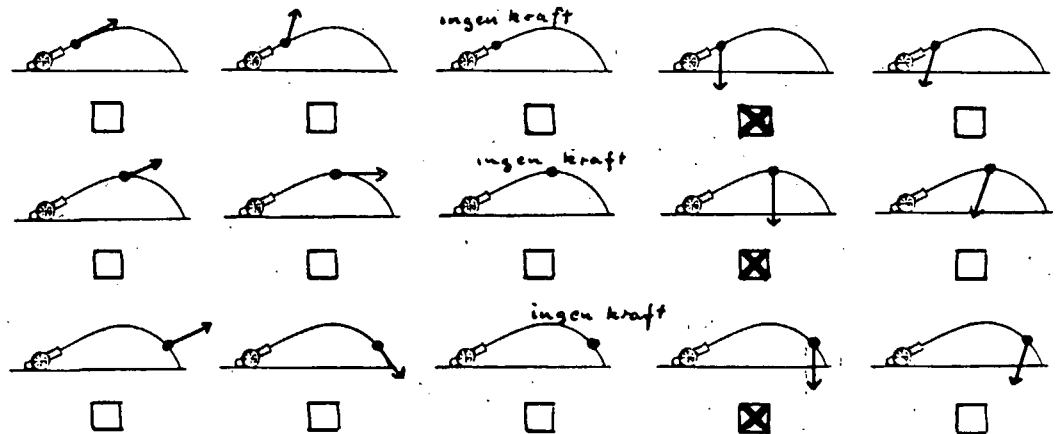
Eksempler:

1. Den bliver skudt opad
2. Nu har den ikke så meget kraft mere.
3. Det er kun tyngdekraften, der påvirker den.

1. Kraften fra kanonen er størst her i punkt A
Men tyngdekraften er jo altid til stede
2. Her er kraften fra kanonen og tyngdekraften
lige store (kryds i tredje kasse).
3. Her er kraften fra kanonen mindre end tyngde-
kraften.

Kun 3% (1 pige og 6 drenge) svarer med mønster E,
som må anses for acceptabelt. Derfor behøver be-
grundelserne ikke at være acceptable.

Svarmønster E



Eksempler:

1. Kraften er nedadrettet, tyngdekraften vil træk-
ke kuglen nedad

2. Tyngdekraften vil stadig være nedad.

3. Jævnfør 1. + 2.

1. Fordi kraften langsomt forsvinder ned jo længere kuglen kommer.

2. Fordi kraften ikke forandrer retning på vejen.

3. Det samme som punkt 1.

De 5 af de 7 elever har dog acceptable begrundelser. Luftmodstand nævnes, men angives ikke som en kraft ved et kryds i 5. kasse.

Eksempel:

1. Da kuglen er affyret og dermed har forladt kanonen, kan den ikke påvirke kuglen, så er der kun jordens tiltrækningskraft og evt. lidt luftmodstand tilbage.

2. Se første begrundelse.

3. Se forklaring.

Selv om der kan udskilles nogle repræsentationsformer, som har en vis éntydighed, er der dog så mange forskellige måder at tænke og udtrykke sig på, at jeg har fundet det hensigtsmæssigt at referere en del eksempler. Det er jo nemlig disse repræsentationsformer og tænkemåder, som må danne udgangspunkt for den videre diskussion af kraftbegrebet i undervisningen.

Opgave 7

I opgave 7 er der blot bedt om en tilkendegivelse af, hvilket udsagn man er mest enig i. Derfor gengives der blot en registrering af svarene i tabel VII.

Tabel VII: Relativ svarfordeling for opgave 7.

7	svarfrekvens				
	?	1	2	3	4
♂	2	14	28 ^{x)}	41	14 ^{x)}
♀	6	20	17 ^{x)}	52	5 ^{x)}
♂ ♀	4	17	23	46	11

Fordelingen mellem ♂ og ♀ signifikant forskellig ($p < 0,01$).

x) Signifikant forskel ($p < 0,05$) mellem ♂ og ♀.

Det er svar nr. 3, det der lyder "fint", som har fået størst tilslutning, mens det korrekte svar nr. 4, har fået mindst.

Der er stor forskel på drengenes og pigernes svar. Fordelingen af svarene er signifikant forskellig for drenge og piger ($p < 0,01$), og der er signifikant flere drenge, som er enig i svar 4 og svar 2 ($p < 0,05$).

Sammenligning af opgaver

Da de første fem opgaver alle refererer til nogle forhold vedrørende kognitiv udvikling, der bl.a. afspejler sig i de kategorier, besvarelserne er

Skema 1-3: Sammenfald af vurderinger for opgave 1-3, 1 og 5 samt 3 og 5.

Skema 1a

%	♂ (136)			%	♀ (92)			%	♀ (228)		
N	1	1		N		2	2	N		1	1
K	3	4	6	K	12	14	9	K	7	8	7
F ₁ +F ₂	42	32	12	F ₁ +F ₂	23	24	14	F ₁ +F ₂	34	29	13
3/1	F+O	K	I	3/1	F+O	K	I	3/1	F+O	K	I

Skema 1b

%	♂ (130)			%	♀ (92)			%	♀ (228)		
I	12	6		I	14	9	2	I	13	7	1
K	32	4	1	K	24	14	2	K	29	8	1
F+O	42	3	1	F+O	23	12		F+O	34	7	
1/3	F ₁ +F ₂	K	N	1/3	F ₁ +F ₂	K	N	1/3	F ₁ +F ₂	K	N

Skema 2

%	♂ (122)			n	%	♀ (73)			n	%	♀ (195)			n
I	9	5	3	4	I	12	7	8	3	I	10	6	5	7
K	31	2	2	4	K	25	7	4	11	K	29	4	3	15
F+O	45	1	1	5	F+O	32		5	4	F+O	40	1	3	9
1/5	P	0	A+N	?	1/5	P	0	A+N	?	1/5	P	0	A+N	?

Skema 3

%	♂ (122)			n	%	♀ (73)			n	%	♀ (195)			n
N	2			1	N			3	2	N	1		1	3
K	7	5		3	K	23	3	8	7	K	13	4	3	10
F ₁ +F ₂	78	2	7	11	F ₁ +F ₂	47	11	5	11	F ₁ +F ₂	66	5	6	22
3/5	P	0	A+N	?	3/5	P	0	A+N	?	3/5	P	0	A+N	?

er blevet inddelt i, er det nærliggende at sammenligne dem indbyrdes. I denne sammenhæng er det især opgaverne 1, 3 og 5, som er de mest karakteristiske, og som har den største spredning.

Skema 1-3 angiver sammenfald af vurderinger i procent af det antal elever (angivet i parentes), der har besvaret begge de pågældende opgaver.

For overblikkets skyld er nogle kategorier slået sammen. Specielt for opgave 5 gælder, at et ret stort antal elever opgave at regne den. Dette er registreret i en kolonne for sig (?), som angiver antal elever. Skema 1 er for oversigtens skyld anført på to måder, a og b.

Selv om testen, som bemærket i indledningen, overhovedet ikke er konstrueret til at kunne bære en statistisk behandling af denne karakter, er der alligevel et rimeligt godt sammenfald mellem kategorier og antal.

Det må understreges, at kategorierne er stillet sammen efter mit eget skøn ud fra de tidligere anførte betragtninger over opgavernes karakter samt egne erfaringer med lignende tests.

Fordelingerne viser igen en forskel på drenge og piger. Pigerne spreder sig mere over kategorierne end drengene. De i den henseende særligt fremtrædende eksempler er angivet med en ring om værdierne. Især skal her bemærkes skema 1 a+b. Selv om relativt mange piger i opgave 3 mener, at massen er afgørende for mængden af det fortrængte vand, så kan de i opgave 5, hvor der er tale om to lodder af samme materiale, opstille og udregne proportionaliteten.

Der er også relativ mange piger (11%) i modsætning til drenge (2%), registreret i kategori $F_1 + F_2$ (opgave 3), som i opgave 5 forsøger sig med en proportionalitet (kategori 0) uden at kunne gennemføre det korrekt. Det er disse piger, som på skema 2 er registreret i kategori K og I (opgave 1).

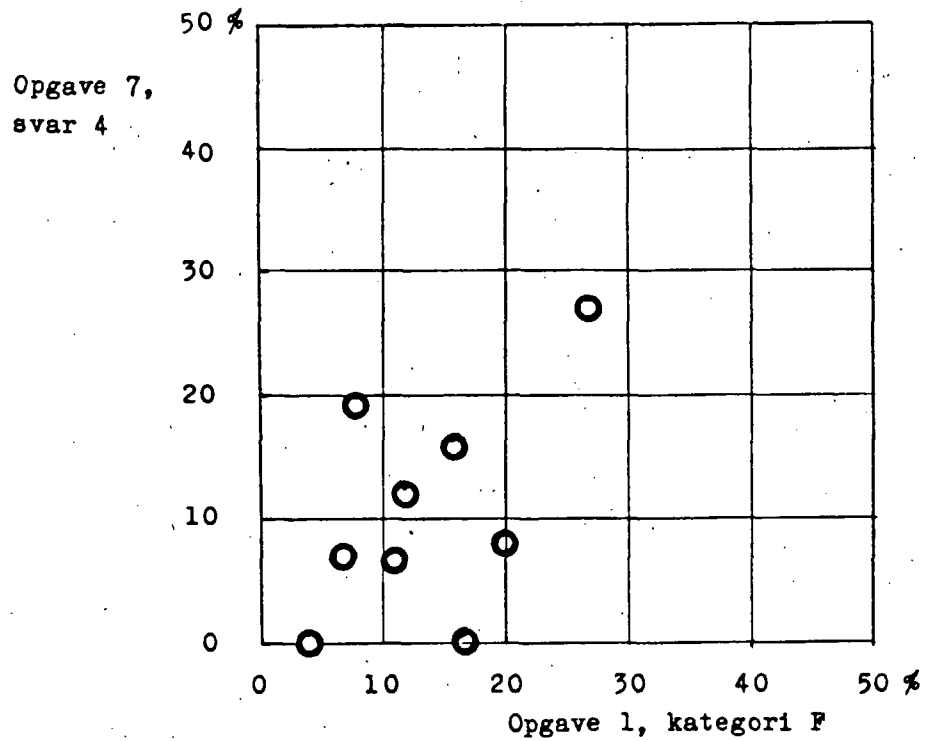
For både drenge og piger på skema 3 registreret i kategori 0 (opgave 5) og kategori K og $F_1 + F_2$ (opgave 3) gælder, at de er registreret i kategori K og I (opgave 1) på skema 2.

Det vil også være naturligt at finde sammenfald i vurderinger for opgave 6 og 7, men på grund af karakteren af besvarelserne på opgave 6, er dette ikke muligt. De elever, som har givet en acceptabel besvarelse på opgave 6 (afkrydsning og begrundelse), har alle erklæret sig mest enig med udsagn 4 i opgave 7. Det drejer sig om 5 elever. 3 elever har givet acceptable svar på alle 7 opgaver.

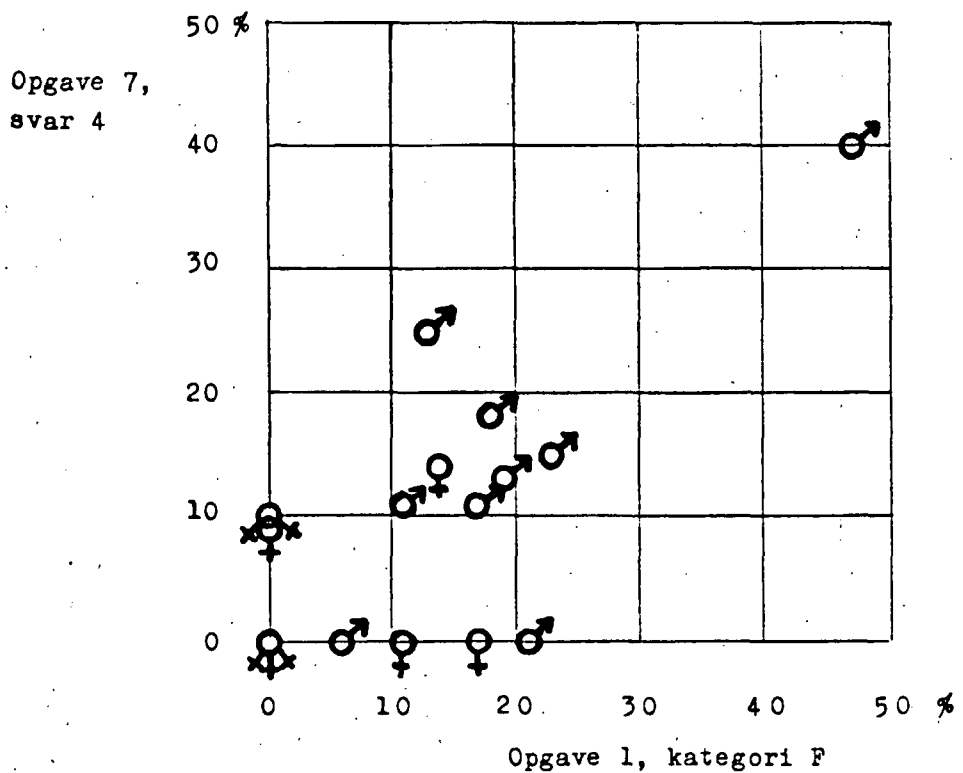
Endelig kan det konstateres, at der er meget store forskelle fra klasse til klasse. Omstående scattergram A viser et eksempel.

På første-aksen er afsat det relative antal besvarelser på opgave 1 registreret i kategori F, og på anden-aksen er afsat det relative antal besvarelser, hvor der er sat mærke ved udsagn 4 i opgave 7.

Scattergram A: Spredning for de 9 klasser på opgave 1 kategori F og opgave 7, svar 4.



Scattergram B: Som scattergram A, men fordelt på drenge og piger.



DISKUSSION OG KONKLUSION

Ser man på de 5 første opgaver, kan man som et gennemsnitsresultat nok anse ca. halvdelen af eleverne som værende bundet i et konkret tankemønster. Selvom næsten alle elever kan regne simple proportionalitetsopgaver, bruger de ofte scaling. Stilles der krav om opstilling af en simpel funktionel sammenhæng, er det kun $\frac{2}{3}$ af eleverne, der kan klare det. Det er også ca. $\frac{2}{3}$ af eleverne, som kan indse, at massen af en genstand ingen indflydelse har på den mængde væske, genstanden fortrænger, når den er helt nede i væsken. Godt halvdelen (55%) kan begge dele. Bliver argumentationen mere kompliceret, som forklaringen på, hvorfor et skib flyder, så er det under halvdelen af besvarelserne, som nærmer sig et formelt tankemønster.

Her er det nok vigtigt at bemærke, at regnefærdighederne skal bruges i en konkret beskrevet fysisk sammenhæng. Selvom tallene er simple (brøkgregning), kan det bevirke, at færdighederne ikke kommer i brug. Men færdigheder, der ikke kan bruges, fordi situationen ikke kan genkendes eller forstås, er netop et tegn på et konkret tankemønster. Når således mange piger kan regne opgave 5, selv om de i opgave 1 og 3 er registreret under de konkret tænkende, kan dette være, fordi de har tilegnet sig en færdighed, en teknik, som de på grund af den simple situation kan bringe i anvendelse. Dette er også i overensstemmelse med, at netop en del piger opstiller en forkert proportionalitet eller regner galt.

Dette mønster adskiller sig ikke væsentligt fra det, der tegnede sig i 1974⁸. 192 drenge og 205 piger i 7. og 8. klasse blev testet med en opgave, der med hensyn til regnefærdighed var af lignende art, som

opgave 2C og opgave 5. Det var også proportionsregning, hvor resultatet bliver en brøk. Også der var der signifikant ($p < 0,015$) flere drenge (21%) end piger (11%), der anvendte proportionalitetsregning. Med forbehold for det sammenlignelige mellem opgaver og kategorier er resultaterne stillet sammen i tabel VIII.

Tabel VIII: Sammenstilling af tilsvarende opgaver og kategorier i denne test og en test i 7.-8. klasse (1974).

%		kategori			
		(R)	(Tr)	(A)	(I)
(1974) 1982	?	P	O	A	N
♂ (1974) 1982	11	(21) 76	(38) 9	(6) 3	(35) 1
♀ (1974) 1982	22	(11) 53	(41) 13	(11) 6	(37) 6

x) Signifikant forskel ($p < 0,015$) mellem ♂ og ♀.

xx) Signifikant forskel ($p < 0,001$) mellem ♂ og ♀.

Som det fremgår, er der en forskydning i tallene, og her kan man jo gætte på selektion, aldersforskel og undervisning, men forholdet mellem de to køn udviser det samme mønster. Man kan da også fundere lidt over tallene og spørge om, hvor store fremskridt der er sket med eleverne?

Det konkrete tankemønster træder også frem på anden måde i besvarelserne. Den konkret tænkende lader sig jo ofte påvirke af reelle eller tænkte sansindtryk, som kan føre til irrelevante betragtninger. Dette viser sig især i opgave 1, som foranstående eksempler viser eller i følgende udsagn i forbindelse med opgave 4: "*Det store lod fylder næsten hele glasset, så*".

Desuden bruges ofte ord, som logisk, automatisk o. lign., uden at der er dækning for dem. De skal tilsyneladende virke i stedet for et formelt argument, f.eks.: "*Det er da logisk*", eller som besværgende fyldord, f.eks.: "*Kuglen falder automatisk ned*".

Et andet kendetegn er som nævnt, at begreber som masse, rumfang, massefylde og fortrængt væskemængde ikke er klart adskillelige. Måske derfor er også ordbrugen usikker. Der er således nogle elever, som tilsyneladende bruger ordet massefylde som synonymt med rumfang (det massen fylder?), f.eks.: "*Det store lod har en masse, der er 3 gange så stor, som det lille lods masse. Da de er af samme materiale vil vandet stige efter deres massefylde*".

Opgave 6 var lidt vanskelig at administrere under testningen, da enkelte elever ikke var fortrolige med sprogbrugen. Især vendingen "kraftens retning" var totalt fremmed for nogle elever. Tilsvarende vanskeligt var det derfor at evaluere opgaven og finde ud af, hvordan kraftbegrebet så er repræsenteret i besvarelserne. Sikkert er imidlertid, at et fysisk kraftbegreb er der kun tale om i ganske få besvarelser. I denne sammenhæng er kraftbegrebet domineret af førvidenskabelige dagligdags (spontane) forestillinger. Der findes en del litteratur på dette område også (og specielt) vedrørende begreber fra mekanikken⁹. På baggrund af denne litteratur

er resultatet ikke så forbavsende.

Hvilke krav er det egentlig der stilles? Der stilles krav om, at kraftbegrebet (tyngdekraften) har en sådan repræsentationsform i eleverne, at det kan bruges i denne for eleverne nye situation. Eleverne skal kunne genkende årsagen til en (tænkt) bevægelsesændring som en kraft (tyngdekraften). Begrebsudviklingsmæssigt er det et stort krav at stille. Kraftbegrebet skal være temmelig generelt repræsenteret, dvs. være frigjort fra de (indlærings-) situationer, hvor det er søgt tilegnet. Eleverne skal f.eks. kunne frigøre sig fra sanseindtryk og irrelevante erfaringer og "se", at det samme begreb er i spil, når en bil starter, når den bremses, når et æble falder, når en sten snurres rundt i en snor, og når den beskriver en parabelformet bane i et kast. I de fleste (alle?) situationer, som eleverne har været i før i skolen, har kraft og bevægelse imidlertid samme retning. Ydermere har eleverne været præsenteret for et kraftbegreb, som har med strækning af fjedre og med tryk at gøre, og som skulle være det samme begreb.

Begrebsmæssigt er der i opgave 7 tale om energibevarelse og energiomsætning. Som opgaven er udformet, er det ikke muligt at tolke elevernes bevæggrunde til deres svar. At lidt under halvdelen er "faldet" for det "sophisticatede" svar nr. 3 siger lidt om, hvad eleverne i øvrigt ved om energiomsætninger. 11% svarer altså korrekt, mens 23% svarer ud fra fornuftige betragtninger (svarmulighed 2), selv om svaret er forkert. I alt vil det sige, at ca. en tredjedel af eleverne kan anlægge "fornuftige" energibetragtninger i forbindelse med denne opgave.

KOMMENTARER TIL TESTEN

Denne lille uhøjtidelige test bekræfter de samme forhold, som mange andre har vist.

For det første: Elevernes kognitive udvikling og de krav til begrebstilegnelse, som undervisningen i fysik stiller, passer ikke overens. I det store og hele søger man at indlære formelle strukturer i konkret tænkende elever¹⁰.

For det andet: De begreber, som eleverne lærer i fysikundervisning, kan kun benyttes i situationer, som ligner indlæringsituationen ("typeopgaver", "rene eksamensspørgsmål").

For det tredje: Det er langt færre piger end drenge, som behersker den formelle tænkning og de fysiske begreber, så de kan bruge dem.

Bør disse resultater have konsekvenser? Mange vil mene, at det må da være en selvfølge. Det er det imidlertid ikke i en skole, hvor al forandring sker langsomt, og hvor der absolut ikke er enighed om de forandringer, hensyntagen til ovenstående tre resultater kan medføre.

Der er jo intet egentligt nyt i de tre resultater af denne og andre undersøgelser. Det har været en erfaringssag for fysiklærere igennem mange år. Dertil kommer, at Piaget og Vygotsky skrev deres væsentligste arbejder i 1920'erne og 30'erne.

Ser vi på folkeskolens pensum i dag, så kan man på det begrebmæssige område ikke påstå, at man har lært ret meget af erfaringerne eller af de nu mere alment kendte teorier om begrebsudvikling.

En konsekvens kunne være helt at afskaffe den almen undervisning i så kompliceret, teoritung og formelt et fag som fysik og forbeholde det for en lille udvalgt elite. Resten får jo tilsyneladende alligevel ingenting ud af det. Pigerne går så med i købet på en ganske "naturlig" måde. De kan jo sammen med alle de andre gøre sig gældende på mangfoldige andre områder (set fra denne position).

Dette politiske argument har været fremført jævnligt og mere eller mindre åbenlyst igennem generationer. I det store og hele har der også været handlet i overensstemmelse med dette argument igennem mange år. Det er imidlertid ikke mit ærinde her at diskutere dannelse og uddannelse. Jeg vil blot ud fra nogle teoretiske overvejelser give nogle kommentarer til testen og den bestående fysikundervisning.

Det har været foreslået at sortere eleverne i 1. gymnasieklasse, efter om de var konkrete eller formelle i deres tankemønster¹¹. Undervisningens indhold og metodik skulle så afpasses efter det. En endelig sortering med konsekvenser for den fremtidige uddannelse skulle så foretages senere. Det er af flere grunde et uheldigt forslag.

For det første er det en misforståelse af udviklingsteorien, at et individ enten er konkret eller formelt tænkende. Tankemønstret er ikke alene afhængig af individet, men også af hvilken situation, der er tale om. Et individ kan udmærket tænke konkret i én situation og formelt i en anden. Det afhænger af de muligheder, individet har haft for at udvikle sig inden for det pågældende område, altså af de tidligere erfaringer. Og dermed er vi ved den anden grund til, at man ikke kan sortere elever i konkret og formelt tænkende. Piaget taler ganske vist om udviklingstrin, men dermed menes ikke udviklingsspring efter-

fulgt af statiske tilstande. Der er tale om en kontinuert udvikling, en dynamisk proces. Man kan måske - som med foranstående test - stikke en føler ned i et og andet område for at se, hvor den enkelte er i denne proces; men at bruge det som kriterium for en sortering er en helt arbitrær foranstaltning. Ikke mindst vil det helt klart betyde, at pigerne sorteres fra.

Samme reference udtrykker et andet sted, at fysikundervisningen skal medvirke til, at eleverne bliver formelt tænkende individer. Det vil jo netop sige at benytte sig af det dynamiske i udviklingen i en undervisningsmæssig sammenhæng. Men det må så gøres i erkendelse af, at udviklingen er situationsafhængig - at eleverne på et for dem nyt erfaringsområde skal gennemløbe en udvikling.

I sin bog om Piaget udtrykker Ruth Frøyland⁵ det således: "... , når vi står over for nye opgaver, nye materialer, manipulerer (vi) dem mere eller mindre planløst, til vi kjenner dem, og kan behandle dem på en formålstjenlig måde". Det er jo nok det, vi netop ikke giver eleverne lejlighed til i fysikundervisningen. De i forbindelse med teoriundervisningen nødvendige konkrete erfaringer tages for givne. Man kan evt. henvise til nogle situationer fra dagligdagen, men det rækker ikke.

Et formelt mønster udvikles på grundlag af konkrete erfaringer. Det konkrete mønster går forud for det formelle og kan ikke springes over, om man vil behandle situationen på en formålstjenlig måde. Der, hvor erfaringen mangler, hvor det konkrete mønster springes over, har eleven kun en udvej: At lære udenad uden at forstå.

Hvor i en time i "fysiske øvelser" får eleverne mulighed for at manipulere nye materialer mere eller mindre planløst, til de kender dem og kan behandle dem på en formålstjenlig måde? Hele øvelsen går jo netop ud på at følge en plan en øvelsesvejledning og se at blive færdig på 45 minutter. Derefter skrives en rapport efter en given plan: Formål, materialer, udførsel, data osv. og fejlkilder.

Netop fejlkilder kræver jo nogen forståelse for, hvad der egentlig foregår. Så bliver det i reglen svært, fordi der kræves kendskab til et eksperimentelt forløb med variablekontrol o.lign., og det tilhører et formelt tankemønster. Men eleven har ikke fået lejlighed til at tilegne sig det konkrete grundlag for en sådan tænkning ved selvstændigt arbejde. Eleven manipulerer "bevidstløs" med mere eller mindre ukendte materialer efter en vejledning - en plan, en anden har lavet. Ydermere kan øvelsen tage et teoretisk udgangspunkt, som heller ikke er forstået.

Af en eller anden grund er disse forhold altså særlig belastende for pigerne. Åbenbart er de særlig forfordelt med hensyn til erfaringsbaggrund, er særlig hurtige til at føle sig utilstrækkelige og griber til udenadslæren og teknikker fremfor forsøg på at forstå.

Skal fysikundervisningen udvikle elevernes formelle tankemønster på en række relevante områder, så må undervisningen hver gang, der er tale om et nyt fænomenfelt tage sit udgangspunkt i elevernes erfaringer. Eleverne må klart indse det utilstrækkelige i deres egne forvidenskabelige begreber og få en mere fysisk repræsentationsform. Ser man henover mangfoldigheden af repræsentationsformer, som denne test

f.eks. afslører, så forekommer opgaven næsten uoverkommelig i en normal traditionel klassesituation. Udviklingen er jo individuel og må gøres selvstændigt af den enkelte. Læreren må altså forsøge at tilrettelægge undervisningen, så selvstændigheden kan komme til udfoldelse.

Specielt er der i de eksperimentelle situationer en enestående lejlighed til at udvikle begreber og tankemønstre, forudsat eleven får lov til at få de nødvendige erfaringer og får lov til også at manipulere tilsyneladende planløst, thi: "Vi forblir altid barn i forhold til nye og ukjente opgaver".

Eleven må selv planlægge, selv udføre osv. og bruge den nødvendige tid til det. Der findes næppe nogen genvej, hvis ønsket er en repræsentationsform, som bevirker, at eleven kan bruge sin viden og sine begreber i nye situationer.

Der har altid i skolen været en tro på, at veldefinerede begreber og begrebssammenhænge kan sikre en generel begrebstilegnelse¹². En enkelt sætning formuleret på baggrund af stor faglig viden og overblik må kunne erstatte erfaringer. At en eller anden form for viden kan tilegnes på denne måde, er der ingen tvivl om, men repræsentationsformen af denne viden er blot en helt anden end den i reglen forventede. Man bør f.eks. ikke undre sig over, at en sådan viden ikke kan bruges i f.eks. dagligdags problemløsningsituationer. Newtons 2. lov har noget med kraftbegrebet at gøre, det er uomtvisteligt. Det er imidlertid helt klart, at en nok så "god" behandling af Newtons 2. lov ved hjælp af rulle-skøjtevogne, timere, luftpudebænke osv., ikke medfører, at eleverne kan løse en opgave som nr. 6 i testen. Den medfører imidlertid, at de i en evt.

overhøring, eksamen el.lign. kan gennemgå Newtons 2. lov ved hjælp af rulleskøjtevogne, timere, luftpudebænke osv. Det egentlig begrebsudviklende, alle eksemplerne, dvs. alle de måder et begreb kan være repræsenteret på i hverdagen (og også i fysiklokalet) dem nævnes der måske nogle få af til introduktion.

Alle de dagligdags situationer, som i forskellige tests bruges for at se, om eleverne "kan" kraftbegrebet, f.eks. en bold der kastes lodret op i luften, en sten der kastes i en kasteparabel, en motorcykel i et sving osv. osv., burde have været en væsentlig del af undervisningen. Det er dem og beskrivelsen af dem som udvikler kraftbegrebet. De danner netop sammen med eksperimenter, opgaver og problemer grundlaget for den generelle begrebsrepræsentation i eleverne.

Samtidig er alle disse konkrete erfaringer forudsætningen for at formalisere et begreb eller en teori (f.eks. på matematisk form). Newtons 2. lov har ingen mening for elever, som endnu er bundet i det konkrete tankemønster og for elever, som ikke har kraftbegrebet og accelerationsbegrebet rimeligt generelt repræsenteret. Uden denne repræsentationsform bliver det blot en formel øvelse, som evt. kan gentages men ikke bruges til noget som helst andet. Men man kan bestå en eksamen, og det kan da være en helt legal begrundelse for at lære Newtons 2. lov. Man skal blot være klar over det og ikke undre sig over, at lærdommen ikke kan bruges til noget andet.

Tager man ydermere i betragtning, hvilket sindrigt og specielt apparatur, der tages i brug, er der måske intet mærkeligt i, at kritiske røster siger, at

fysikundervisningen intet har med elevernes dagligdag at gøre. Der er måske heller ikke noget mærkeligt i, at så mange specielt piger "står af".

Det ser ud til, at de problemer, der er med hensyn til udvikling af tankemønstre og repræsentationsform af fysiske begreber, er større for pigernes vedkommende. En gennemgribende ændring af dette forhold er en erkendt nødvendighed.

De grunde, der kan være til denne forskel, har sikkert kun i nogen grad noget med fysikundervisningen at gøre.

Der er imidlertid ingen tvivl om, at fysikundervisningen accentuerer og uddyber disse forskelle. Derfor kan fysikundervisningen også bidrage til ændringer. Specielt med henblik på problemerne vedrørende den kognitive udvikling og fysikundervisningen gælder de foranstående betragtninger i forstærket grad. Det er en nødvendighed for pigerne og for drengene, at fysikundervisningen tilrettelægges, så eleverne får mulighed for at udvikle det konkrete tankemønster før det formelle. De konkrete eksempler - de mange små oplevelser med nye materialer og det eksperimenterende må ikke springes over. Ganske særligt nødvendigt er dette for pigerne, som på dette område har et ganske særligt behov. Uden i øvrigt at komme ind på grunde herfor, så kan man blot tænke på forskellen i behov for planløst at manipulere nye materialer, til eleverne er fortrolige med dem. I mange af situationerne i fysikundervisningen skal netop pigerne "opføre sig som børn", fordi det er nye situationer for dem. Drengene fik ofte lov til det dengang, de var børn.

AFSLUTNING

Testen var oprindelig tænkt som en lille diagnostisk foranstaltning til eget brug i begyndelsen af 1. gymnasieklasse på den matematiske linie. Takket være interesserede lærere og elever fik testningen et større omfang. Ved en nærmere betragtning af resultaterne fandt jeg det rimeligt med denne mere omfattende redegørelse, som jeg håber kan være til nytte for andre undervisere specielt i fysik.

Testen kan bl.a. give anledning til nye undersøgelser. Det vil således være vigtigt at få et nærmere kendskab til udviklingsforløbet i elevernes tankemønstre på en række relevante områder. Hvilke ændringer i tankemønstre sker der igennem et helt skoleforløb eller større eller mindre dele af det. Det kan der være en undersøgelse af en aldersfordelt elevgruppe eller - mere vanskeligt - en elevgruppe, som følges i en årrække. Som den tidligere refererede undersøgelse af skoleelevers forståelse af proportionalitet og variabelkontrol i 7 lande viser, kan man ikke uden videre overføre resultater fra et land til et andet. Resultaterne er bl.a. afhængig af skolesystemet. En sådan undersøgelse vil specielt have betydning for en nærmere udforskning af forskellen mellem drenge og piger i fysikundervisningen. Det kunne måske give et fingerpeg om eller ligefrem kortlægge, på hvilke områder og hvornår disse forskelle opstår. Derved vil skolens muligheder for at modvirke forskellene kunne forbedres.

Resultater af sådanne undersøgelser vil ligeledes kunne føre til et bedre grundlag for læreren med henblik på tilrettelæggelse af fysikundervisningen, både hvad angår indhold og metodik.

Som det fremgår af mine kommentarer, mener jeg, at man ud fra den traditionelle undervisning ikke kan forvente, at eleverne kommer til at beherske begreber og tankemønstre, så de kan bruges mere generelt. Dette må indtil videre i nogen grad fremstå som en påstand fra min side; men jeg håber i et senere skrift også teoretisk at kunne redegøre nærmere for disse synspunkter.

Her er kommentarerne imidlertid fremsat forat bidrage til en debat om undervisningen i fysik. Der er alt for lidt opmærksomhed om det forhold, at de muligheder, eleverne får for at tilegne sig viden i indlæringsituationen, bestemmer, hvilken repræsentationsform denne viden får i eleverne, dvs. hvordan de kan bruge den. I debatten hæfter man sig énsidigt ved, hvad de "kan" og ser bort fra, at deres viden (eller mangel på samme) er et produkt af et system. Denne debat spænder imidlertid over langt mere end blot en sammenhæng mellem indlæringsproces og repræsentationsformer. Det omfatter i høj grad også debatten om, hvilke dannelses- og uddannelsesformål systemet tjener og skal tjene.

REFERENCER

1. Opgave 1 er fra opgavesamlingen: Christopher P. Jargocki: "Paradoxes and Fallacies", Charles Scribner's Sons, N.Y. 1976
Ideeerne til opgave 2 til 5 er fra Bjørn Andersons undersøgelse i 1973 (Andersen, 1973) og opgave 6 er fra en undersøgelse af Watts og Zylbersztain (Watts, 1981).
2. En redegørelse for forskningen på dette område med omfattende litteraturhenvisninger er givet i en artikel af Rosalind Driver og Gåalen Erickson. Se også omtalen under reference 9. (Driver, 1983). Samme forskning er der også redegjort for i en mere kritisk erkendelsesmæssig sammenhæng i en artikel af John K. Gilbert og D. Michael Watts. Denne artikel indeholder bl.a. en gennemgang af opfattelsen af de enkelte naturvidenskabelige begreber i undersøgelserne. (Gilbert 1983). En undersøgelse af danske studerende og skoleelever er gennemført af Henry Nielsen og Poul Thomsen ved Århus universitet. (Nielsen 1982 og 1983). I Sverige er der gennemført undersøgelser af Bjørn Anderson (Anderson 1979-81), og i Norge af Svein Sjøberg (Sjøberg, 1977 og 1979).
3. I Vygotsky's værk "Tænkning og Sprog" er det især kapitel 6 i bind II, som er af interesse for undervisere i naturvidenskab. Det omtalte værk indeholder også en diskussion af forholdet mellem Vygotsky's og Piaget's forskning og teorier. (Vygotsky 1974).
4. Hovedværket om Peagets undersøgelser og teorier er Flavells bog: "The Developmental Psychology of Jean Peaget" (Flavell 1973). Af speciel interesse for Piagets teori om den kognitive udvikling er B. Inhelder og J. Peagets bog: "The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence". En dansk bearbejdning af en del af Piagets arbejde, som har særlig interesse her, er foretaget af Ole Meyer, Finn Søholm og Hans Vejleskov: "Barnets opfattelse af årsag og virkning" (Meyer 1971).

5. Ruth Frøyland Nielsens lille bog "Jean Piaget" redegør for Piagets bidrag til personlighedspsykologien, men bl.a. på grund af hendes personlige kendskab til Piaget kaster den lys over nogle ikke sjældent misforståede sider af Piagets teori. Citatet her er taget direkte fra bogen. Aldersangivelsen er som altid problematisk og skal ikke diskuteres her.
6. Specielt vedrørende udvikling af begreber og tænkning i forbindelse med undervisning i naturvidenskab har Michael Shayer og Philip Adey skrevet "Towards a Science of Science Teaching" (Shayer 1981). Begrebet tankemønstre har jeg overtaget fra Robert Karplus, der i forskellige sammenhænge har beskrevet den intellektuelle udvikling med henblik på fysikundervisning (Karplus 1977 og 1980).
En udmærket oversigt over intellektuel udvikling set i relation til udvikling af naturvidenskabelige begreber er givet af Kenneth Lovell i artiklen: "Intellectual Growth and Understanding Science" (Lovell 1974).
7. En af de sidste undersøgelser er af McClosky: "Intuitive Physics" (McClosky 1983). Desuden er der den tidligere refererede undersøgelse af Watts og Zylbersztain, som indeholdt opgave 6 (Watts 1981).
8. Undersøgelsen blev foretaget i 7 lande af Robert og Elisabeth Karplus assisteret af lokale forskere i nogle af landene. Den fuldstændige rapport: "Proportional Reasoning And Control of Variables In Seven Countries" findes i "Cognitive Process Instruction" (Karplus 1979). En mindre bearbejdet udgave af rapporten udkom på dansk i bladet "Skolepsykologi" (Karplus 1979).
9. En bred sammenfatning af forskningen inden for udvikling af naturvidenskabelige begreber blandt de ældste elever er foretaget af Rosalind Driver og Jack Easley: "Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students" (Driver 1978).

I den under reference 2 nævnte artikkel af Rosalind Driver og Gaalen Erickson er der gjort et forsøg på at indfange problematikken teoretisk under henvisning til, at de mange undersøgelser om misforståelser, fejlfortolkninger, dagligdags begreber osv. tilsyneladende foregår på et i bedste fald ubevidst teoretisk grundlag (Driver 1983). I Tyskland har Walter Jung, Hartmut Wiesner og Peter Engelhardt undersøgt elevers forestillinger om begreber i mekanikken og givet en meget grundig redegørelse for deres forskning. I samme arbejde er der også givet en kritik af den sædvanlige undervisning i kraftbegrebet, og der leveres et ændringsforslag (Jung 1981). Forslag til ændring af metodik er der også refereret i den under reference 2 nævnte artikkel af John K. Gilbert og D. Michael Watts (Watts 1983).

10. En analyse af naturvidenskabelige begreber i forhold til Piagets teori om udviklingstrin er foretaget af Michael Shayer. I sit arbejde har han således klart påvist det misforhold, der er mellem elevernes intellektuelle udvikling ifølge Piaget og de forventninger og krav, man stiller i skolen (Shayer 1972, 1978 og 1981). Svein Sjøberg har i sin afhandling: "Abstraksjonsnivået i naturfagundervisningen i norske skoler sett i lys av moderne læringspsykologi" undersøgt det samme misforhold (Sjøberg 1977). Se også "Naturfag i søkelyset" (Sjøberg 1979). Ekna-rapporterne i Sverige har ligeledes denne problematik som udgangspunkt (Anderson 1979-81).
11. Poul Jespersgård foreslår i en artikkel i LMFK-bladet en deling af eleverne, som har det formål at bringe så mange elever som muligt op på et formelt niveau. Dem, som det ikke lykkes for i første omgang, skal man så forsyne med en konkret baseret viden (tildels udenadslært) og i øvrigt fraråde at studere fag, der implicerer beskæftigelse med naturvidenskab på formelt niveau (Jespersgård 1981).
12. At definitionstrangen kan tage overhånd, så det bliver til nonsens, har Fritz Langensiepen behandlet i en artikkel (Langensiepen 1981).

LITTERATURLISTE

Andersson, Björn:

Några enkla experiment som belyser skolbarnens inträde i det formelle operationsstadiet. Kognitiv Impuls. Göteborg 1973

Andersson, Björn, et al.:

Ekna rapport no. 1-8. Göteborgs Universitet, Göteborg 1979-81

Driver, R., Easley, J.:

Pupils and Paradigms: A Review of Literature Related to Concept Development in Adolescent Science Students. Studies in Science Education, 5 (1978) 61-84

Driver, Rosalind og Erickson, Gaalen:

Theories-in-Action: Some Theoretical and Emperical Issues in the Study of Students' Conceptual Frameworks in Science. Studies in Science Education 10 (1983) 37-60

Flavell, John H.:

The Developmental Psychology of Jean Piaget. Van Nostrand, New York. 1973

Gilbert, John K. og Watts, D. Michael:

Concepts, Misconceptions and Alternative Conceptions: Changing Perspectives in Science Education. Studies in Science Education 10 (1983) 61-98

Inhelder, B. and Piaget, J.:

The Growth of Logical Thinking from Childhood to Adolescence. Routledge and Kegan, London 1958

Jespersgård, P.:

Fysikundervisningens fremtid i gymnasiet. LMFK-bladet, nr. 3, marts 1981

Jung, W., Wiesner, H., Engelhardt, P.:

Vorstellungen von Schülern über Begriffe der Newtonschen Mechanik. Texte zur mathematisch-naturwissenschaftlich-technischen Forschung und Lehre, Band 8. Verlag Barbara Franzbecker, 1981

Karplus, R. et al. (A Workshop):

Science Teaching and the Development of Reasoning. Lawrence Hall of Science, University of California, Berkeley, California 94720, 1977

Karplus, R., Karplus, E., Farmisano, M., Paulsen, A.:

Proportional Reasoning And Control of Variables In Seven Countries

Trykt i:

Lockhead, J. And Clement, J. (edit.):

Cognitive Process Instruction. The Franklin Institute Press. Philadelphia, Pennsylvania, 1979

oversat og bearbejdet af A. Paulsen:

Forståelse af proportionalitet og variabelkontrol blandt skoleelever i syv lande. Skolepsykologi nr. 5, 16 (1979) 389-428

Karplus, R.:

Denkmuster. Piaget und Physikdidaktik. Physica didactica, 7, (1980), 5-16

Langensiepen, F.:

Nonsens-Definitionen als Kritik an einem üblichen Definitionsverfahren für die Festlegung von Grundgrößen. Praxis der Naturwissenschaften, Heft 2, 33-40, 30 (1981)

Lovell, K.:

Intellectual Growth and Understanding Science. Studies in Science Education 1 (1974) 1-19

McCloskey:

Intuitive Physics. Scientific America 248 (4), 1983

Meyer, Ole, Søholm, Finn og Vejleskov, Hans:

Barnets opfattelse af årsag og virkning. Tekster fra Jean Piagets værker IV. Munksgaard/Reitzel, København, 1971

Nielsen, H. og Thomsen, P. V.:

Fart og kraft. Det fysiske Institut, Århus universitet, 1982

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

Nielsen, Ruth Frøyland:

Jean Piaget. Forum. Oslo 1979

Shayer, M.:

Conceptuel Demands in the Nuffield "O"-Level Physics Course. School Science Review, 54, 26-34 (1972)

Shayer, M.:

The Analysis of Science Curricula for Piagetian Level of Demand. Studies in Science Education, 5 (1978), 115-130 (1978)

Shayer, Michael and Adey, Philip:

Towards Science of Science Teaching. Cognitive Development and Curriculum Demand. Heinemann Educational Books, London 1981

Sjøberg, Svein E.:

Abstraksjonsnivået i naturfagundervisningen i norske skoler sett i lys av moderne læringspsykologi. Guldmedaljeafhandling, Svein E. Sjøberg, Oslo Universitet, 1979

Sjøberg, S.:

Naturfag i Søkelyset. Tanum-Norli, Oslo 1979

Vygotsky, L.S.:

Tænkning og sprog. I + II. Hans Reitzel, København 1974

Watts, D.M., Zylbersztain, A.:

A Survey of Some Children's Ideas About Force. Physics Education, 16 (1981), 360-365

