

# Kennis en het oplossen van natuurkundige problemen\*

## Enkele aandachtspunten voor de onderwijspraktijk

M. VANDERLOCHT en J. VAN DAMME  
*Katholieke Universiteit Leuven*  
*Afdeling Didactiek*

### Samenvatting

*Het uitgangspunt van dit artikel is de overtuiging dat prestaties bij het oplossen van natuurkundige problemen in belangrijke mate bepaald worden door de kwaliteit van het kennisbestand waarover de oplosser beschikt. Er komen vier thema's aan bod die, meer dan in het onderwijs veelal gebruikelijk is, aandacht verdienen als men studenten een adequaat kennisbestand wil bijbrengen. Deze thema's zijn: operationele kennis, selectiekennis, differentiatie tussen verwante concepten en intuïtieve vooropvattingen. Voor elk thema bespreken we eerst de betekenis en de relevantie. Vervolgens komen de resultaten van constaterend en construerend onderzoek aan bod.*

### 1 Inleiding

Uit een vorig literatuuroverzicht (Vanderlocht & Van Damme, 1989a) is gebleken dat prestaties bij het oplossen van natuurkundige problemen onder meer bepaald worden door de probleemaanpak die de oplosser volgt. Een oplossingsproces is efficiënter naarmate de oplosser op een systematische wijze te werk gaat. Instructies in probleemaanpak kunnen onder bepaalde voorwaarden leiden tot prestatieverbeteringen. Eén van de voorwaarden is dat de oplosser aan zulke instructies de

nodige vak- en probleemspecifieke kenniselementen moet kunnen koppelen. Naast de probleemaanpak zal dus zeker ook de kwaliteit van het kennisbestand waarover de oplosser beschikt, bepalend zijn voor zijn prestaties.

De bedoeling van deze bijdrage is niet een afgerond theoretisch kader te presenteren i.v.m. kennis en het oplossen van natuurkundige problemen. Onze benadering is eerder pragmatisch. We bespreken vier thema's die, meer dan in het onderwijs veelal gebruikelijk is, aandacht verdienen als men studenten een adequaat kennisbestand wil bijbrengen. Deze thema's zijn: operationele kennis, selectiekennis, differentiatie tussen verwante concepten en intuïtieve vooropvattingen. De bespreking van elk thema bevat drie delen. Vooreerst lichten we de betekenis en de relevantie van het thema toe. Vervolgens bespreken we de resultaten van constaterend en construerend onderzoek ter zake. We beogen hierbij geen exhaustief overzicht van de onderzoeksliteratuur. Het is de bedoeling telkens enkele studies aan te halen die het belang van het betreffende thema onderstrepen.

De thema's en de studies zijn geselecteerd in functie van het vak natuurkunde. Nochtans zijn we van mening dat de behandelde thema's in zekere mate ook relevant zijn voor het oplossen van problemen in andere vakgebieden zoals bijvoorbeeld wiskunde, statistiek en scheikunde. We zullen overigens af en toe verwijzen naar onderzoek dat betrekking heeft op één van die domeinen.

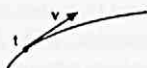
### 2 Operationele kennis van concepten en principes

#### 2.1 Betekenis en relevantie

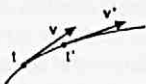
Om natuurkundige problemen op te lossen moet een student niet alleen de betekenis kennen van een hele reeks concepten en principes, hij moet deze tevens kunnen toepassen in uiteenlopende situaties. Verschillende auteurs (Anderson, 1982; De Jong & Ferguson-Hessler, 1982) maken in dit verband een onderscheid tussen declaratieve of beschrijven-

\* De literatuurstudie gebeurde in het kader van het ISSAD-project aan het Onderzoekscentrum voor Secundair en Hoger Onderwijs van de Afdeling Didactiek. Het ISSAD-project is een interuniversitair F.K.F.O.-project op initiatief van de Minister van Onderwijs.

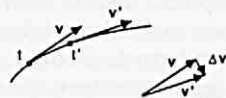
- (1) Original velocity ( $v$ )  
Draw the vector  $v$  at the time of interest



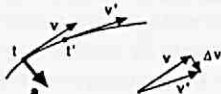
- (2) New velocity ( $v'$ )  
Draw the vector  $v'$  at a slightly later time



- (3) Change of velocity ( $\Delta v$ )  
Draw a separate vector diagram so that the arrow tails of  $v$  and  $v'$  coincide. Construct the vector  $\Delta v$  which is the vector drawn from the head of the original velocity  $v$  to the head of the new velocity  $v'$ .



- (4) Acceleration ( $a$ )  
Divide the vector  $\Delta v$  by  $\Delta t$  to obtain a new vector  $\Delta v/\Delta t$  having the same direction as  $\Delta v$  (but different magnitude and units). If the time interval  $\Delta t$  is sufficiently small, this vector is the acceleration  $a$ .  
Draw the vector  $a$  at the time of interest.



Figuur 1 Operationele definitie van het concept versnelling (Labudde, Reif & Quinn, 1988, p. 83)

de kennis en operationele of procedurele kennis. Reif (1985, 1987) maakt een analogo onderscheid tussen een declaratieve en een operationele definitie van een wetenschappelijk concept of principe. In een declaratieve definitie wordt de betekenis van het wetenschappelijk concept of principe verduidelijkt. Een declaratieve definitie van het concept versnelling is  $a = dv/dt$ . Het toepassen van de grootte versnelling in concrete situaties impliceert echter een aantal operaties die in zulke declaratieve definitie niet geëxpliciteerd worden. Dit gebeurt wel in een operationele definitie. Een operationele definitie van het concept versnelling volgens Labudde, Reif en Quinn (1988, p. 83) is weergegeven in Figuur 1.

Volgens deze auteurs wordt in het natuurkundeonderwijs nogal eens nagelaten zulke operationele kenniselementen te expliciteren. Ook Eylon en Linn (1988, p. 278) delen deze mening: "Students must have a repertoire of these specific procedures if they are to acquire in-depth understanding of a science topic. Instructors rarely help students develop such a repertoire."

## 2.2 Constaterend onderzoek

Dat studenten moeilijkheden hebben met het toepassen van het concept versnelling blijkt

onder meer uit de resultaten op de voormeting in een construerend onderzoek van Labudde et al. (1988). Aan het onderzoek werd deelgenomen door zes eerstejaars universiteitsstudenten die een inleidende cursus natuurkunde volgden. In de voormeting werden vijf bewegingssituaties voorgelegd (o.a. een rechtlijnige beweging met ogenblikkelijke snelheid nul en een kromlijnige beweging met constante snelheid). De studenten dienden telkens aan te geven of de versnelling al dan niet nul was en moesten tevens de richting van de versnelling met een pijl aanduiden. Tweeëntwintig van de 30 antwoorden over de grootte en 12 van de 30 antwoorden over de richting waren correct. Slechts 40% van de antwoorden waren correct zowel wat grootte als richting betreft. Typische fouten zijn de opvattingen dat de versnelling nul is bij een cirkelvormige beweging met constante snelheid en bij een trillende veer op het laagste punt. Op basis van de uitspraken van de studenten tijdens het oplossingsproces werd een inventaris gemaakt van de inductieregels die zij vermeldden of toepasten. In totaal werd 21 keer een correcte inductieregel vastgesteld. Een correcte inductieregel is bijvoorbeeld: als de snelheid afneemt of toeneemt is de versnelling verschillend van nul. Drieëndertig keer werd een foutieve inductieregel vastgesteld. Een voorbeeld van een fou-

tieve inductieregel is: als de grootte van de snelheid constant is, is de versnelling nul.

Ferguson-Hessler en De Jong (1987) lieten een groep eerstejaarsstudenten van een Technische Universiteit een tekst over een natuurkundig onderwerp hardop denkend bestuderen. Ze stelden vast dat 'zwakke studenten' zich bij de studie vooral concentreerden op de declaratieve kennis terwijl 'goede studenten' ook aandacht hadden voor de operationele kennis die in de tekst aan bod kwam.

Een onderzoek van Linn, Sloane en Clancy (1987) heeft betrekking op het leren programmeren in Pascal. Zij onderzochten op een steekproef van 14 klassen het verband tussen enkele kenmerken van het gegeven onderwijs en de bereikte programmeervaardigheid van de studenten. Er werd o.m. vastgesteld dat de bereikte programmeervaardigheid beter was in klassen waar bepaalde procedures voor het ontwerpen, implementeren, testen en 'debuggen' van programma's expliciet onderwezen werden.

### 2.3 *Construerend onderzoek*

In deze paragraaf gaan we verder in op het construerend onderzoek van Labudde et al. (1988). De resultaten op de voormeting in dit onderzoek werden hiervoor besproken. Een aansluitende experimentele sessie had tot doelstelling de studenten een adequate en coherente operationele kennis van de grootte versnelling bij te brengen. Hierbij werd gebruik gemaakt van de operationele definitie die in Figuur 1 weergegeven is. In een eerste fase werd deze operationele definitie stap voor stap toegelicht, geïllustreerd en ingeëfend op enkele voorbeelden. In een tweede fase werd de operationele definitie gebruikt bij het evalueren van eigen en andermans antwoorden. Elke student werd geconfronteerd met zijn eigen antwoorden op de voormeting en gevraagd deze te evalueren door toepassing van de operationele definitie. Indien het antwoord op een vraag uit de voormeting foutief bleek te zijn, diende de student tevens een verklaring te zoeken voor zijn fout. Vervolgens werden twee probleemsituaties en de antwoorden erop van een 'hypothetische oplosser' voorgelegd. Aan de studenten werd gevraagd deze antwoorden te evalueren, er een mogelijke verklaring voor te zoeken en ten slotte zelf het goede antwoord te geven. De studenten slaagden er vlot in om de operatio-

nele definitie toe te passen in deze leertaken. Vijftien van de 18 eigen fouten en 34 van de 36 aangeboden hypothetische antwoorden werden adequaat geëvalueerd en verklaard. Tachtig procent van de foute inductieregels die in de voormeting werden vastgesteld, werden bij het oplossen van deze taken expliciet gecorrigeerd door de studenten.

In de nameting werden dezelfde vijf bewegingsvormen als in de voormeting gebruikt; ze werden echter wel ingekaderd in andere probleemsituaties. Een eerste vaststelling is dat de studenten tijdens de nameting vrij frequent 'spontaan' de operationele definitie gebruikten. In 18 van de 30 oplossingen werd de operationele definitie direct toegepast en in vier van de 30 oplossingen werd de operationele definitie gebruikt om een eerder gegeven antwoord te controleren. De studenten bleken in de nameting bovendien beduidend beter te presteren dan in de voormeting. Het aantal vragen dat zowel wat grootte als wat richting betreft correct werd opgelost, steeg van 40% naar 95%. Tijdens het oplossen van de opgaven werden bijna geen foute inductieregels vermeld.

## 3 *Selectiekennis*

### 3.1 *Betekenis en relevantie*

Wanneer aan een student een natuurkundig probleem voorgelegd wordt, dan zal hij op basis van kenmerken van de probleemsituatie dienen uit te maken met behulp van welke wet of formule hij het probleem gaat oplossen. Dit selectieproces zal efficiënter verlopen als de student voor elk van de beschikbare wetten en formules een beeld heeft van de kenmerken die in de probleemsituatie aanwezig moeten zijn opdat de betreffende wet of formule bruikbaar zou zijn. Hij dient m.a.w. een inzicht te hebben in de toepassingsmogelijkheden van verschillende wetten en formules. De Jong en Ferguson-Hessler (1982) geven hiervan een mooi voorbeeld uit het vakgebied 'Electriciteit & Magnetisme'. In dit vakgebied moet vaak met 'de wet van Gauss' gewerkt worden. Deze wet heeft twee vormen, één voor homogene en één voor niet-homogene velden. Het kenmerk homogeen of niet-homogeen zal dus bepalend zijn voor de te selecteren vorm van de wet.

Studenten dienen niet alleen inzicht te heb-

ben in de toepassingsmogelijkheden van wetten en formules; zij dienen tevens de toepassingsbeperkingen ervan te kennen. Vele natuurkundige wetten en formules kunnen slechts onder welbepaalde voorwaarden afgeleid of vastgesteld worden. Ze mogen bijgevolg ook enkel toegepast worden in situaties die voldoen aan deze voorwaarden. Zo kan bij een projectielbeweging de reikwijdte, d.w.z. de horizontale afstand tussen het vertrekpunt en de plaats waar het projectiel op de grond terecht komt, berekend worden met de formule  $R = v(0)^2 \cdot \sin 2\theta(0)/g$ . Deze formule is echter enkel geldig wanneer de lancerhoogte gelijk is aan de eindhoogte. Ze geldt bijvoorbeeld niet wanneer een steen vanaf 1 m hoogte schuin wordt weggegooid en een eind verder op de grond terecht komt.

Omdat kennis van toepassingsmogelijkheden en -beperkingen een belangrijke rol speelt bij de selectie van een wet of formule ter oplossing van een bepaald probleem, kunnen we in navolging van De Jong en Ferguson-Hessler (1982) spreken van selectiekennis.

### 3.2 *Constaterend onderzoek*

Het toepassen van wetten of formules in situaties die niet voldoen aan de toepassingsvoorwaarden is een belangrijke bron van fouten bij het oplossen van natuurkundige problemen. We hebben dit zelf vastgesteld bij een analyse van 152 oplossingen van problemen over de projectielbeweging (Vanderlocht & Van Damme, 1989b). Bij de behandeling van dit leerstofonderdeel in de cursus van de proefgroep werden naast de algemene formules die het bewegingsverloop beschrijven een drietal supplementaire formules afgeleid om op een meer directe manier de reikwijdte (R), de vluchtijd (T) en de maximale hoogte (H) te berekenen. Zoals reeds vermeld, mogen deze formules enkel toegepast worden als de lancerhoogte gelijk is aan de eindhoogte. Slechts één van de zeven opgaven die in het onderzoek werden opgenomen, voldeed aan deze voorwaarde. We stelden vast dat 39 keer een RTH-formule ongeoorloofd werd toegepast. Twintig studenten (13,2%) pasten één of meerdere RTH-formules ongeoorloofd toe.

Het is mogelijk dat een aantal van deze studenten de genoemde toepassingsbeperking van de RTH-formules wel kende maar ze ten gevolge van een impulsieve werkwijze uit het oog verloor. We hadden echter de indruk dat

een groot deel van de studenten de toepassingsbeperking gewoon niet kende. In een vervolgonderzoek hebben we dit getoetst (Vanderlocht, 1989). Aan 27 studenten werd een probleem over de projectielbeweging voorgelegd waarin de lancerhoogte verschilt van de eindhoogte. Aan de studenten werd gevraagd of de formule voor de reikwijdte in deze opgave kon gebruikt worden; ze moesten hun antwoord ook motiveren. Van de 27 studenten gaven er 23 een nee-antwoord en 4 een ja-antwoord. Vijftien studenten (55,5%) gaven in hun verantwoording op één of andere manier aan dat de formule voor de reikwijdte niet mag gebruikt worden omdat de lancerhoogte verschilt van de eindhoogte. Twaalf studenten (45,5%) slaagden er niet in om de relevante toepassingsvoorwaarde van de formule voor de reikwijdte te verwoorden.

Een onderzoek van Allwood en Montgomery (1981) heeft betrekking op het oplossen van statistische problemen. Twintig studenten dienden elk twee statistische problemen op te lossen. In totaal werden 82 fouten geïdentificeerd in de oplossingen. Om na te gaan in welke mate kennistekorten aan de basis liggen van deze fouten dienden de studenten in eerste instantie hun oplossingen uit te leggen en te verantwoorden. In tweede instantie stelden de onderzoekers zelf gerichte kennisvragen in aansluiting bij de geïdentificeerde fouten. Bij 63 van de 82 fouten (77%) bleken de antwoorden van de studenten aanwijsbare kennistekorten te bevatten. Negentien keer werd een tekort in kennis van toepassingsvoorwaarden van statistische formules vastgesteld. Elf keer bleek zulke kennis van toepassingsvoorwaarden te ontbreken en acht keer werden onjuiste toepassingsvoorwaarden vermeld.

Chi, Feltovich en Glaser (1981) legden aan beginners en experts in het oplossen van natuurkundige problemen een reeks opgaven voor met de opdracht deze te sorteren in groepen van gelijksoortige opgaven. De beginnende oplossers bleken zich bij het sorteren te laten leiden door 'oppervlaktekenmerken'. Ze groepeerden opgaven waarin dezelfde objecten, situatiekenmerken of letterlijke termen voorkomen. De experts daarentegen sorteerden de opgaven spontaan volgens het natuurkundige principe waarmee het probleem kan opgelost worden. Gelijkaardige resultaten werden vastgesteld bij het sorteren van wiskundige (Schoenfeld & Herrmann, 1982) en

statistische problemen (Been & Brokken, 1986).

Aan de reeds genoemde proefpersonen legden Chi et al. (1981) tevens enkele natuurkundige problemen voor met de vraag welke 'basic approach' ze zouden volgen bij de oplossing ervan. Uit de hardop denken protocollen bleek onder meer dat de experts in dit selectieproces beroep doen op bepaalde selectiecriteria om uit te maken of een bepaald principe bruikbaar is. De auteurs formuleren het als volgt (Chi et al., 1981, p. 147): "The analysis of features suggests that experts perceive more in a problem statement than do novices. They have a great deal of tacit knowledge that can be used to make derivations from the situation described by the problem statement. Their selection of the 'principle' to apply seems to be guided by this second order, derived knowledge."

Niet alleen experts en beginners, ook goede en zwakke beginnende oplossters blijken verschillend te presteren bij het selecteren van een wet of formule ter oplossing van voorgelegde problemen. Uit onderzoek van De Jong (1986, pp. 131-165) blijkt dat het kunnen selecteren van relevante kenniselementen bij voorgelegde problemen in sterke mate verband houdt met prestaties bij het oplossen van problemen. Eerstejaarsstudenten van een Technische Universiteit kregen een reeks opgaven over Electriciteit en Magnetisme aangeboden en zij dienden aan te geven welke kenniselementen volgens hen bruikbaar zijn voor de oplossing van elke opgave. Goede oplossters bleken duidelijk beter dan zwakke oplossters in staat om aan een probleemsituatie de vereiste kenniselementen te koppelen. De correlatie tussen het tentamencijfer en de hoeveelheid gegeven van toepassing zijnde kenniselementen was 0,77.

### 3.3 *Construerend onderzoek*

We hebben in de literatuur geen construerend onderzoek gevonden dat specifiek gericht is op het expliciteren van toepassingsbeperkingen. We kunnen wel verwijzen naar een onderzoek van Reif, Larkin en Brackett (1976). Zij onderwezen studenten een algemene strategie om natuurkundige formules te verwerken. De studenten werden gestimuleerd om bij de confrontatie met een nieuwe formule een reeks van inzichtbevorderende vragen te doorlopen. Ze dienden onder meer telkens de

toepassingsbeperkingen van de formule te expliciteren en deze te illustreren met concrete probleemsituaties. Deze algemene leerstofverwerkingsstrategie bleek goede resultaten op te leveren. Specifieke resultaten over de selectiekennis en het selectieproces worden echter niet vermeld.

Alexander en Judy (1988) verwijzen naar een onderzoek van Dellarosa (1984) waaruit blijkt dat de selectiekennis van leerlingen kan bevorderd worden door hen gerichte vergelijkingen te doen maken tussen verschillende opgaven. In een eerste experiment dienden verschillende groepen leerlingen een reeks algebraïsche woordproblemen te lezen en ze kregen hierbij de opdracht te antwoorden op voorgelegde vragen. De aard van de vragen was verschillend per groep. Sommige vragen richtten de aandacht vooral op kenmerken van de afzonderlijke opgaven terwijl andere vragen de leerlingen stimuleerden gerichte vergelijkingen te maken tussen de verschillende opgaven. Na het lezen van de opgaven werd aan de leerlingen gevraagd de opgaven te sorteren in groepjes. Men stelde vast dat de leerlingen die door de vragen gestimuleerd werden gerichte vergelijkingen te maken tussen de verschillende opgaven, deze sorteerden op gelijkaardige wijze als experts. In een vervolgonderzoek bleek dat leerlingen na zulke interventie er beter in slaagden om aan een reeks opgaven de gepaste algebraïsche representatie te koppelen.

## 4 *Differentiatie tussen verwante concepten*

### 4.1 *Betekenis en relevantie*

Bouwstenen van de natuurkunde zijn concepten van een bijzondere aard, namelijk grootheden. Een grootheid is een variabele waarmee men op kwantificeerbare wijze een kenmerk van een object of een situatie kan beschrijven. Naast een beperkt aantal basisgrootheden die op onafhankelijke wijze gedefinieerd zijn, worden de meeste grootheden gedefinieerd via een rekenkundige relatie met andere grootheden. Grootheden zoals bijvoorbeeld positie, snelheid en versnelling zijn duidelijk verwant met elkaar maar hebben toch een eigen specifieke betekenis. Een correct begrip en gebruik veronderstellen dan ook dat men zulke verwante grootheden uit el-

kaar kan houden. Onderzoek toont echter aan dat studenten verwante grootheden meermaals met elkaar verwarren.

#### 4.2 *Constaterend onderzoek*

In een onderzoek van Trowbridge en McDermott (1980) dienden studenten het concept 'snelheid' toe te passen bij de beoordeling van reële bewegingssituaties. Hierbij werd gebruik gemaakt van 'snelheidvergelijkingstaken'. In zulke taak ziet de student twee knikers gelijktijdig rollen over parallel opgestelde U-vormige buizen. Aan de studenten wordt gevraagd of de twee knikers ergens dezelfde snelheid hebben. Een behoorlijk aantal studenten antwoordt bij deze taak dat de twee knikers dezelfde snelheid hebben op de momenten dat ze elkaar voorbijsteken. Op die momenten hebben de knikers dezelfde positie, echter niet dezelfde snelheid. De auteurs spreken dan ook van een positie-snelheid verwarring. Om te controleren of deze positie-snelheid verwarring niet grotendeels te wijten was aan de perceptuele dominantie van het voorbijsteken, werd een tweede snelheidvergelijkingstaak afgenomen. In deze taak hebben de knikers op één bepaald moment dezelfde snelheid maar ze steken elkaar niet voorbij. Ook bij deze taak wijzen de antwoorden van verscheidene studenten op een positie-snelheid verwarring. Deze studenten argumenteren dat de knikers nergens dezelfde snelheid hebben omdat ze nergens naast elkaar komen. Bij de aanvang van het vak fysica lag het percentage studenten dat deze taak correct oplost, afhankelijk van de groep, tussen 40 en 70. Na het volgen van het vak natuurkunde lagen de percentages tussen 70 en 90. Bijna alle fouten waren positie-snelheid verwarringen.

In de lijn van dit onderzoek heeft Hewson (1985) een computergestuurde procedure ontwikkeld waarbij studenten dienen te beoordelen wanneer twee op een scherm voortbewegende auto's dezelfde snelheid hebben. Ook met deze procedure stelde Hewson bij verschillende groepen studenten vast dat de positie-snelheid verwarring vrij frequent voorkomt.

Een tweede onderzoek van Trowbridge en McDermott (1981) heeft betrekking op het concept versnelling. Hierbij werd gebruik gemaakt van een analoge proefopstelling als die in het onderzoek van 1980. Deze keer werd

aan de studenten gevraagd of de knikers dezelfde of een verschillende versnelling hebben. Analooq aan de juist vermelde positie-snelheid verwarring kwam bij deze taak een positie-versnelling verwarring te voorschijn. Meerdere studenten antwoorden dat de knikers dezelfde versnelling hebben op de momenten dat ze elkaar voorbijsteken. Andere studenten verwarren dan weer de concepten snelheid en versnelling. Zij stellen dat één van de knikers een grotere versnelling heeft omdat hij de andere knikker nadert en dus sneller rolt.

Zulke gebrekkige conceptdifferentiatie speelt studenten ook parten bij het oplossen van kwantitatieve vraagstukken. Trowbridge en McDermott (1981) legden studenten een vraagstuk voor waarin de versnelling van een knikker die van een helling rolt, moet berekend worden. Na het volgen van het vak natuurkunde losten, afhankelijk van de groep, tussen 18% en 28% van de studenten dit vraagstuk correct op. Het grootste deel van de fouten bestond erin dat men bij het berekenen van de versnelling geen onderscheid maakt tussen enerzijds de gemiddelde snelheid tijdens de afdaling en anderzijds het snelheidsverschil tussen het einde en het begin van de afdaling.

#### 4.3 *Construerend onderzoek*

Reif (1985) pleit ervoor om bij het aanbrengen van een natuurkundige grootheid expliciet aandacht te schenken aan de relatie met en het onderscheid tussen verwante grootheden, zowel op het niveau van de definiëring als met behulp van goed gekozen voorbeeldsituaties.

Deze didactische wenk zien we gerealiseerd bij Rosenquist en McDermott (1987) die een speciale onderwijsmodule voor het leerstofonderdeel kinematica ontwikkelden. Volgens deze auteurs wordt in de meeste natuurkunde-lessen sterk de nadruk gelegd op het algebraïsche formalisme waarmee natuurkundige grootheden en wetten kunnen uitgedrukt worden en wordt er te weinig aandacht besteed aan het verduidelijken van de concepten die aan zulke formalismen ten grondslag liggen. De onderwijsmodule 'kinematica' legt sterk de nadruk op conceptvorming. Een belangrijk onderdeel van de module heeft als doel de eigenheid van en het verschil tussen de verwante kinematische grootheden positie, snelheid en versnelling bij te brengen.

Om het onderscheid tussen de concepten positie en snelheid te verduidelijken worden de snelheidvergelijkingstaken uit het onderzoek van Trowbridge en McDermott (1980) voorgelegd. De bedoeling van een eerste taak, waarbij de twee knikers elkaar voorbijsteken, is bij studenten die de concepten positie en snelheid slechts vaag onderscheiden een typische positie-snelheid beoordelingsfout uit te lokken. Zulke fout vormt het uitgangspunt om studenten uit te leggen en te demonstreren dat objecten dezelfde snelheid kunnen hebben zonder zich zij aan zij te bevinden en dat een object een ander object maar kan voorbijsteken als het een grotere snelheid heeft.

Het onderscheid snelheid-versnelling wordt in twee stappen aangebracht. In een eerste experiment laat men herhaaldelijk een knikker van een helling rollen. Boven de helling is een gemarkeerde band opgesteld waarvan de snelheid instelbaar is. De snelheid van de band wordt gebruikt als vergelijkingsstandaard. De studenten dienen te meten hoelang het duurt alvorens de knikker dezelfde snelheid heeft als de band. De bedoeling van dit experiment is ten eerste de studenten te doen inzien dat snelheid een continu veranderende grootte is met een concreet maatgetal op elk tijdstip. Zo wordt tevens het onderscheid tussen snelheid en snelheidsverschil manifest. Het meten van de tijdspanne die de knikker nodig heeft om de snelheid van de band te bereiken, maakt de studenten bewust van het tijdsinterval waarin een snelheidsverandering plaatsvindt en zo zijn de voorwaarden gecreëerd om het concept versnelling te begrijpen als  $\Delta v/\Delta t$ . Na dit voorbereidend experiment wordt de versnellingvergelijkingstaak voorgelegd. Bij vage conceptdifferentiatie zal deze taak typische beoordelingsfouten uitlokken. In aansluiting bij zulke fouten start de leerkracht een onderwijsleergesprek waarin de noties ogenblikkelijke snelheid, snelheidsverschil, corresponderend tijdsinterval en uiteindelijk versnelling duidelijk worden onderscheiden en geïllustreerd aan de hand van de beoordelingstaak.

De experimentele module bleek duidelijk resultaten op te leveren. Op de snelheidvergelijkingstaken steeg het percentage succesvolle studenten van 60 naar 90 en op de versnellingvergelijkingstaak werd een stijging vastgesteld van 0 naar 40. Bij een andere groep studenten die een meer wiskundig onder-

bouwde cursus natuurkunde volgden, was de stijging veel geringer. Het percentage succesvolle snelheidvergelijkers bleef constant op 60 en het percentage succesvolle versnellingvergelijkers steeg van 20 naar 40.

## 5 *Intuïtieve vooropvattingen*

### 5.1 *Betekenis en relevantie*

Studenten verschijnen niet als een 'tabula rasa' in de natuurkundelessen. Verschillende concepten die in de natuurkunde strikt gedefinieerd zijn, worden ook in de dagelijkse taal gebruikt, zij het met een minder afgelijnde en soms afwijkende betekenis. Neem bijvoorbeeld het concept 'arbeid'. Iedereen weet dat het heel wat moeite kost om een zwaar voorwerp op een zekere hoogte vast te houden. Natuurkundigen beweren nochtans dat de kracht die deze persoon uitoefent op het voorwerp geen 'arbeid' levert. Verder blijken studenten reeds voor het volgen van onderwijs in de natuurkunde bepaalde intuïtieve opvattingen te hanteren om natuurkundige verschijnselen te verklaren. Lijnse (1982) maakt in dit verband een onderscheid tussen een 'straatbeeld' en een 'schoolbeeld' van natuurkundige fenomenen. Met de term straatbeeld verwijst Lijnse naar zulke intuïtieve vooropvattingen. Een straatbeeld is volgens Lijnse sterk geworteld in directe ervaringen, bestaat uit vage begrippen en onduidelijke relaties, bevat soms logische inconsistenties, is het resultaat van een individuele momentane zingeving en heeft een intuïtief karakter. Met de term schoolbeeld verwijst Lijnse naar de wetenschappelijke beschrijving en verklaring van natuurkundige fenomenen zoals die voorkomen in handboeken en op school onderwezen worden. Dit schoolbeeld is veel minder geworteld in directe ervaringen, bestaat uit scherp afgelijnde begrippen en precieze relaties en is logisch consistent. Verder gaat het om publiek generaliseerde en blijvende kennis die het resultaat is van een expliciete reflectie.

Niettegenstaande intuïtieve vooropvattingen in vele gevallen afwijken van de wetenschappelijke verklaringen, blijken ze ook na het volgen van natuurkunde-onderwijs in sterke mate te persisteren en een diepgaand begrip van de wetenschappelijke verklaringen te bemoeilijken. Deze vaststelling stimuleerde meerdere onderzoekers om onderwijsstrate-

geïen te ontwikkelen waarin ten volle rekening gehouden wordt met de aanwezigheid van intuïtieve vooropvattingen.

### 5.2 *Constaterend onderzoek*

De laatste jaren is reeds heel wat onderzoek verricht naar de vooropvattingen van studenten over de meest uiteenlopende fenomenen die in de verschillende natuurwetenschappen aan bod komen. Pfundt en Duit (1988) geven een bibliografisch overzicht dat liefst 188 bladzijden beslaat. Het is dan ook niet onze bedoeling hier een overzicht te schetsen van dit uitgebreide onderzoeksterrein. We zullen ons beperken tot het beschrijven van enkele vooropvattingen over concepten en fenomenen uit het domein van de mechanica.

De grootheid kracht wordt in de dynamica gebruikt om interacties tussen objecten te beschrijven. In het dagelijks taalgebruik heeft deze term een aantal connotaties die afwijken van de natuurkundige betekenis. Zo doet 'kracht' vooral denken aan een actieve gebeurtenis zoals bijvoorbeeld het opheffen van een voorwerp en wordt het in veel mindere mate geassocieerd met interacties waarbij een beweging wordt tegengewerkt. Minstrell (1982) vroeg aan een groep leerlingen welke krachten inwerken op een boek dat stilligt op tafel. Veertien op 27 leerlingen vermelden enkel een neerwaartse kracht. De kracht van de tafel op het boek, die ervoor zorgt dat het boek niet naar beneden valt, wordt blijkbaar spontaan niet als dusdanig geconcipieerd. Waar kracht als natuurkundig begrip verwijst naar een interactie tussen objecten, wordt het in de dagelijkse taal nogal eens beschouwd als een kenmerk van en in een object. Wanneer bijvoorbeeld een bodybuilder gewichten heft, spreken leerlingen spontaan over de kracht van de bodybuilder en niet van de kracht die de bodybuilder uitoefent op de gewichten (Vegting, 1985).

McCloskey en zijn medewerkers (McCloskey, 1983; Green, McCloskey & Caramazza, 1985) beschrijven een reeks interessante studies over het voorspellen en verklaren van bewegingen. Zo legden zij aan verschillende groepen studenten een reeks opdrachten voor waarbij een voorwerp doorheen een horizontaal gelegen, curvevormige buis voortgestuwd wordt. De vraag luidt telkens welke baan het voorwerp zal volgen als het de buis verlaat. Verscheidene studenten beweren dat het voor-

werp een curvevormig traject zal volgen. Bij studenten die geen cursus natuurkunde volgden, gaf 50% zulk antwoord. Bij studenten die een cursus natuurkunde op high school of college niveau volgden, gaven respectievelijk 33% en 12% van de studenten zulk antwoord. Meerdere studenten gaven als verklaring dat het voorwerp bij het voortstuwen een soort inwendige kracht meekrijgt. Die inwendige kracht zorgt ervoor dat het voorwerp na het verlaten van de buis zijn curvevormige baan verder zet. Volgens de studenten zal deze inwendige kracht geleidelijk afnemen en hierdoor zal ook de curvevorm van de baan geleidelijk verminderen.

Aan een groep van 135 eerstejaars psychologiëstudenten vroeg McCloskey (1983) de baan te tekenen van een metalen bol die vanop een rots horizontaal wordt weggeslagen. Vierenzeventig procent van de studenten tekende een min of meer parabolische baan. Tweëntwintig procent van de studenten tekende een baan waarbij de bol na zekere tijd recht naar beneden valt. Ook hier poneren meerdere studenten dat de bol bij het wegslaan van de rots een soort inwendige kracht meekrijgt die ervoor zorgt dat de bol na het verlaten van de rots nog een tijd horizontaal verder beweegt. Geleidelijk zal deze inwendige kracht 'opgebruikt' geraken, de zwaartekracht krijgt de bovenhand en de bol valt, volgens sommige studenten plots en volgens andere geleidelijk, naar beneden.

Deze typische antwoorden zijn volgens McCloskey uitingen van een achterliggend intuïtief verklaringsschema, door hem impetusopvatting genoemd. Deze impetusopvatting, waarvan meerdere varianten voorkomen, stelt in essentie dat een voorwerp bij het in beweging brengen een zekere inwendige stuwkracht of 'impetus' meekrijgt die tijdens de beweging wordt opgebruikt zodat het voorwerp geleidelijk tot stilstand komt. Deze opvatting wijkt op een belangrijk punt af van Newtons bewegingswetten. In de impetusopvatting worden beweging en kracht geassocieerd terwijl de tweede wet van Newton de grootheden kracht en versnelling associeert.

In dit opzicht vertoont de impetusopvatting duidelijke overeenkomsten met de vaststelling van Clement (1983) dat wij spontaan veronderstellen dat elke beweging de werking van een kracht impliceert. In de bewegingsfenomenen waarmee wij dagelijks ge-



confronteerd worden, spelen wrijvingskrachten een belangrijke rol en in zulke situaties is inderdaad een kracht nodig om een voorwerp in beweging te houden. De opvatting dat elke beweging de werking van een kracht veronderstelt, is dus niet zo verwonderlijk, maar speelt wel een bemoeilijkende rol bij het begrijpen van natuurkundige verklaringen van bewegingssituaties. Clement (1983) vroeg aan een groep ingenieurstudenten welke krachten tijdens de vlucht inwerken op een muntstuk dat verticaal omhoog geworpen wordt als de luchtweerstand buiten beschouwing blijft. Bij de aanvang van het vak natuurkunde gaven 88% van de studenten een fout antwoord. In bijna alle foute antwoorden was naast een neerwaartse pijl ter verwijzing naar de zwaartekracht een opwaartse pijl te vinden. Na het volgen van het vak natuurkunde daalde het percentage foute antwoorden enigszins maar bleef toch verbazend hoog, namelijk 72.

### 5.3 *Construerend onderzoek*

De vaststelling dat intuïtieve vooropvattingen een bemoeilijkende rol spelen bij het begrijpen van concepten en principes, vormde een nieuwe stimulans en invalshoek voor het ontwikkelen van aangepaste onderwijsmethoden voor de natuurkunde en de natuurwetenschappen in het algemeen (Posner, Strike, Hewson & Gertzog, 1982; Nussbaum & Novick, 1982; Hewson & Hewson, 1983; Joshua & Dupin, 1987).

We vatten enkele aanbevelingen samen die vanuit deze hoek naar voren worden geschoven. Een eerste belangrijke voorwaarde om vat te krijgen op intuïtieve vooropvattingen is deze te expliciteren, m.a.w. studenten bewust maken van hun eigen vooropvattingen. Vervolgens kan men de studenten confronteren met empirische gegevens die niet kloppen met hun vooropvattingen en tevens hun eigen opvattingen vergelijken met de wetenschappelijke verklaringen. Op deze wijze kan een 'conceptueel conflict' gecreëerd worden dat een gunstige voedingsbodem is voor een aanpassing van de eigen opvattingen.

Ervaringen van docenten en onderzoeksresultaten bevestigen de waarde van onderwijs waarin wordt uitgegaan van de vooropvattingen die bij studenten aanwezig zijn.

Hewson en Hewson (1983) beschrijven een onderzoek over het onderwijzen van de concepten massa, volume en densiteit. Zij ge-

bruikten een toets waarin 30 uitspraken over de verschijnselen 'drijven en zinken' moeten beoordeeld worden als voor- en nameting in een construerend onderzoek. Een experimentele groep kreeg een reeks lessen waarbij werd uitgegaan van de vastgestelde vooropvattingen om de juiste wetenschappelijke betekenissen van de genoemde concepten te verduidelijken. Een controlegroep kreeg de leerstof aangeboden op de 'traditionele' manier. De experimentele groep presteerde beduidend beter dan de controlegroep op de nameting.

We hebben eerder reeds gewezen op de vaststelling van Minstrell (1982) dat kracht spontaan geassocieerd wordt met een actieve gebeurtenis en in veel mindere mate met het ondersteunen van een object of het tegenwerken van een beweging. Bij de aanvang van een les natuurkunde stelden 13 op 27 leerlingen dat een tafel geen kracht uitoefent op een boek dat stilligt op die tafel. In het vervolg van de les presenteerde Minstrell een reeks andere situaties waarbij het boek in rusttoestand is. Zo werd het boek onder meer op de hand van een leerling gelegd en aan een veer gehangen. De leerlingen dienden telkens aan te geven welke krachten inwerken op het boek en werden gestimuleerd om hun antwoord voor de groep te motiveren. In deze situaties zagen de meeste leerlingen wel in dat er een opwaartse kracht werkzaam is. Aansluitend werd uitvoerig uitgelegd dat het natuurkundige begrip kracht niet enkel slaat op een actieve gebeurtenis zoals stoten of trekken maar ook op situaties zoals het ondersteunen van een object of het tegenwerken van een beweging. Op het einde van de les bleken 25 van de 27 leerlingen ook een opwaartse kracht te vermelden in de situatie waar het boek op een tafel ligt.

Versillende auteurs (Di Sessa, 1982; White, 1984; Brna, 1987; Van 't Hul, Kulik, Lijnse & Snijders Blok, 1987) ontwikkelden softwarepakketten waarin Newtons bewegingswetten gesimuleerd worden. Studenten kunnen door het indrukken van een knop als het ware een kracht uitoefenen op een voorwerp en zo de bewegingstoestand ervan beïnvloeden. De studenten krijgen de opdracht het voorwerp een aantal opgegeven banen te doen volgen. Op deze speelse wijze worden studenten uitdrukkelijk geconfronteerd met hun eigen vooropvattingen en ontdekken ze de juiste betekenis van Newtons bewegingswetten. White (1984) stelde vast dat studenten na

het doorlopen van zulke opgaven beter scoorden op een toets met toepassingen op de wetten van Newton.

Joshua en Dupin (1987) merken op dat het confronteren van studenten met bepaalde feiten die hun vooropvattingen tegenspreken niet altijd volstaat om hun opvattingen te wijzigen. Studenten zijn zeer creatief in het inpassen van bepaalde gegevens in hun eigen opvattingen. De auteurs wijzen op de mogelijkheden van een goed gekozen analogie om een begripsverandering te ondersteunen. In hun onderzoek gebruikten zij met succes een bepaalde 'treinanalogie' om een correct begrip van bepaalde concepten en principes over elektrische schakelingen bij te brengen.

Nussbaum en Novick (1982) wijzen erop dat onderwijs waarbij wordt ingegaan op de vooropvattingen van studenten niet enkel bevorderlijk is voor de begripsvorming maar tevens hun interesse en motivatie voor de lessen sterk stimuleert.

## 6 Conclusies

Tot slot vatten we de geformuleerde aanbevelingen voor het bijbrengen van een adequaat kennisbestand nog even samen.

Ten eerste werd erop gewezen dat voor het oplossen van natuurkundige problemen het niet volstaat enkel de betekenis van concepten en principes te kennen. Het kunnen toepassen van deze concepten en principes in verschillende situaties veronderstelt de kennis van een reeks handelingen die in een declaratieve definitie niet aangegeven worden. Er werd dan ook gepleit voor het expliciteren van operationele kennelementen.

Om de efficiëntie van het selectieproces bij het oplossen van natuurkundige problemen te bevorderen, is het aangewezen studenten te wijzen op de toepassingsmogelijkheden en -beperkingen van wetten en formules.

Ten derde werd ervoor gepleit om bij het onderwijzen van natuurkundige concepten uitdrukkelijk aandacht te schenken aan de relatie en het onderscheid tussen verwante concepten, zowel op het niveau van de definiëring als met behulp van goed gekozen voorbeeldsituaties.

Ten slotte stelden we vast dat intuïtieve vooropvattingen een bemoeilijkende rol kunnen spelen bij het begrijpen van natuurkundi-

ge concepten en principes. Onderzoekresultaten bevestigen de waarde van onderwijs waarin wordt uitgegaan van de vooropvattingen die bij studenten aanwezig zijn.

## Literatuur

- Alexander, P. A. & J. E. Judy, The interaction of domain-specific and strategic knowledge in academic performance. *Review of Educational Research*, 1988, 58, 375-404.
- Allwood, C. M. & H. Montgommery, Knowledge and technique in statistical problem solving. *European Journal of Science Education*, 1981, 4, 431-450.
- Anderson, J. R., Acquisition of cognitive skill. *Psychological Review*, 1982, 89, 369-406.
- Been, P. H. & F. B. Brokken, Kategorisering van statistiekproblemen door beginners en experts. *Tijdschrift voor Onderwijsresearch*, 1986, 11, 23-34.
- Brna, P., Confronting dynamics misconceptions. *Instructional Science*, 1987, 16, 351-379.
- Chi, M. T., H. Feltovich & R. Glaser, Categorisation and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 1981, 5, 121-152.
- Clement, J., A conceptual model discussed by Galileo and used intuitively by physics students. In: D. Getner & L. A. Stevens (Eds.), *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983, 325-340.
- Di Sessa, A., Unlearning Aristotelian Physics: A study of knowledge based learning. *Cognitive Science*, 1982, 6, 37-75.
- Dellarosa, D., *The role of text comprehension processes and analogical reasoning in the development of problem-solving expertise*. Niet gepubliceerd proefschrift. Boulder, University of Colorado, 1984.
- Eylon, B. & M. C. Linn, Learning and instruction: An examination of four research perspectives in science education. *Review of Educational Research*, 1988, 58, 251-301.
- Ferguson-Hessler, M. G. M. & T. de Jong, *Kennisverwerving uit natuurkundige teksten. Een onderzoek naar bestuderingsprocessen van beginnende natuurkundestudenten*. Onderzoekscentrum voor Communicatie en Technische Kennis Overdracht, T.U. Eindhoven, 1987.
- Green, B. F., M. McCloskey & A. Caramazza, The relationship of knowledge to problem solving with examples from kinematics. In: S. F. Chipman, J. W. Segal & R. Glaser (Eds.), *Thinking and learning skills. Vol 2: Current research and open questions*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1985, 127-139.

- Heller, J. & F. Reif, Prescribing effective human problem solving processes: Problem description in physics. *Cognition and Instruction*, 1984, 1, 191-203.
- Hewson, P. W., Diagnosis and remediation of an alternative conception of velocity using a micro-computer program. *American Journal of Physics*, 1985, 53, 684-690.
- Hewson, M. G. & P. W. Hewson, Effect of instruction using students' prior knowledge and conceptual change strategies on science learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 1983, 20, 731-743.
- Hewson, P. W. & M. G. Hewson, The role of conceptual conflict in conceptual change and the design of science instruction. *Instructional Science*, 1984, 13, 1-13.
- Hul, F. van 't, F. Kulik, P. Lijnse & P. Snijders Blok, *De trage inbreker. Een computerspel over krachten en beweging*. R.U. Utrecht, 1987.
- Jong, T. de, *Kennis en het oplossen van vakinhoudelijke problemen* (proefschrift). Helmond: Wibro, 1986.
- Jong, T. de & M. G. M. Ferguson-Hessler, *Voorwaarden voor het succesvol oplossen van problemen*. Technische Hogeschool, Eindhoven, 1982, rapport nr. 30.
- Joshua, S. & J. J. Dupin, Taking into account student conceptions in instructional strategy: An example in physics. *Cognition and Instruction*, 1987, 4, 117-135.
- Labudde, P., F. Reif & L. Quinn, Facilitation of scientific concept learning by interpretation procedures and diagnosis. *International Journal of Science Education*, 1988, 10, 81-98.
- Lijnse, P. L., Schoolbeeld of straatbeeld: Over onderzoek naar begripsmoeilijkheden van leerlingen bij het leren van mechanica. In: Werkgroep Natuurkunde Didactiek, *Zoeklicht op de mechanica. Verslag van de konferentie 'Woudschoten'*. Utrecht, 1982, 57-80.
- Linn, M. C., K. D. Sloane & M. J. Clancy, Ideal and actual outcomes from precollege Pascal Instruction. *Journal of Research in Science Teaching*, 1987, 24, 467-490.
- Minstrell, J., Explaining the 'at rest' condition of an object. *The Physics Teacher*, 1982, 20, 10-14.
- McCloskey, M., Naive theories of motion. In: D. Getner & L. A. Stevens (Eds.), *Mental models*. Hillsdale: Lawrence Erlbaum, 1983, 299-323.
- Nussbaum, J. & S. Novick, Alternative frameworks, conceptual conflict and accommodation: toward a principled teaching strategy. *Instructional Science*, 1982, 11, 183-200.
- Pfundt, H. & R. Duit, *Bibliography: Students' alternative frameworks and science education*. Institute for Science Education, Kiel, 1988. IPN Reports in brief nr. 34.
- Posner, G. J., K. A. Strike, P. W. Hewson & W. A. Gertzog, Accommodation of a scientific conception: Toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 1982, 66, 211-227.
- Rosenquist, M. L. & L. C. McDermott, A conceptual approach to teaching kinematics. *American Journal of Physics*, 1987, 55, 407-415.
- Reif, F., Acquiring an effective understanding of scientific concepts. In: L. T. H. West & A. L. Pines (Eds.), *Cognitive structure and conceptual change*. New York: Academic Press, 1985, 133-151.
- Reif, F., Interpretation of scientific or mathematical concepts: Cognitive Issues and instructional implications. *Cognitive Science*, 1987, 11, 395-416.
- Reif, F., J. H. Larkin & G. C. Brackett, Teaching general learning and problem solving skills. *American Journal of Physics*, 1976, 44, 212-217.
- Schoenfeld, A. H. & D. J. Herrmann, Problem perception and knowledge structure in expert and novice mathematical problem solvers. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 1982, 5, 484-494.
- Schoenfeld, A. H., *Mathematical problem solving*. New York: Academic Press, 1985.
- Trowbridge, D. E. & L. C. McDermott, Investigation of student understanding of the concept of velocity in one dimension. *American Journal of Physics*, 1980, 48, 1020-1028.
- Trowbridge, D. E. & L. C. McDermott, Investigation of student understanding of the concept of acceleration in one dimension. *American Journal of Physics*, 1981, 49, 242-253.
- Vanderlocht, M., *Selectiekennis en het selectieproces bij het oplossen van natuurkundige problemen*. K.U. Leuven, Afdeling Didactiek, ISSAD-project, 1989, voorlopig manuscript.
- Vanderlocht, M. & J. Van Damme, Probleemaanpak en het oplossen van natuurkundige problemen. Een literatuuroverzicht. *Pedagogische Studiën*, 1989a, 66, 97-106.
- Vanderlocht, M. & J. Van Damme, Fouten en knelpunten bij het oplossen van problemen over de projectielbeweging. Een systematische analyse van 152 schriftelijke oplossingen. *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 1989b, 7, 115-137.
- Vegting, P., Voorwetenschappelijke begrippen bij leerlingen wat betreft kracht. In: Werkgroep Natuurkunde Didactiek, *Verslag van de GIREP-conferentie 1984: The many faces of teaching and learning mechanics*. Utrecht, 1985, 10-21.
- White, B. Y., Designing computer games to help physics students understand Newton's laws of motion. *Cognition and Instruction*, 1984, 1, 69-108.

## *Curriculum vitae*

*M. Vanderlocht* (1962) studeerde psychologie, specialisatie schoolpsychologie en studie- en beroepsoriëntering, aan de K.U. Leuven. Sinds 1986 verricht hij in het kader van het ISSAD-project onderzoek naar het leren oplossen van natuurkundige problemen.

*J. Van Damme* (1946) is als hoogleraar verbonden

aan de Afdeling Didactiek van de K.U. Leuven. Hij is er hoofd van het Onderzoekscentrum voor Secundair en Hoger Onderwijs.

*Correspondentieadres:* M. Vanderlocht en J. Van Damme, Pedagogisch Instituut, Vesaliusstraat 2, B-3000 Leuven.

*Manuscript aanvaard 22-8-'89*

## **Summary**

Vanderlocht, M. & J. Van Damme. 'Knowledge and problem solving in physics,' *Pedagogische Studiën*, 1990, 67, 70-81

Students' achievement in problem solving in physics is highly determined by the quality of their knowledge bases. In this article we treat four aspects that are important in teaching an adequate knowledge base in physics. These aspects are: operational knowledge, selection knowledge, differentiation between related concepts and intuitive preconceptions. For each topic we firstly explain the meaning and the relevance. Furthermore, we discuss the results from descriptive and prescriptive research.