

VAKBEGRIPPEN ALS ALTERNATIEF

(verslag woudschotenconferentie natuurkunde1987)

Dr. P. Licht

1. Inleiding

Gedurende de afgelopen tien jaar is het onderwijs in de natuurwetenschappelijke vakken en in het bijzonder de natuurkunde, onderwerp van kritische studie in vele westerse landen. In artikelen en overzichtsstudies wordt melding gemaakt van prestaties van leerlingen en van hun leer- en redeneerproblemen, niet alleen in het voortgezet, maar ook in het universitair onderwijs. Daarbij bestaat internationaal grote belangstelling voor de ideeën van leerlingen over natuurlijke verschijnselen. Het aantal publicaties dat een overzicht geeft van de resultaten is aanzienlijk. Een voor leraren interessant boek is *Children's Ideas in Science* van Driver e.a. (1985). Algemeen wordt aangenomen dat leerlingen ideeën en opvattingen ontwikkelen over hun natuurlijke omgeving ruim voordat ze met formeel vakonderwijs worden geconfronteerd. Het belang van de al aanwezige begrippen en redeneerwijzen voor het leren wordt door vele onderzoekers dan ook onderkend. Dit is echter nog niet nadrukkelijk het geval onder de leraren. Ik hoop u met mijn bijdrage aan deze conferentie op z'n minst nieuwsgierig te maken om kennis te nemen van dit gebied van vakdidactisch onderzoek.

De inzichten en ideeën van leerlingen hebben in de literatuur uiteenlopende benamingen gekregen, waaronder 'alternative frameworks', 'children's science', 'alternative conceptions', 'personal constructs', of in het Nederlands 'straatbeelden'. Bepaalde kenmerken van deze leerling-ideeën zijn aan het licht gebracht. De taal waarmee leerlingen hun ideeën tot uitdrukking brengen is weinig nauwkeurig en ze hanteren hun ideeën niet consequent in situaties die in de ogen van de leraar van gelijke aard zijn. Een opvallend gegeven is dat sommige ideeën zo krachtig en hardnekkig zijn, dat deze ondanks het onderwijs blijven bestaan. Hoewel sommige leerlingen in staat zijn de onderwezen concepten toe te passen in stereotype schoolsituaties, bijvoorbeeld in examenvraagstukken, hanteren ze deze niet buiten de formele schoolsituatie bij het beschrijven en verklaren van verschijnselen uit het alledaagse leven. Solomon (1983) maakt om die reden onderscheid tussen het symbolische domein van kennis, dit is het natuurwetenschappelijke domein, en het leefwerelddomein en laat in haar onderzoek zien, welke problemen leerlingen hebben om deze domeinen met elkaar in verband te brengen, met name in die situaties waarin de kennis uit beide domeinen elkaar tegenspreekt. Een voor het onderwijs bijkomend probleem is, dat de kennis uit het leefwerelddomein vaak goed functioneert in het dagelijks leven en regelmatig wordt versterkt in sociale interacties of via de media.

Ik wil nu eerst enkele voorbeelden geven van intuïtieve ideeën, om vervolgens in te gaan op de vraag hoe we hiermee kunnen omgaan in ons natuurkunde-onderwijs.

2. Voorbeelden van intuïtieve ideeën

Bij het geven van voorbeelden uit de natuurkunde zal ik putten uit onderzoeksgegevens die verzameld zijn door V.U.-medewerkers. We houden ons op de V.U. bezig met mechanica en elektriciteitsleer.

Ik presenteer nu enkele resultaten uit het onderzoek m.b.t. de mechanica (Wolff e.a., 1987). De gegevens hebben betrekking op leerlingen uit 4 VWO (N=25) en 5 VWO (N=25) met natuurkunde in hun pakket en op 1e en 2e jaars natuurkunde-studenten van de VL-VU (N=20) en 4e jaars natuurkunde-studenten van de V.U. (N=10). Uit de eerste twee mechanica-voorbeelden wordt duidelijk dat bepaalde intuïtieve ideeën blijkaar veranderen door het onderwijs.



voorbeeld 1 (vraag 3 uit de test)

Annamarie rijdt op een fiets een zeer steile helling af. Door te blijven remmen slaagt ze erin om met constante snelheid naar beneden te gaan.



Dit is mogelijk als haar remkracht:

- a. groter is dan de kracht die haar de helling afrekt.
- * b. even groot is als de kracht die haar de helling afrekt.
- c. kleiner is dan de kracht die haar de helling afrekt.

Licht je antwoord toe:



De percentages correcte antwoorden voor deze vraag zijn: 4V 25%; 5V 80%; VLVU 70%; VU 90%.

Het achterliggende intuïtieve idee is, dat de kracht in de richting van de beweging altijd groter moet zijn dan de tegengestelde kracht(en) om een voorwerp een constante snelheid te geven.

voorbeeld 2 (vraag 6 uit de test)

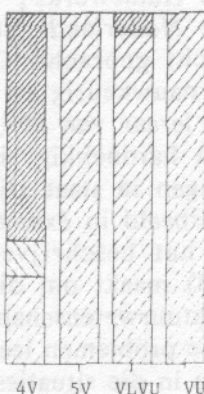
Een uit de boom gevallen appel ligt op de grond (zie plaatje)



Werken op de appel krachten?

- a. Nee
- b. Ja, één kracht
- * c. Ja, twee of meer krachten

De naam van deze kracht of de namen van deze krachten zijn:



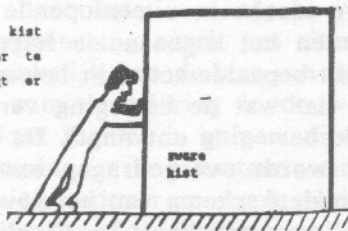
De percentages correcte antwoorden voor deze vraag zijn: 4V 25%, 5V 100%; VLVU 95%; VU 100%.

Het achterliggende idee is dat in rustsituaties krachten geen rol spelen.

Uit de volgende twee mechanica-voorbeelden wordt echter duidelijk dat sommige ideeën meer resistent lijken tegen natuurkunde-onderwijs.

voorbeeld 3 (vraag 14 uit de test)

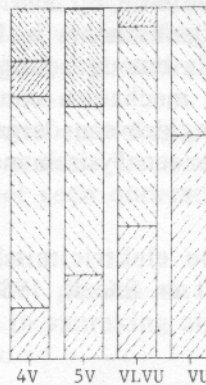
Een man probeert een zware kist over een horizontale vloer te schuiven, maar hij krijgt er geen beweging in.



De man krijgt er geen beweging in omdat de kracht die hij op de kist uitoefent:

- a. kleiner is dan de wrijvingskracht die de vloer op de kist uitoefent.
- b. groter is dan de wrijvingskracht die de vloer op de kist uitoefent, maar niet groot genoeg om de kist te verschuiven.
- c. even groot is als de wrijvingskracht die de vloer op de kist uitoefent.

Er is een andere verklaring, namelijk:

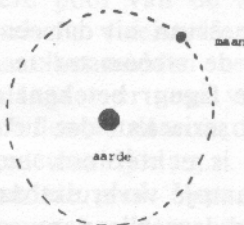


De percentages correcte antwoorden voor deze vraag zijn: 4V 15%; 5V 25%; VLVU 35%; VU 65%.

Het achterliggende idee is dat de tegenkrachten een vaste grootte hebben en niet worden bepaald door de actie-krachten.

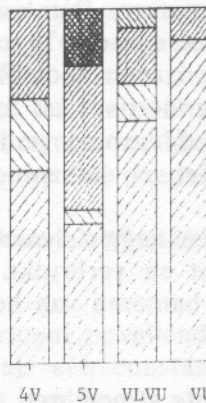
voorbeeld 4 (vraag 22 uit de test)

De maan beweegt zich in een baan om de aarde. De aarde oefent een aantrekkende kracht op de maan uit.



Oefent de maan ook een aantrekkende kracht op de aarde uit?

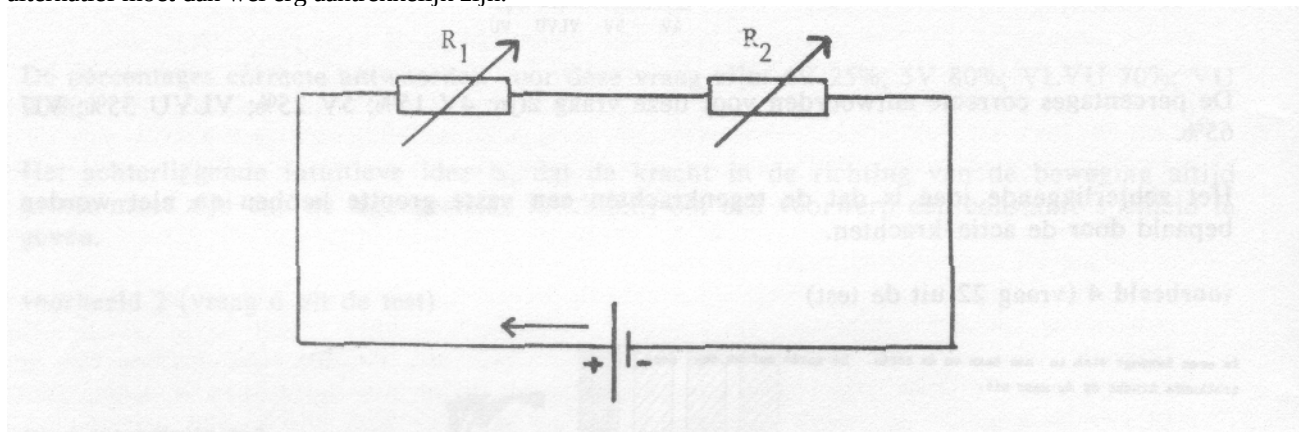
- a. Neen.
- b. Ja, groter dan de kracht die de aarde op de maan uitoefent.
- c. Ja, even groot als de kracht die de aarde op de maan uitoefent.
- d. Ja, kleiner dan de kracht die de aarde op de maan uitoefent.



De percentages correcte antwoorden voor deze vraag zijn: 4V 55%; 5V 40%; VLVU 70%; VU 90%.

De meeste leerlingen lijken hier een soort sterk-zwak of groot-klein denkschema te hanteren. In dit denkschema werkt het sterke alleen in op het zwakke of het grote op het kleine, maar er is geen sprake van een interactie tussen objecten. Sommige ideeën blijken dus te veranderen, waarschijnlijk mede door het natuurkunde-onderwijs, andere ideeën blijken hardnekkiger te zijn. Als dit laatste nu het geval zou zijn in een beperkt aantal, nogal excentrieke situaties, dan behoefden we ons daar niet bezorgd over te maken. Maar het blijkt dat sommige intuïtieve ideeën in uiteenlopende situaties worden toegepast. Zo hanteren veel leerlingen en studenten het zogenaamde impetus-idee bij een horizontale of verticale beweging van een, door een bepaalde actie, in beweging gezet object. In dit soort situaties is sprake van een actor (= dat wat de beweging veroorzaakt) en een acceptor (= dat wat in beweging komt; dat wat de beweging ontvangt). De meeste leerlingen menen dat het de kracht is die door de actor wordt overgedragen aan de acceptor en vervolgens door de acceptor wordt opgebruikt. Dit denkschema van het geven en nemen van kracht is voor de leerlingen begrijpelijk, plausibel en vruchtbaar; begrijpelijk, omdat het de verschillende componenten uit de situatie op heldere wijze met elkaar in verband brengt; plausibel, omdat dit geven-nemen denkschema in het dagelijks leven

regelmatig zijn dienst bewijst en er hier toch iets moet zijn dat de beweging in stand houdt; en vruchtbaar, omdat het in diverse situaties binnen de mechanica-context kan worden toegepast zonder in de problemen te komen. Als een leerlingidee een dergelijke status heeft, wordt het moeilijk om dit te veranderen in de richting van een fysisch meer correct begrip. Het fysisch alternatief moet dan wel erg aantrekkelijk zijn.



In mijn eigen onderzoek m.b.t. de elektriciteitsleer identificeren wij vier hardnekkige intuïtieve ideeën (Licht, 1986; Licht en Snoek, 1986). Aan de hand van onderstaand schema wil ik kort op deze ideeën ingaan.

a. Stroomverbruik

Indien leerlingen een idee van stroomverbruik hanteren, gaan ze ervan uit dat een lampje of een weerstand stroom consumeert. Dit heeft tot gevolg dat de stroomsterkte achter een lampje of een weerstand kleiner is dan ervoor. In bovenstaande figuur betekent dat, dat de stroomsterkte door R_1 groter is dan door R_2 . Voor lampjes in serie kan dat betekenen dat het eerste lampje feller brandt dan het laatste lampje. Het is echter ook mogelijk dat leerlingen ervan uitgaan, dat de stroom verdeeld wordt. Ieder lampje verbruikt dan evenveel stroom en brandt dan even fel, zij het minder fel dan wanneer deze alleen zou zijn aangesloten op de batterij.

Ook hier geldt een soort geven-nemen denkschema. Het is de batterij die stroom geeft, het is het lampje dat stroom neemt en verbruikt. Het niet kunnen discrimineren tussen stroomsterkte en energie werkt het hanteren van het idee van stroomverbruik in veel situaties in de hand.

b. De batterij als een constante stroombron

Veel leerlingen beschouwen de batterij als een bron die een constante stroom levert, onafhankelijk van de schakeling. Dit heeft tot gevolg dat een verandering van de weerstandswaarde van R_1 of R_2 geen invloed heeft op de stroomsterkte. Voor schakelingen met twee parallelle lampjes betekent dit dat het ene lampje feller gaat branden, als het andere lampje losgedraaid wordt. De stroom die eerst door het losgedraaide lampje ging, krijgt het andere lampje er nu bij.

c. Lokaal of sequentieel redeneren

Het derde leerlingidee dat veelvuldig gehanteerd wordt, is een zogenaamde lokale redenering of sequentiële redenering. Bij een lokale redenering wordt een situatie alleen lokaal bekeken. Er wordt naar één plek gekeken, onafhankelijk van de rest van de schakeling. In de bovenstaande schakeling zou dat betekenen, dat een verandering in de weerstandswaarde van R_2 geen invloed heeft op de stroomsterkte door R_1 . R_1 is immers niet veranderd. Een zelfde redenering is op te hangen voor een verandering in de weerstandswaarde van R_1 .

Bij een sequentiële redenering wordt alleen dat deel van de schakeling bekeken, dat na een verandering komt. Daarvoor is immers niets veranderd. Dit betekent dat een verandering in de weerstandswaarde van R_2 geen invloed heeft op de stroom door R_1 . ' R_1 weet immers nog niets', er is daar nog niets veranderd. Een verandering in de weerstandswaarde van R_1 heeft echter wel invloed op de stroomsterkte door R_2 , omdat R_2 achter R_1 staat.

d. Een foutief (of geen) onderscheid tussen spanning en stroom

Het onderscheid tussen de begrippen stroom en spanning blijkt voor veel leerlingen niet duidelijk te zijn. Er wordt in het geheel geen onderscheid gemaakt of er is sprake van een foutief onderscheid.

Deze alternatieve concepten worden door derde- en vierdeklas leerlingen (die dus al uitgebreid met het onderwerp elektriciteit in aanraking zijn gekomen) veelvuldig gehanteerd. Ik kom hier later op terug met percentages.

Het gevaar is groot dat we wat lacherig omgaan met deze intuïtieve ideeën van leerlingen en hen uitmaken voor dom of onlogisch redenerend. Dan wil ik u toch even meenemen naar de 18e en 19e eeuw en zien hoe gerenommeerde natuurwetenschappers omgingen met de genoemde problematiek. Ik put hier uit een colloquiumscriptie van Marco Snoek, student binnen de vakgroep didactiek natuurkunde aan de V.U.

1. Stroomverbruik

Zowel Peter Barlow (1776-1862) als Antoine-César Becquerel (1788-1878) gingen uit van een idee van stroomverbruik bij hun onderzoek naar het bestaan van één of twee elektrische vloeistoffen in 1825. Beiden gingen ervan uit dat, bij aanwezigheid van één elektrische vloeistof, de uitslag van magneetnaaldjes naast een stroomdraad moest afnemen van de ene pool van de Voltazuil, waar een maximale uitslag was, naar de andere pool van de zuil, waar een minimale uitslag was. Bij aanwezigheid van twee elektrische vloeistoffen zou de uitslag van de magneetnaaldjes afnemen van beide polen af naar het midden toe, waar de uitslag minimaal zou zijn.

Ze slaagden er geen van beiden in om een afname in de uitslag aan te tonen. Becquerel concludeerde daaruit dat er twee vloeistoffen moesten bestaan waarbij de uitslag van de magneetnaaldjes t.g.v. de ene vloeistof van de ene pool af, afnam tot een minimum aan de andere pool. Voor de uitslag van de magneetnaaldjes t.g.v. de andere vloeistof gold het omgekeerde, zodat de totale uitslag van de magneetnaaldjes langs de hele draad constant was.

(Barlow in: The Edinburgh Philosophical Journal, 12 (1825) pag. 105-106).

2. De constante stroombron

Volta's verklaring van het galvanisme vertoont opvallende gelijkenis met de ideeën van leerlingen ten aanzien van de batterij als een constante stroombron. De elektrische vloeistof krijgt volgens Volta een continue impuls.

(Uit: Volta; Phil. Trans., 90 (1800) 403).

Ook Oersted ging ervan uit dat de Voltazuil een constante stroom levert. Hij nam aan dat als 'het elektrische conflict' beperkt bleef tot een dunne draad, het resultaat in de vorm van warmte wordt uitgestraald. Bij verkleining van de diameter van de draad nam het elektrische conflict de vorm van uitgestraald licht aan. Een verdere beperking van de draaddiameter zou dan leiden tot de uitstraling van het elektrisch conflict in de vorm van een magnetische kracht. Hij nam dus aan dat een dunnere draad (een grotere weerstand) leidde tot een sterker conflict, in plaats van tot een kleinere stroomsterkte.

(Oersted in: The Edinburgh Encyclopaedia, XVIII, 1830).

3. Sequentiële redeneringen

Volta's aanname dat de zuil een elektrische vloeistof met een constante impuls voortstuwde, noodzaakte hem om sequentiële redeneringen te gebruiken bij de verklaring van het effect van een elektrische weerstand in een schakeling. Hij was zich bewust van het feit, dat de opname van een weerstand in een elektrische schakeling een verzwakking van de elektrische schok, gevoeld door het menselijk lichaam, tot gevolg had. Hij nam verder aan, dat de snelheid van de elektriciteit de grootte van de elektrische schok bepaalde. Dit had echter als noodzakelijk gevolg, dat de snelheid van de elektriciteit achter de weerstand kleiner moest zijn dan daarvoor. De elektriciteit verlaat de zuil dus met een bepaalde impuls. Deze impuls is onafhankelijk van de rest van de schakeling. De weerstand vertraagt vervolgens de elektriciteit zodat de impuls achter de weerstand kleiner is en een gevoelde elektrische schok zwakker.

4. Het onderscheid tussen stroom en spanning

Het onderscheid tussen de begrippen stroom en spanning werd pas na de ontwikkeling van de Voltazuil door de meeste onderzoekers consequent gebruikt. Hoewel dit onderscheid reeds rond 1820 door de onderzoekers Cavendish, Beccaria en Volta geïntroduceerd is, werd het pas twintig tot dertig jaar later door anderen overgenomen. Beslissend hierbij was de ontdekking van de Voltazuil. Met de termen Intensiteit (spanning) en Kwantiteit (lading, stroomsterkte) werd het namelijk mogelijk het verschil en de overeenkomsten tussen de wrijvingselektriciteit (grote intensiteit, kleine kwantiteit) en de galvanische elektriciteit (kleine intensiteit, grote kwantiteit) aan te geven.

Ik hoop u duidelijk te hebben gemaakt dat de worsteling met deze begrippen ook in het verleden al neerkwam op een intens, moeizaam en langdurig proces. Ik bedoel met dit historisch uitstapje niet te zeggen dat deze worsteling noodzakelijkerwijs ook bij leerlingen moeizaam en langdurig moet zijn. Wel wordt uit de historie duidelijk dat we hier te maken hebben met een verzameling moeilijk van elkaar te onderscheiden begrippen, waarvoor het niet meevalt om de juiste woorden, de juiste taal te vinden.

Laat ons nu weer terugkeren naar het natuurkunde-onderwijs met leerlingen. Mijn conclusie uit de onderzoeken rond intuïtieve ideeën is, dat we de leerling niet mogen zien als leeg vat, waar wij (de natuurkundeleraars) de natuurkundige kennis in gieten. De leerling heeft al ideeën geconstrueerd en construeert weer nieuwe kennis met de door ons aangereikte begrippen. Een dergelijke kijk op het leerproces van leerlingen moet naar mijn idee consequenties hebben voor de opzet en de inhoud van het onderwijs.

3. Een hypothese

De consequentie voor het onderwijs is dat we rekening houden met deze intuïtieve ideeën, door ze waar dat mogelijk is verder te ontwikkelen tot vakbegrippen of ze te veranderen in vakbegrippen. Versta mij goed. Ik zeg niet dat dit proces van worstelen met intuïtieve ideeën in het huidige onderwijs niet zou plaatsvinden. Ik zeg alleen maar dat dit worstelproces meer expliciet gemaakt zou moeten worden, wat kan leiden tot een verrijking van het onderwijs. De intuïtieve ideeën worden beschouwd als voorlopige modellen/denkschema's die voortdurend aan de praktijk worden getoetst en zo nodig aangepast.

Een en ander leidt tot een hypothese die mij belangrijk lijkt voor deze conferentie. Deze luidt:

woudschoten 1987 Licht, P; vakbegrippen als alternatief

Veel erkend moeilijke begrippen in het natuurkunde-onderwijs zijn zo moeilijk voor leerlingen, omdat ze indruisen tegen hun intuïtieve ideeën.

In dit verband wordt teren dus gezien als een aanpassing of verandering van reeds aanwezige begrippen. Hoe deze verandering tot stand gebracht kan worden, is langzamerhand geëvolueerd tot een centrale vraag voor onderzoekers. Uit deze kijk op het leerproces blijkt, dat de intuïtieve ideeën van leerlingen serieus worden genomen. Dit betekent dat ook de vakbegrippen in een ander daglicht komen te staan. Je zou haast kunnen zeggen dat de vakbegrippen naast de intuïtieve ideeën een alternatieve beschrijving of verklaring geven van hetzelfde verschijnsel. Maar dit alternatief moet dan wel aantrekkelijk zijn voor de leerlingen. De vakbegrippen moeten op zijn minst dezelfde status hebben als sommige van de intuïtieve ideeën. Ze moeten dus begrijpelijk, plausibel en vruchtbaar zijn. Door meer aandacht te besteden aan de intuïtieve ideeën van leerlingen worden de vakbegrippen zelf ook weer onderwerp van studie.

4. Het veranderen van ideeën: eerste versie van een strategie

Op grond van de eerder genoemde hypothese willen we rekening houden met de aanwezige intuïtieve ideeën. We doen dit door leerlingen hun verwachtingen m.b.t. bepaalde verschijnselen te laten expliciteren, op grond van hun intuïtieve kennis. Je moet dus met situaties de klas in komen, die leerlingen in de gelegenheid stellen hun intuïtieve ideeën uit te wisselen en te verhelderen. Je kunt dit op verschillende manieren doen, bijvoorbeeld aan de hand van een demonstratie of leerlingpraktikum. In het door ons ontwikkelde HAVO-VWO onderbouwpakket voor de elektriciteitsleer hebben we rond een tweetal hardnekkige intuïtieve ideeën gekozen voor een combinatie van demonstratie en leerlingpraktikum.

Het eerste idee is dat er in een lampje of apparaat stroom wordt verbruikt. Dit idee is uiterst hardnekkig en komt ook in de bovenbouw nog onder veel leerlingen voor. Onze wetenschap over dit intuïtieve idee baseren we overigens niet alleen op door ons zelf uitgevoerd onderzoek, maar ook op het onderzoek uitgevoerd in het buitenland.

Het tweede idee is dat een stopkontakt of een batterij altijd even veel stroom levert. Dit heeft onder meer als consequentie dat een aangebrachte verandering in een schakeling geen gevolgen heeft voor de hoeveelheid geleverde stroom. De beschikbare stroom loopt alleen anders of wordt anders over de diverse componenten verdeeld.

Globaal kan de ontwikkelde lessenreeks als volgt in fasen worden ingedeeld:

1 les **oriëntatie** op de context 'gevaar en veiligheid' en op de begrippen die daarbij mogelijk een rol spelen. Uit eerder onderzoek weten we dat de context 'gevaar en veiligheid' de leerlingen aanspreekt en mogelijk een goede ingang is voor een eerste verkenning van leerlingideeën;

4 lessen **verheldering** van intuïtieve ideeën en **confrontatie** van deze ideeën met waarnemingen;

2 lessen **reconstructie** van ideeën door introductie van een model;

7 lessen **toepassing** van dit model in schoolsituaties (serie- en parallelschakelingen) en praktijksituaties (problemen rond gevaar en veiligheid);

1 les **terugblik** op de intuïtieve ideeën en de geïntroduceerde vakbegrippen.

Het eerste intuïtieve idee (stroomverbruik idee) hebben we in de fase van verheldering en confrontatie als volgt aangepakt: demonstratie van een gloeilamp/apparaat en twee stroommeters "aan beide kanten" van het apparaat geschakeld.

□ bij het uitspreken van hun verwachtingen bleek ca. 90% van de leerlingen in klas 2 te redeneren in termen van geheel of gedeeltelijk stroomverbruik;

□ we hebben de stroomsterkte vervolgens gemeten met twee analoge ampèremeters. Resultaat: de leerlingen zien een verschil in wijzeruitslag en weten hun hypothese bevestigd. Sommigen geven aan dat het verschil in uitslag minder is dan ze hadden verwacht, maar hun hypothese blijft onaantast.

Pas later lukte het ons om te laten zien dat de stroomsterkte inderdaad aan beide kanten van een lamp even groot is. We voerden de demonstratie toen uit met twee digitale ampèremeters. De verrassing blijkt dan groot en reacties in de trant van: 'hier begrijp ik niks van, er moet toch iets verbruikt worden', zijn dan ook niet van de lucht.

leerlingpraktikum met een lampje, batterij en twee ampèremeters.

□ bij het uitspreken van de verwachting, geven veel leerlingen nu aan dat de stroomsterkte "aan beide kanten" van het lampje even groot is;

□ na het uitvoeren van de meting komt de docent (D) langs en vindt met drie leerlingen (L1, L2, L3) en volgende gesprekje plaats:

D. Ik heb nog een vraag over dit stukje. Je hebt de meters zo opgesteld dat er aan beide kanten van de lamp één staat. Wat meet je?

L1 Hetzelfde.

D. Je meet dezelfde waarde.

L1 Dus hij verbruikt geen stroom.

L2 Hij verbruikt bijna geen ampère.

D. Bijna geen of geen?

L3 Anders zou hij toch niet branden?

woudschoten 1987 Licht, P; vakbegrippen als alternatief

L2 Dat lampje brandt toch door ampères te verbruiken. Het zal wel aan mij liggen.

L1 Dan hebben we niet precies genoeg gekeken.

In dit kleine stukje protocol zie je de worsteling met ideeën duidelijk terug. L1 lijkt door te stoten naar een zeker vakbegrip. Maar voor beide andere leerlingen zegt de wijzeruitslag niet zozeer iets over de grootte stroomsterkte, maar meer over de eenheid, het aantal ampères. We hebben hier te maken met twee problemen: het niet kunnen onderscheiden tussen grootte en eenheid; en het uit de weg gaan van het conflict door het geringe verbruik te benoemen in termen van ampères. Dit laatste is dan niet in tegenspraak met het eigen idee van geheel of gedeeltelijk stroomverbruik.

Tijdens de observaties in de klas blijken de meeste leerlingen de praktikumopdrachten stuk voor stuk uit te voeren en, ondanks daartoe via de tekst te worden uitgenodigd, niet terug te kijken naar eerder uitgesproken verwachtingen. Een confrontatie tussen eigen ideeën en gedane waarnemingen wordt hiermee uit de weg gegaan. Of men geeft aan dat er geen stroom wordt verbruikt, maar wel ampères.

Vóór de lessen blijkt dat 54% van de leerlingen in de (experimentele) groep denkt in termen van stroomverbruik. Na de verhelderings- en confrontatiefase blijkt dit percentage slechts gezakt te zijn tot 42%.

Het tweede intuïtieve idee (het constante stroom idee) hebben we op een soortgelijke manier aangepakt via demonstratie en leerlingpraktikum. Hier blijkt de verhelderings- en confrontatiefase veel meer effect te sorteren. Blijkt vóór de lessen 33% van de leerlingen een constante stroom idee te hanteren in een aantal uiteenlopende situaties, na de confrontatiefase is dat percentage gezakt naar 15%.

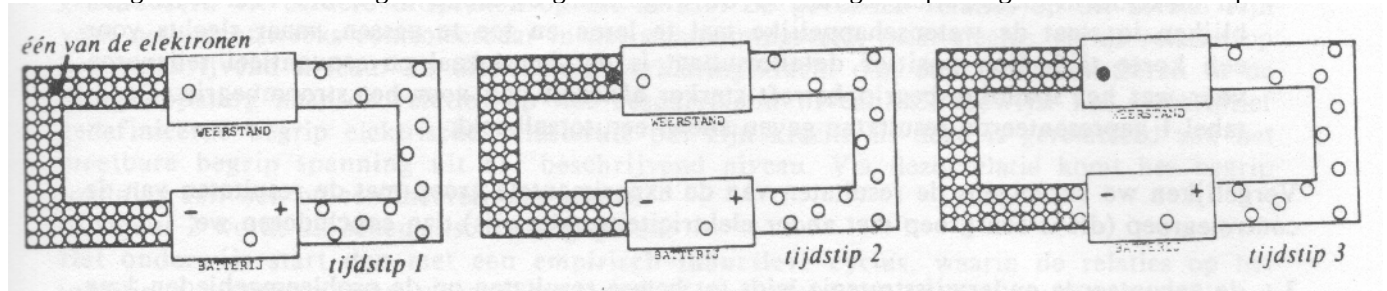
De twee andere probleemvelden, te weten het lokaal en sequentieel redeneren en het niet kunnen onderscheiden tussen stroom en spanning, hebben we meer impliciet gelaten. We hoopten deze problemen voor een deel op te kunnen lossen met een model, dat ik nu kort aan de orde stel.

In de zogenaamde reconstructiefase hebben we de leerlingen een model aangereikt waarin de theoretische begrippen elektron en elektronenconcentratie een belangrijke rol spelen. Voor een uitvoerige beschrijving van dit model verwijs ik u naar het NVON-maandblad (Licht, 1987).

Willen de nieuw te leren begrippen een aantrekkelijk alternatief vormen voor leerlingen, dan moet het model voldoen aan de eis dat het een begrijpelijk, plausibel en vruchtbaar alternatief kan zijn voor de aanwezige leerlingideeën.

Laat ik u met enkele kenmerken van het model demonstreren dat het in principe aan deze eis voldoet:

- de begrippen elektron en elektronenconcentratie zijn beide voorstelbare kiembegrippen, waaraan de overige elektriciteitsbegrippen kunnen worden gekoppeld;
 - de begrippen stroom (bewegende elektronen) en spanning (verschil in elektronenconcentratie) hebben een duidelijk onderscheiden, maar wel met elkaar samenhangende representatie;
 - het model is toepasbaar in uiteenlopende schakelingen met zowel gelijk- als wisselspanning;
 - het model is uit te breiden met de begrippen energie, potentiaal en veldsterkte;
 - het model biedt in principe een alternatief voor de eerder genoemde begrips- en redeneerproblemen bij leerlingen.
- Het alternatief voor een sequentiële redenering luidt als volgt: de verschillende elektronenconcentraties hangen samen met elkaar, omdat elektronen elkaar afstoten. De afstotende kracht kent geen voorkeursrichting, Deze werkt zowel 'stroomopwaarts' als 'stroomafwaarts'. Een verandering in een schakeling heeft dan niet alleen lokale of sequentiële gevolgen, maar leidt tot een herverdeling van elektronen in de gehele schakeling en dus tot een herverdeling van spanning over de diverse componenten.



5. De onderwijsresultaten na toepassing van de (eerste versie) strategie

In tabel 1 worden de kwantitatieve gegevens vermeld per probleemgebied. Voor het verminderen van de eerste twee problemen -'stroomverbruik idee' en 'constante stroom idee'- is gebruik gemaakt van de volledige strategie, dus inclusief de verheldering van

intuïtieve ideeën en de confrontatie. Voor het verminderen van de beide andere problemen -'lokaal en sequentieel redeneren' en 'geen onderscheid tussen spanning en stroom'- is alleen gebruik gemaakt van het ontwikkelde model met elektronen en elektronenconcentraties.

Tabel 1. Kwantitatieve gegevens per probleemgebied (in % leerlingen)

begrips- en redeneerprobleem	experimentele groep N=70			controlegroep N=230		
	voor- test	eind- test	uitgest. eindtest	voor- test	eind- test	uitgest. eindtest
1. stroomverbruik idee	54	11	14	52	37	43
2. constante stroom idee	33	11	14	40	33	31
3. lokaal en sequentieel redeneren	75	39	54	69	51	64
4. geen onderscheid tussen spanning en stroom	95	52	67	96	66	66

Analysen we eerst alleen de resultaten van de experimentele groep, dan komen we tot de volgende conclusies:

1. de gehanteerde onderwijsstrategie lijkt een oplossing te bieden voor de probleemgebieden 1 en 2. Zelfs de resultaten op de uitgestelde eindtoets (dit is een toets 5 maanden na het onderwijs) zijn goed te noemen. Uit het voorgaande weten we dat het constante stroom idee bij de meeste leerlingen al veranderde na de verhelderings- en confrontatiefase. Het stroomverbruik idee verandert pas meer definitief na introductie van het model;
2. het gehanteerde model lijkt slechts een tijdelijke en beperkte oplossing te bieden voor de probleemgebieden 3 en 4. Want hoewel de verbetering van voortoets naar eindtoets in absolute zin op de probleemgebieden 3 en 4 groter is dan op 1 en 2, moeten de resultaten toch teleurstellend worden genoemd. De tamelijk theoretische en abstracte wijze waarop we deze problemen trachten te verminderen, schijnt slechts plausibel en vruchtbaar te zijn voor een korte periode. Het aantal verklaringen van leerlingen op toetsvragen die betrekking hebben op deze probleemgebieden gesteld in termen van elektronen en elektronenconcentraties, neemt op de uitgestelde eindtoets sterk af. Veel leerlingen blijken in staat de wetenschappelijke taal te leren en toe te passen, maar slechts voor een korte tijd. Een positief detailresultaat is dat het lokaal en sequentieel redeneren voor wat het spanningsbegrip betreft sterker afneemt dan voor het stroombegrip. De in tabel 1 gepresenteerde resultaten geven alleen een totaalbeeld.

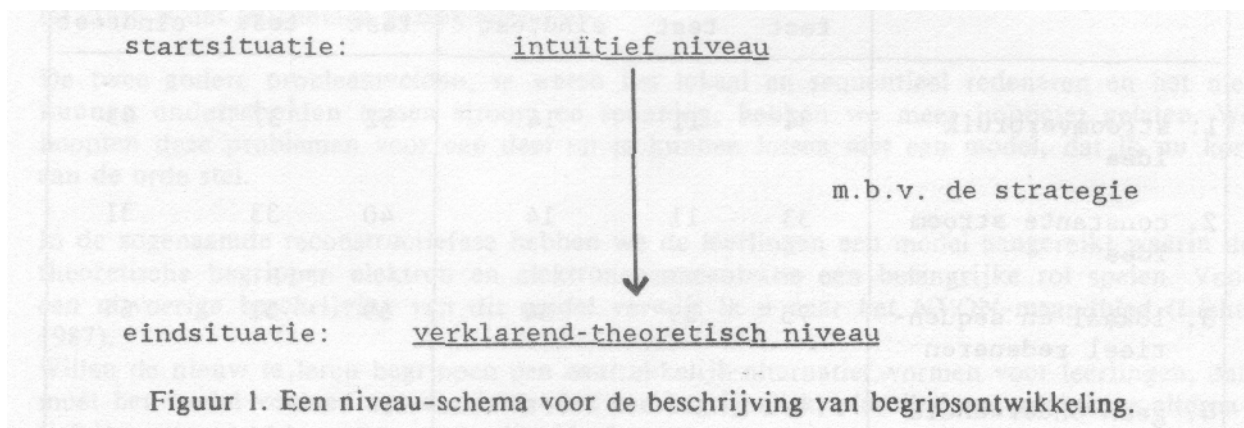
Vergelijken we vervolgens de resultaten van de experimentele groep met de resultaten van de controlegroep (dit is een groep met ander elektriciteitsonderwijs) dan concluderen we:

3. de gehanteerde onderwijsstrategie leidt tot betere resultaten op de probleemgebieden 1 en 2 dan meer traditioneel onderwijs;
4. het gehanteerde model leidt slechts tijdelijk tot betere resultaten op de probleemgebieden 3 en 4 dan meer traditioneel onderwijs.

Ondanks de vereiste voorzichtigheid bij de interpretatie van deze eerste resultaten met de strategie, menen we voldoende aanwijzingen te hebben om te kunnen stellen dat we bij het zoeken naar een oplossing voor de problemen in de goede richting gaan.

6. Een aanpassing van de strategie: de tweede versie

Ondanks deze wat positieve geluiden vraag je je wel af of de voortgaande lijn in de begripsontwikkeling niet wat te simpel is gedacht (zie fig. 1).

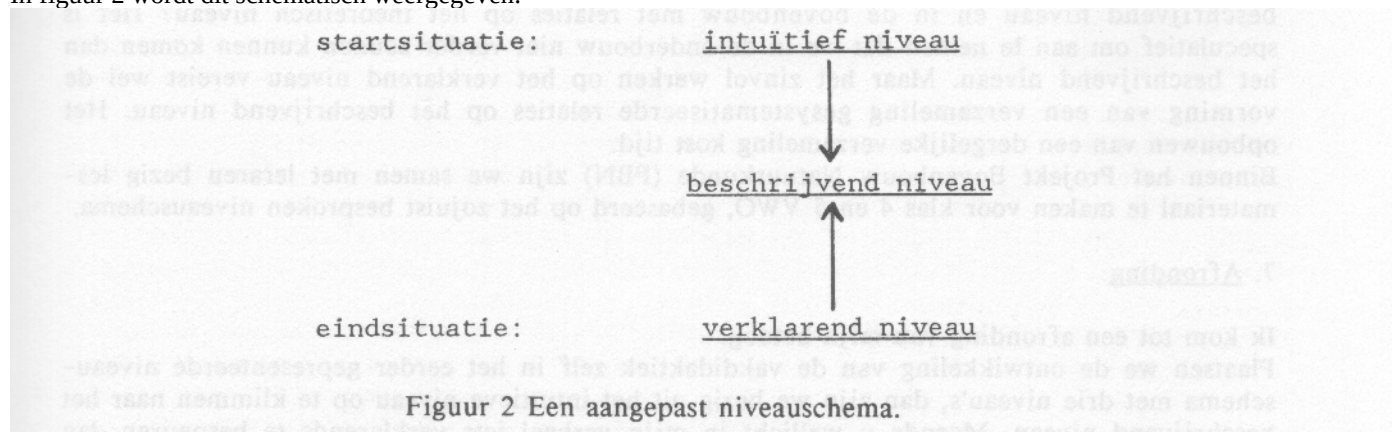


Uit het feit dat leerlingen na vijf maanden weinig of geen gebruik meer maken van begrippen als elektronenstroom en elektronenconcentratie blijkt dat we te snel een verklarend-theoretisch niveau hebben willen bereiken. Bovendien heeft het naar mijn idee weinig zin om te spreken over de ontwikkeling van één op zichzelf staand begrip. Het gaat altijd om de relatie tussen begrippen. Het doel van de begripsvorming is immers gericht op het vinden van een representatie van het beschouwde onderdeel uit de werkelijkheid door middel van een stelsel van onderling gerelateerde begrippen. Per begripsniveau kan dan onderscheid worden gemaakt tussen één, twee, of meer-dimensionale relaties. Ik kom daar zo op terug.

In de tweede versie van de strategie wordt er tussen het intuïtief niveau en het verklarendtheoretisch niveau een beschrijvend niveau geplaatst. Op het **intuïtieve niveau** komt de leerling tot relaterende uitspraken op grond van bepaalde intuïties, preconcepten of algemeen taalgebruik. **Op het beschrijvend niveau** komt de leerling tot relaterende uitspraken op grond van waarnemingen (incl. metingen), zo mogelijk eerst met een kwalitatief later met een kwantitatief karakter. Je zou dit beschrijvende niveau ook het operationele niveau kunnen noemen. Alle grootheden op dit niveau zijn descriptief gedefinieerd en rechtstreeks meetbaar. Een prescriptieve definitie van de grootheid weerstand in de vorm van $R = V/I$ hoort op het beschrijvend niveau niet thuis. Deze relatie kan slechts op het beschrijvend niveau voorkomen als alle drie betrokken grootheden rechtstreeks gemeten zijn.

Op het **verklarend-theoretisch** niveau worden er relaterende uitspraken gedefinieerd of gededuceerd uit eerdere uitspraken op dit niveau. De gevonden relaties op dit niveau zijn vaak niet rechtstreeks controleerbaar in het waarnemingsveld, maar slechts via de relaties op het beschrijvend niveau. Ze dienen hun verklaringskracht dan ook te demonstreren in de terugkoppeling naar de relaties op het beschrijvend niveau. Zo bewijst het prescriptief gedefinieerde begrip elektrische veldsterkte pas zijn kracht als deze is gerelateerd aan het meetbare begrip spanning uit het beschrijvend niveau. Via deze relatie komt het begrip spanning zelf ook op een theoretische niveau.

In figuur 2 wordt dit schematisch weergegeven.



Het onderwijs start dan met een **empirisch-inductieve cyclus**, waarin de relaties op het intuïtieve niveau moeten worden aangepast of veranderd tot relaties op het beschrijvend niveau.

Voorbeelden van relaties op het intuïtieve niveau zijn:

- één-dimensionaal: $I_{\text{voor}} > I_{\text{na}}$ bij een apparaat of weerstand.
- twee-dimensionaal: $E \sim R$, hoe hoger de weerstandswaarde, hoe meer energie er wordt omgezet.

Voorbeelden van relaties op het beschrijvend niveau zijn:

- één-dimensionaal: $I_{\text{voor}} = I_{\text{na}}$
- $I_{\text{tot}} = I_1 + I_2$ (parallel-schakeling)
- $V_{\text{tot}} = V_1 + V_2$ (serie-schakeling)

twee-dimensionaal: $R_{\text{tot}} = R_1 + R_2$ (serie-schakeling)
als meer weerstanden parallel, dan $R_{\text{tot}} \downarrow$
als $V \uparrow$ dan $I \uparrow$ bij een bepaalde weerstand
als $R \uparrow$ dan $V_R \uparrow$ in een schakeling met meerdere weerstanden
als $R \uparrow$ dan $I_R \downarrow$ in een schakeling.

Alle relaties op het beschrijvend niveau betreffen relaties tussen begrippen die direct waarneembaar dan wel meetbaar zijn. De kloof tussen het intuïtief niveau en het beschrijvend niveau wordt dus overbrugd door confrontatie en empirische generalisatie van waargenomen regels.

Tussen het beschrijvend en het verklarend niveau wordt de kloof naar mijn mening op een geheel andere wijze overbrugd. We werken hier vanuit het abstracte naar het concrete toe, en bevinden ons zodoende in een **theoretisch-deductieve** cyclus. De relaties op het verklarend niveau worden uitgedrukt in grootheden als veldsterkte, potentiaal, potentiële en kinetische energie, elektron, elektronenconcentratie. Deze begrippen doen zich niet via rechtstreekse waarneming of meting aan ons voor. Ze passen binnen een abstract, wetenschappelijk model dat nieuwe kennis en verklaringen moet kunnen genereren. Een belangrijke eis is dat de gedefinieerde begrippen en relaties op het verklarend niveau ook werkelijk inzicht gaan geven in de gevonden relaties op het beschrijvend niveau. Is dat niet het geval, dan moeten we ons afvragen of dergelijke begrippen wel zinvol zijn in het voortgezet onderwijs. Als we het begrip elektrisch veld slechts in verband brengen met geladen bollen en geladen condensatorplaten, dan zijn we theoretische begrippen aan het invoeren zonder een empirischinductieve basis bestaande uit een gesystematiseerde verzameling van waargenomen regels. In onze bovenbouwactiviteiten (gestart in januari '87) streven we dan ook na dat deze theoretische begrippen werkelijk worden teruggekoppeld naar de relaties op het beschrijvend niveau, en dus toepasbaar zijn in elektrische schakelingen! Voordelen hiervan zijn dat er een grotere samenhang ontstaat in de leerstof en dat de kracht van het theoretisch model kan worden gedemonstreerd in alle tot dan toe ontmoete situaties.

Betekent dat nu automatisch dat we ons in de onderbouw bezig houden met relaties op het beschrijvend niveau en in de bovenbouw met relaties op het theoretisch niveau? Het is speculatief om aan te nemen dat we in de onderbouw niet verder zouden kunnen komen dan het beschrijvend niveau. Maar het zinvol werken op het verklarend niveau vereist wel de vorming van een verzameling gesystematiseerde relaties op het beschrijvend niveau. Het opbouwen van een dergelijke verzameling kost tijd.

Binnen het Projekt Bovenbouw Natuurkunde (PBN) zijn we samen met leraren bezig lesmateriaal te maken voor klas 4 en 5 VWO, gebaseerd op het zojuist besproken niveauschema.

7. Afronding

Ik kom tot een afronding van mijn betoog.

Plaatsen we de ontwikkeling van de vakdidactiek zelf in het eerder gepresenteerde niveauschema met drie niveau's, dan zijn we bezig uit het intuïtieve niveau op te klimmen naar het beschrijvend niveau. Meende u wellicht in mijn verhaal iets verklarends te bespeuren dan moet ik u teleurstellen. De vakdidactiek is nog niet zo ver dat zij al tot empirische generalisaties zou kunnen komen, laat staan theoretische generalisaties die de empirische verklaren. Ik heb u alleen willen demonstreren dat de aanwezige intuïtieve ideeën bij leerlingen een belemmering kunnen zijn bij de ontwikkeling van vakbegrippen. Dit leidt automatisch tot de vraag of de vakbegrippen als alternatief wel aantrekkelijk genoeg zijn.

Ik hoop dat veel leraren bereid zijn om samen met een didactisch instituut te zoeken naar empirische regelmatigheden in het leren van natuurkundige begrippen door hun leerlingen. De leraar als onderzoeker van zijn eigen onderwijs behoeft geen vrome wens te blijven.

Wie van u neemt de uitdaging aan?

Literatuur

- Driver R., Guesne E., Tiberghien A., *Children's Ideas in Science*. Philadelphia: Open University Press, 1985.
Licht P., *Begrips- en redeneerproblemen in beginnend elektriciteitsonderwijs*. Tijdschrift voor didactiek der B-wetenschappen, 4, 88-107, 1986.
Licht P., Snoek M., *Elektriciteit in de onderbouw*. NVON-maandblad, 11, 32-36, 1986.
Licht P., *Een model voor het elektriciteitsonderwijs*. NVON-maandblad, 12, 264-267, 1987.
Solomon J., *Learning about energy: how pupils think in two domains*. Eur. Journal in Science Educ., 5, 49-59, 1983.
Wolff P.F.J., Katu N., Dulfer G.H., *Conceptions of force and movement, Basic Science Projects Unit*, Free University Amsterdam, Satya Wacana Christian University Indonesia, 1987.