

Begrips- en redeneerproblemen in beginnend elektriciteits-

onderwijs

Pieter Licht
Vrije Universiteit Amsterdam
Vakgroep Didactiek en Practica Natuurkunde

Summary

In recent years many results have been published on studies of students understanding and concepts of basic electricity, especially simple DC-circuits.

On the basis of this research a test has been constructed to investigate conceptual problems experienced by students of different ability in the third form of Dutch secondary education (grade 9). In addition to their multiple-choice answers, students were also asked to give reasons for the answers chosen.

These reasons have been categorized as far as possible.

The overall results are quite the same as in other western countries: current is the primary concept, whereas potential difference is regarded as a consequence of electric current; a battery is a source of constant current; students have difficulties in analyzing the effect a change in one component has on the rest of the circuit; they use a constant-current or a sequential model to predict for instance the brightness of bulbs in circuits with a battery, bulbs and resistors.

But more important than identifying these models is the fact that students use these ways of reasoning rather consequently. There is hardly any (statistically significant) difference between the results of the different ability groups. The overall results of the students are not very encouraging and should have consequences for the way of teaching electricity. In following articles we will deal with these consequences.

Inleiding

Het in dit artikel beschreven onderzoek heeft betrekking op het opsporen van begrippen en redeneerwijzen die leerlingen aan het einde van het derde leerjaar mavo, havo, vwo hanteren om bepaalde vraagstukken op te lossen binnen het onderwerp electriciteit. In het vervolg spreken wij van het opsporen van mogelijke begrips- en redeneerproblemen,

omdat de meeste leerlingen in de aangereikte situaties niet tot een fysisch correcte oplossing of beschrijving komen.

Uit de groeiende stroom van onderzoeksresultaten met betrekking tot het leren en het onderwijzen van het onderwerp electriciteit kan men een indruk krijgen welke concepten en redeneerwijzen leerlingen hanteren om de werking van eenvoudige elektrische schakelingen te kunnen voorspellen en/of verklaren. Ondanks verschillen in methodologie vertonen de uitkomsten van onderzoek in de diverse westerse landen grote overeenkomsten.

Als wij in de Nederlandse situatie willen komen tot de ontwikkeling van nieuw lesmateriaal in het kader van beginnend electriciteitsonderwijs - bijvoorbeeld omdat bepaalde contexten in het materiaal dienen te worden opgenomen - lijkt het onverstandig als wordt voorbijgegaan aan de beschikbare onderzoeksresultaten.

De volgende twee vragen dienen dan te worden beantwoord:

1. in hoeverre gelden de resultaten uit andere landen ook in Nederland?
2. hoe kunnen deze resultaten worden gebruikt in het onderwijs?

Met het in dit artikel beschreven onderzoek pogen wij een antwoord te geven op vraag 1. In de volgende paragraaf geven wij een aanzet tot de beantwoording van vraag 2, door het beschrijven van een onderwijsstrategie waarbinnen de onderzoeksresultaten gebruikt kunnen worden. De strategie biedt tevens een leidraad voor het onderzoek.

2. Een onderwijsstrategie als leidraad voor het onderzoek

Vanuit de vakgroep didactiek en practica natuurkunde van de VU proberen wij een verandering van het onderbouw-curriculum tot stand te brengen binnen het onderwerp electriciteit. Wij volgen daarbij in grote lijnen de in figuur 1 gepresenteerde strategie. Deze strategie is een nadere invulling van een door Nachtigall voorgestelde werkwijze (Nachtigall, 1985). Wij kunnen in het kader van dit artikel niet diep op deze strategie ingaan. Toch behoeft het schema enige toelichting. Het geeft namelijk enerzijds een beeld van het onderwijs dat ons voor ogen staat en anderzijds dient het als kader voor ons onderzoekswerk. Uitgaande van voor leerlingen herkenbare en betekenisvolle praktijksituaties uit het dagelijks leven (zie onderdeel A in fig.1), willen wij via de confrontatie van de eigen ideeën en redeneerwijzen van leerlingen (onderdeel B) met schoolsituaties (onderdeel C) komen tot de ontwikkeling bij leerlingen van vakinhoudelijke begrippen, regels, wetten en redeneerwijzen (onderdeel D). Een verzameling samenhangende schoolsituaties, ook wel schoolcontext genoemd, heeft als het ware een bemiddelende functie tussen de vakwetenschappelijke kennis enerzijds en de praktijkcontext anderzijds (Van Genderen, 1985). Tot dan toe heeft de leraar nog nauwelijks vakinhoudelijke kennis aangereikt, maar heeft zijn bijdrage zich beperkt tot de organisatie van de stappen 1

en 2. Het is vervolgens de bedoeling dat na een eerste vakinhoudelijke aanzet door de leraar leerlingen in samenwerking en in samenspraak met elkaar verbanden tussen de aangereikte begrippen leren zien en fysieke regels afleiden (stap 3). Met de ontwikkelde vakinhoudelijke kennis moeten dan niet alleen de schoolsituaties worden verklaard (stap 4) maar ook de daarmee samenhangende situaties uit het dagelijks leven (stap 5). Tot slot dient in een klassediscussie nogmaals, maar nu meer expliciet, aandacht besteed te worden aan de mogelijke verschillen tussen eerder gehanteerde eigen concepten en redeneerwijzen in relatie tot de veelal door de docent aangereikte vakinhoudelijke kennis (stap 6). Ook dient dan de waarde van beide begrippenkaders (onderdeel B en D) aan de orde te komen, in die zin dat het begrippenkader uit onderdeel B in sommige situaties nuttig blijft, ook al is voor het vakwetenschappelijke begrippenkader een grotere verklaringskracht aangetoond. In feite wordt een hoger niveau van begrip verondersteld als leerlingen, al naar gelang de situatie, bewust kunnen overstappen van het ene naar het andere domein (Solomon, 1983).

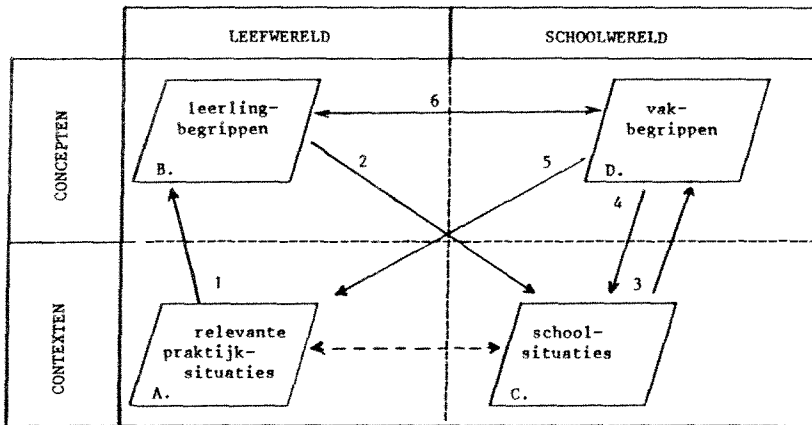


Fig.1 Een strategie voor onderwijs en onderzoek

Voor het onderzoek leidt deze strategie onder meer tot de volgende activiteiten:

- via een attitudemeting is getracht vast te stellen welke praktijkcontexten leerlingen relevant vinden in het kader van electriciteitsonderwijs (Licht en Snoek, 1986);
- via de in dit artikel beschreven test en een andere - in internationaal verband en elders te beschrijven - test is gepoogd veel voorkomende door Nederlandse leerlingen gehanteerde concepten en redeneer-

wijzen vast te stellen. Deze wetenschap lijkt een voorwaarde om in de toekomst geschikte praktijk- en schoolsituaties voor te bereiden en in onderwijs-leeractiviteiten op te nemen. Of zij ook voldoende zal zijn om zulke situatie te ontwerpen zal moeten blijken;

- via een bezinning op de inhoud van de klassieke electrodynamicica wordt onderzocht in hoeverre een ander accent op de vakinhoudelijke kennis kan leiden tot een andere didactiek van het electriciteitsonderwijs. Over dit aspect wordt in een later stadium gerapporteerd.

Wij hopen met dit overzicht enigszins verduidelijkt te hebben hoe de strategie het onderzoek faseert en stuurt. Het hier beschreven onderzoek heeft betrekking op onderdeel B van de m.b.v. figuur 1 beschreven strategie.

3. Een overzicht van buitenlandse onderzoeksresultaten

Wij beperken ons hier tot de presentatie van de naar onze mening belangrijkste onderzoeksresultaten m.b.t. beginnend electriciteitsonderwijs, verkregen met behulp van schriftelijke tests onder leerlingen van vergelijkbare leeftijd als de Nederlandse uit dit onderzoek (15-16 jaar). Het betreft vooral resultaten over door leerlingen gegeven voorspellingen en verklaringen van de (relatieve) felheid van lampjes in serie - en parallelschakelingen. De meeste aandacht gaat uit naar de ideeën die leerlingen hanteren over:

- a. de (relatieve) felheid van serie- en parallelgeschakelde lampjes;
- b. de (relatieve) felheid van lampjes in serie geschakeld met één of meer weerstanden;
- c. de invloed van een aangebrachte verandering in een serie- of parallelschakeling op de rest van de schakeling, meestal in termen van (relatieve) felheid van lampjes.

Uit de toelichtingen kan worden afgeleid in hoeverre en hoe leerlingen gebruik maken van de begrippen stroom en spanning in de aangeboden situaties.

Wij presenteren enige resultaten over de onderscheiden gebieden a, b en c.

ad.a.

Osborne classificeerde als eerste enkele 'modellen' die leerlingen van 8 tot 13 jaar hanteren in een situatie met een lampje en een batterij (Osborne, 1981). Deze 'modellen' zijn kort te omschrijven als:

- een unipolair 'model', waarbij slechts één draad naar de lamp stroomdragend is;
- een botsende-stroom 'model', waarbij van twee kanten een stroom naar het lampje komt en in het lampje tegen elkaar botst;
- een eenrichtings-'model' met stroomverbruik;
- een eenrichtings-'model' zonder stroomverbruik.

Hij ontdekte een verschuiving in het gebruik van deze 'modellen'

naarmate de leerlingen ouder worden. Wij merken op dat Osborne naar onze mening ten onrechte het begrip 'model' hanteert, omdat hij onvoldoende duidelijk maakt hoe consistent leerlingen deze 'modellen' toepassen. Wij hanteren hier liever de term leerling-idee.

In een Engels onderzoek onder 15-16 jarigen hanteren bijna alle leerlingen na het electriciteitsonderwijs het eenrichtings-idee. Slechts een kwart combineert dit idee met stroombehoud in de schakeling, terwijl ruim de helft aangeeft dat er stroom wordt verbruikt in de lampjes. Dit laatste behoeft overigens niet te betekenen dat de lampjes niet even fel kunnen branden. Bij een aantal wordt de stroom 'eerlijk' over de lampjes verdeeld. Bij de meesten uit deze 'verbruikersgroep' neemt de felheid af naarmate het lampje 'verderop' in de schakeling zit (Shipstone, 1984).

Dit idee van 'eerlijk verdelen' komt ook terug in een Belgisch onderzoek onder 15-16 jarigen, die aangeven dat drie identieke lampjes waarvan twee parallel-geschakeld en de derde daarmee in serie even fel branden (Closset, 1984).

ad.b.

In dit zelfde onderzoek geeft 65% van de leerlingen aan dat van twee in serie geschakelde lampjes met daartussen een weerstand, het lampje aangesloten op de plus-pool van de batterij het felst brandt. De meeste leerlingen zoeken de verklaring ook hier in het stroomverbruik van de weerstand. Maar voor sommigen brandt het lampje vóór de weerstand feller vanwege een ophoping van stroom.

ad.c.

De voorspellingen en verklaringen van leerlingen m.b.t. de effecten van een aangebrachte verandering in een schakeling op stroom en spanning in de rest van de schakeling, leiden tot veel informatie over het gebruik van de begrippen stroom en spanning en over de mate waarin leerlingen lokaal dan wel globaal redeneren. Met dit laatste bedoelen wij de mate waarin leerlingen een schakeling als een samenhangend geheel opvatten. Het is met name Closset geweest die ontdekte dat ruim de helft van de leerlingen uit zijn respondentengroep sequentieel redeneert. Dit is een redeneerwijze waarbij een verandering in een schakeling alleen 'stroomafwaarts' van invloed is (bijvoorbeeld op de felheid van lampjes) en niet 'stroomopwaarts'.

Zowel uit het onderzoek van Shipstone (1984) als van Closset (1984) blijkt dat in situaties met parallel-geschakelde componenten ruim de helft van de leerlingen redeneert in termen van constante stroom. Een verandering in een van de parallelle takken leidt tot een toename of afname van de stroom in de andere tak. Het onderzoek van Cohen (1983) richt zich voornamelijk op de aard van de bron. Van de 17-18 jarigen ziet een derde een batterij als constante stroombron. Twee parallel-

geschakelde batterijen leiden dan ook tot een verdubbeling van de stroom. Een verandering in de schakeling heeft geen invloed op de 'stroomproductie', zolang de bron maar niet wordt gewijzigd.

Over het onderwijs dat de leerlingen uit bovengenoemde onderzoeken hebben gevolgd, kan in algemene zin slechts worden opgemerkt dat ze kennis hebben gemaakt met het onderwerp electriciteit. Het onderzoek van Cohen betreft een groep die voor natuurkunde heeft gekozen.

4. Formulering van de onderzoeksvragen

Het gaat ons in dit onderzoek om de vraag in hoeverre de buitenlandse resultaten ook gelden in Nederland. De geformuleerde onderzoeksvragen hebben dan ook betrekking op de in paragraaf 3 gepresenteerde resultaten. Vooraf is het niet ons doel andersoortige onderzoeksresultaten aan het licht te brengen. De nadruk in het totale project ligt immers op de ontwikkeling van lesmateriaal. Met de te ontwikkelen test willen wij antwoord krijgen op de volgende vragen.

In welke mate:

1. hanteren leerlingen (i) een unipolair idee, (ii) een botsende-stromen idee of een eenrichtings-idee - het laatste met of zonder stroomverbruik - in eenvoudige gelijkstroomschakelingen?
2. redeneren leerlingen sequentieel, zowel in situaties met serie - als parallelgeschakelde componenten?
3. hanteren leerlingen een constante-stroom idee, in het bijzonder in situaties met parallelgeschakelde componenten?
4. gaan leerlingen op de juiste wijze om met de relatie en het verschil tussen de begrippen stroom en spanning?

5. Enkele gegevens over de betrokken leerlingen

De totale onderzochte groep bestaat uit 247 derde klas leerlingen. Op grond van het antwoord op de eerste testvraag hebben wij echter 15 leerlingen buiten de verdere analyses gelaten. Zij laten de stroom van min naar plus lopen. Het meenemen van deze groep zou de analyse van de rest van de vragen nodeloos ingewikkeld maken. Wij werken dan ook verder met een aantal van 232 leerlingen. In tabel 1 wordt de verdeling van deze groep over de schooltypen en de sexen weergegeven.

schooltype → sexe ↓	mavo	havo	vwo	aantal	percentage
jongens	51	54	14	119	51
meisjes	27	59	27	113	49
aantal	78	113	41	232	
percentage	33	49	18		100

Tabel 1. De samenstelling van de onderzoeksgroep

De gemiddelde leeftijd is 15 jaar. Van de jongens zit 81% voor de eerste keer in de derde klas, van de meisjes 88%. De meerderheid vindt zichzelf middelmatig (54%) of slecht (30%) in natuurkunde. De bij dit onderzoek betrokken groep leerlingen wijkt in deze 'zelf-beoordeling' niet af van gegevens die wij in ander verband (DBK-na project) al eerder zijn tegengekomen (Licht, 1982). Alle leerlingen hebben het onderwerp electriciteit gehad in klas 3. De test is afgenomen op twee scholen in middelgrote steden gedurende de maand april. Op beide scholen wordt gebruik gemaakt van de onderbouw-methode DBK-natuurkunde. Dit maakt het wellicht riskant om conclusies te trekken, omdat leerlingen met een andere 'voorgeschiedenis' ontbreken. Maar uit een afname van dezelfde test onder studenten in Indonesië, Botswana, Lesotho en Swaziland - in het kader van samenwerkingsprojecten tussen de Vrije Universiteit en onderwijsinstellingen in deze landen - kan worden vastgesteld dat de verschillen in voorgeschiedenis nauwelijks van invloed zijn op de beantwoordingpatronen en op de uiteindelijke conclusies m.b.t. de verschillende onderzoeksgroepen (Licht e.a., 1985).

6. De opzet van het onderzoek en globale beschrijving van de test

Het onderzoek is uitgevoerd met een door ons ontwikkelde schriftelijke test, bestaande uit 12 vragen opgebouwd uit 46 vraagonderdelen. De testvragen zijn op formulering beproefd in gesprekken met kleine groepen leerlingen. Evenals Closset en Shiptone geven wij de voorkeur aan vragen waarbij leerlingen argumenten moeten geven voor het gekozen antwoord in een in méerkeuze-vorm gestelde vraag. In aanvulling op de resultaten van deze onderzoekers pogen wij ook een classificatie te geven van deze argumenten. Om de afname van de test mogelijk te maken in een lesuur is gekozen voor het vragen van argumentaties bij slechts de helft van het aantal vraagonderdelen.

In tabel 2 wordt een overzicht gegeven van de opbouw van de test

Wij geven een korte toelichting op deze tabel.

Er is gekozen voor een opzet waarbij meer testvragen een bijdrage moeten leveren aan de beantwoording van elke onderzoeksvraag, omdat wij willen weten in hoeverre leerlingen consequent een bepaalde redeneerwijze hanteren. De beantwoording van onderzoeksvraag 4 kan plaatsvinden op grond van analyses van alle testresultaten. Waar het evenwel gaat om het hanteren van het spanningsbegrip maken wij gebruik van de vragen 7, 8 en 9. De vragen 4 en 7 zijn niet afkomstig uit ander onderzoek. Vraag 4 test op een andere wijze dan vraag 3 de mate van sequentieel redeneren. De vraag is tevens opgenomen om mogelijke problemen met het begrip veranderbare weerstand uit vraag 3 te onderwerpen. Vraag 7 is ingevoegd als opstap naar de ingewikkelder vragen 8 en 9 en is naar onze mening nodig om de analyse van 8 en 9 mogelijk te maken.

vraag	aantal vraag onderdelen		bijdrage aan antw. op onderz.vraag	geheel of gedeelte- lijk afkomstig uit onderzoek van
	totaal	met argum.		
1	9	-	1	Shipstone
2	6	2	1	Shipstone
3	5	2	2	Closset
4	4	-	2	-
5	3	3	3	Cohen
6*	3	3	-	Cohen/Caillot
7	3	3	3/4	-
8	2	2	3/4	Shipstone
9	3	1	3/4	Shipstone
10	4	2	2/3	Closset
11	2	2	2/3	Shipstone
12	2	2	2/3	Shipstone

* Deze vraag doet in het kader van dit artikel niet ter zake

Tabel 2. De samenstelling van de testvragen

7. De testresultaten

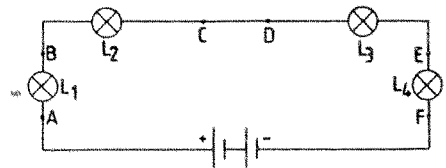
Het is in het kader van dit artikel niet mogelijk om de antwoorden op alle testvragen te analyseren. Wij geven de voorkeur aan een meer exemplarische behandeling in relatie tot de geformuleerde onderzoeksvragen.

Achtereenvolgens stellen wij aan de orde de testvragen 1 t/m 4, 7 en 10.

Vragen 1 en 2 : Serieschakelingen met lampjes (verkorte weergave)

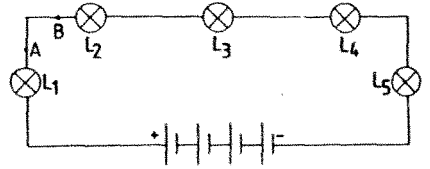
Vraag 1 betreft:

- de stroomrichting op verschillende plaatsen in de schakeling
- de stroom door L1, L2 en draadstuk CD



Vraag 2 betreft:

- de relatieve felheid van de lampjes;
- de stroomsterkte in AB in vergelijking met de sterkte in L1;
- de noodzakelijkheid van de gesloten kring



De gekozen antwoorden en de toelichtingen wijzen niet in de richting van het gebruik van een unipolair idee of botsende stromen idee. Alle leerlingen hanteren een eenrichtings-idee, zij het dat 6% de stroom van min naar plus laat gaan (zie par.5). Liefst 86% beantwoordt alle zes onderdelen van vraag 2 correct. Slechts 5% kiest consequent voor een afname van de felheid naarmate de lamp 'verderop' in de schakeling is opgenomen.

De belangrijkste argumentaties voor het even fel branden van L1 en L3 (uit vraag 2) zijn: de lampjes staan in serie (42%), er gaat evenveel stroom door elke lamp (29%) en de lampjes zijn gelijk (17%).

De vraagonderdelen met betrekking tot de draadstukken CD (vraag 1) en AB (vraag 2) leveren geen nieuwe informatie op.

Wij concluderen dat deze vragen door de Nederlandse leerlingen aanzienlijk beter worden beantwoord dan door de leerlingen van een vergelijkbare groep uit het onderzoek van Shipstone.

Een serieschakeling met lampjes geeft blijkbaar weinig problemen. Het percentage leerlingen dat redeneert in termen van stroom-consumptie is veel lager dan in de Engelse situatie. Maar de argumentaties sluiten een redenering in termen van een verdeling van stroom over de lampjes beslist niet uit. Het eenrichtings-idee wordt door allen gehanteerd. Wellicht werpt het intensieve praktisch werken met batterijen en lampjes in de DBK-methode hier zijn vruchten af.

Vragen 3 en 4: Serieschakelingen met lampjes en weerstanden

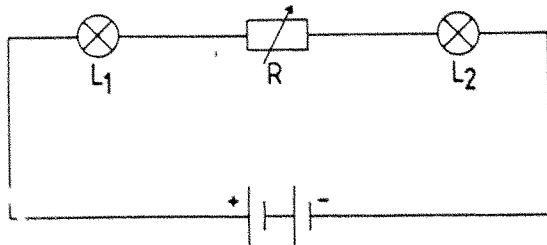
In onderstaande tabel geven wij een overzicht van de resultaten op testvraag 3

onderdeel	1	2	3
a	47	6	46*
b	18*	18	63
c	63*	32	5
d	18	19*	62
e	28	66*	4

* zijn steeds de correcte antwoorden

VRAAG 3

Deze vraag gaat over de invloed van een weerstandsverandering op de stroomsterkte in een kring. De kring (zie figuur) bevat twee batterijen, een veranderbare weerstand R en twee gelijke lampjes L_1 en L_2 .



Lees elk van de onderstaande zinnen en zet een kruis in een cirkeltje als je denkt dat de zin daardoor waar wordt.

- a) De felheid van lamp L_1 is groter dan 0
kleiner dan 0
even groot als 0 van lamp L_2 .
- b) Als de weerstand R wordt verkleind, zal de felheid van lamp L_1 toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.
- c) Als de weerstand R wordt verkleind, zal de felheid van lamp L_2 toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

Leg uit waarom.....

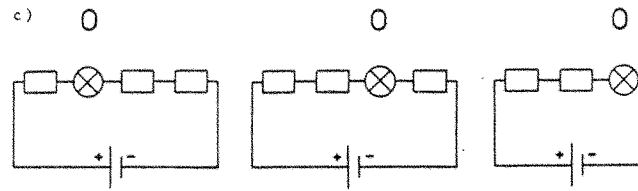
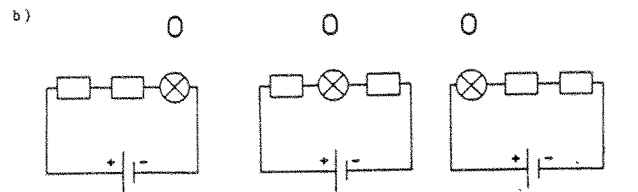
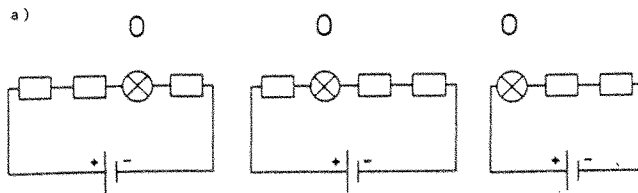
- d) Als de weerstand R wordt vergroot, zal de felheid van lamp L_1 toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

Leg uit waarom.....

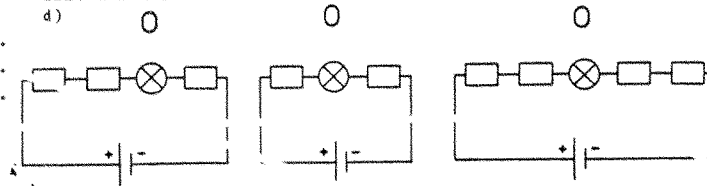
- e) Als de weerstand R wordt vergroot, zal de felheid van lamp L_2 toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

VRAAG 4

Deze vraag gaat over de invloed van weerstanden op de stroomsterkte in de getoonde kringen. De weerstanden zijn alle gelijk. Geef bij elk getekend drietal kringen aan welke lamp het felst is door een kruis te zetten in het cirkeltje erboven. Als je denkt dat alle drie lampjes met dezelfde felheid branden, zet dan een kruis in alle drie cirkeltjes.



Geef met een pijl de stroomrichting aan in de drie kringen bij vraag c.



In totaal komt 14% van de leerlingen tot een correct antwoord op alle onderdelen van testvraag 3. Dit is de enige vraag waar vwo-leerlingen significant hoger scoren dan mavo- en havo-leerlingen, met name op onderdeel a (80% correct in tegenstelling tot mavo 32% en havo 46%). Alvorens de resultaten nader te analyseren, moeten wij een opmerking maken over de kwaliteit van deze vraag. De termen 'vergroten' en 'verkleinen' van de weerstand R zijn ongelukkig gekozen. Als leerlingen denken aan de analogie met een buis waar water door gaat - wat vanuit de DBK-methode niet vreemd is - betekent 'vergroten' dat de buis een grotere diameter krijgt. De weerstand neemt dan af en de stroomsterkte toe. Het zou beter zijn geweest als gebruik was gemaakt van de termen 'verhogen' en 'verlagen' van weerstand R. Zien wij ter wille van de vergelijking met de resultaten van Closset even af van de mogelijke taalproblemen - door in de analyse de antwoorden op c1 en c2 samen te nemen - dan kiest 43% voor de antwoordcombinatie a1, d3, e2 (bij Closset 51%). 36% kiest voor de antwoordcombinatie a3, d3, c1 of e2.

Een kleine groep (7%) voorspelt dat vergroting van de weerstand L1 feller doet branden, omdat de stroom zich ophoopt voor de weerstand. Voor 60% van de leerlingen maakt het voor de felheid van L1 niet uit of de weerstand nu groter of kleiner wordt (combinatie van onderdeel b en d).

Wij concluderen dat het sequentieel redeneren in de Nederlandse groep nog duidelijker naar voren komt dan in de Belgische populatie. Ruim 60% van de leerlingen geeft aan dat L1 even fel blijft branden, omdat L1 geen invloed ondervindt van de weerstand of geen last heeft van de weerstand of vòòr de weerstand staat. Deze leerlingen duiden wij in het vervolg ook wel aan als 'sequentieel-redeneerders'.

Slechts 7% beantwoordt testvraag 4 helemaal correct. Maar liefst 73% (van de leerlingen die alle onderdelen beantwoorden) kiest voor de antwoordcombinatie a3, b3, c1, d2 en voorspelt dat het lampje dat door het kleinste aantal weerstanden wordt voorafgegaan, het felst brandt. Andere antwoordcombinaties komen niet voor bij meer dan 4% van de leerlingen. In combinatie met vraag 3 wordt duidelijk dat het merendeel (80%) van de leerlingen die de termen 'vergroten' en 'verkleinen' van de weerstand R in testvraag 3 verkeerd hebben opgevat, in testvraag 4 niet consequent kiezen voor de situaties met het grootste aantal weerstanden voor het lampje.

In samenhang met vraag 3 kan geconcludeerd worden dat het sequentieel redeneren in sterke mate voorkomt. Van de leerlingen die sequentieel redeneren in vraag 3 doet 93% dat ook in vraag 4. Het veranderen van een weerstand heeft geen effect op een lampje als de weerstand achter

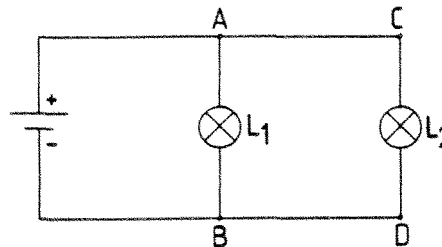
Vraag 7: twee parallelle lampjes

De resultaten op de vraag zijn:

	1	2	3	blanco
a	64	3	32*	1
b	59	13	22*	6 ⁰
c	48	8	38*	6 ⁰

Opmerking: o deze blanco's worden vooral veroorzaakt door onbekendheid met het begrip potentiaalverschil

Deze vraag gaat over de invloed van het verwijderen van één van twee gelijke lampjes, die parallel zijn geschakeld. Een ideale spanningsbron is verbonden met twee gelijke lampjes L_1 en L_2 (zie figuur). Beide lampjes b'fanden. Lamp L_2 wordt uit zijn fitting gehaald. Wat gebeurt er?



Zet een kruis in een cirkeltje als je denkt dat de zin daardoor waar wordt.

- a) De felheid van lamp L_1 zal toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

Leg uit waarom.....
.....
.....

- b) Het potentiaalverschil tussen C en D zal nul worden 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

Leg uit waarom.....
.....
.....

- c) Het potentiaalverschil tussen A en B zal toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

Leg uit waarom.....
.....
.....

het lampje staat, maar heeft wel invloed als het lampje op de weerstand volgt. Een lampje brandt dan ook het felst als het door zo weinig mogelijk weerstanden wordt voorafgegaan.

De leerlingen die hun antwoorden beargumenteren (N = 184, 80% van het totaal), doen dat op de volgende manier:

bij onderdeel a:

de felheid neemt toe, want/de stroom verdeelt zich niet meer (59%)/de spanning gaat helemaal naar L1 (7%);

de felheid blijft gelijk, want/het is een parallelschakeling (20%)/de stroom door de lamp blijft gelijk (3%)/er gaat nog steeds stroom door CD (8%), bijvoorbeeld door de fitting;

bij onderdeel b:

de spanning zal nul worden, want/er is geen stroom in CD (42%)/de kring is verbroken (17%)/er is geen lamp (of verbruiker) meer in CD (6%); de spanning zal afnemen, want er is geen stroom in CD (5%);

de spanning zal gelijk blijven, want/er gaat nog steeds een stroom door CD (11%)/het is een parallelschakeling (6%);

bij onderdeel c:

de spanning zal toenemen, want/alle stroom gaat door AB (46%)/L1 krijgt ook de spanning van L2 (12%);

de spanning zal gelijk blijven, want/het is een parallelschakeling (20%)/de spanningsbron blijft gelijk (5%).

Combinatie van onderdeel a met c levert op dat voor 15% van de leerlingen de felheid van de lamp kan toe- of afnemen zonder dat de spanning tussen A en B verandert. Voor 7% blijft de felheid gelijk ook al neemt de spanning toe of af. Voor de overigen loopt het al of niet veranderen van de felheid wel parallel met een overeenkomstige verandering van de spanning.

Op grond van sequentieel redeneren zou in onderdeel a voor a 3 gekozen dienen te worden. Lampje L2 kan L1 niet beïnvloeden, omdat L2 na het vertakkingspunt A ligt. Hier blijkt echter bij vele leerlingen sprake van een concurrerend idee, namelijk dat van een constante stroom in de schakeling. Op het knooppunt A aangekomen kan de geleverde stroom niet verder naar L2 en 'gaat dan ook maar naar L1'. Impliciet wordt hier het idee van een constante stroombron toegepast. In hoeverre hier praktijkervaring met voor- en achterlicht van een fiets een rol speelt, is niet duidelijk. Als het licht kapot gaat, gaat het achterlicht feller branden. De dynamo is niet op te vatten als een 'ideale spanningsbron'. Ook in het onderwijs aangeboden modellen als waterstromen en verkeersstromen kunnen het constante-stroom idee bevorderen.

vraag 10: een combinatie van serie- en parallelgeschakelde lampjes

	1	2	3
a	78*	6	16
b	6	6	88*
c	13	6*	81
d	62*	8	29

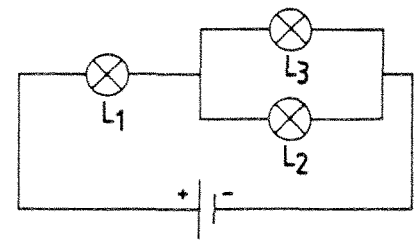
vraag a en b gecombineerd (tussen haakjes de resultaten bij Closset)

- ab 1 $L_1 > (L_2 = L_3)$ 70% (72%)
ab 2 $L_1 = L_2 = L_3$ 16% (12%)

Vraag c en d gecombineerd:

- cd 1 (L_1 , voor = L_1 , na) en (L_2 , voor = L_2 , na)
 23% (20%)
cd 2 (L_1 , voor = L_1 , na) en (L_2 , voor < L_2 , na)
 54% (50%)
cd 3 (L_1 , voor < L_1 , na) en (L_2 , voor < L_2 , na)
 9% (9%)

Deze vraag gaat over de felheid van lampjes in de onderstaande kring. Een ideale spanningsbron is verbonden met drie gelijke lampjes (zie figuur).



Zet een kruis in een cirkeltje als je denkt dat de zin daardoor waar wordt.

- a) De felheid van lamp L_1 is groter dan 0
kleiner dan 0
even groot als 0 van lamp L_2 .
 b) De felheid van lamp L_2 is groter dan 0
kleiner dan 0
even groot als 0 van lamp L_3 .

Lamp L_3 wordt uit zijn fitting gehaald.

- c) De felheid van lamp L_1 zal toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

Leg uit waarom.....

- d) De felheid van lamp L_2 zal toenemen 0
afnemen 0
gelijk blijven 0.

Leg uit waarom.....

Van de leerlingen die sequentieel redeneren in de vragen 3 en 4, doet slechts 35% dat ook in vraag 7, mits wij de argumentatie bij onderdeel 7a met de woorden 'het is een parallelschakeling en dus blijft de felheid van L1 gelijk' opvatten als een uiting van dit sequentieel redeneren. Een uitleg in termen van gelijkblijvende spanning over L1 komt niet voor.

De conclusie is dat ruim 60% van de leerlingen een constante-stroom idee hanteert in situaties met parallelgeschakelde componenten. Het antwoord op vraag 7a kan als uitgangspunt dienen voor de analyse van de overige vragen met vertakkingen (8 t/m 12).

De begrippen stroom en spanning liggen voor veel leerlingen dicht bij elkaar. Een toegenomen spanning wordt verklaard door een toegenomen stroom. Een toename van stroom in een tak van een parallelschakeling kan optreden als het de stroom in een andere tak moeilijk wordt gemaakt. Vervolgens neemt dan ook de bijbehorende spanning toe.

De resultaten in de Belgische en de Nederlandse populatie ontlopen elkaar nauwelijks. In de Nederlandse populatie komt slechts één leerling tot een correct antwoord op de onderdelen c en d met een argumentatie in termen van toe- en afgenomen stroomsterkte door beide lampjes. Het is voor de verdere discussie van belang de meest voorkomende argumentaties bij de antwoorden op de onderdelen c en d weer te geven:

bij onderdeel c

- felheid L1 neemt toe, want/er gaat meer stroom door L1 (6%)/er zijn nu twee in plaats van drie lampjes (5%);
- felheid L1 neemt af, want/de stroom wordt minder (2%)/L1 staat nu in serie met L2 (2%);
- felheid L1 blijft gelijk, want/L1 staat voor L2 en L3 en/of L1 heeft niets met L3 te maken (39%)/L3 staat parallel en heeft niets met L1 te maken (23%)/de stroom blijft gelijk (13%)/de spanning blijft gelijk of 'er loopt dezelfde spanning' (15%).

bij onderdeel d

- felheid L2 neemt toe, want/er gaat meer stroom door L2 (55%)/L2 staat nu in serie met L1 (8%)/de spanning verdubbelt (5%);
- felheid L2 neemt af, want ... (geen argumentaties die meerdere malen voorkomen);
- felheid L2 blijft gelijk, want/het is een parallelschakeling (13%)/L1 en L2 staan in serie (4%).

De twee wijzen van redeneren, zoals naar voren gekomen in de vragen 3, 4 en 7, openbaren zich ook in vraag 10. Verreweg de meeste leerlingen

redeneren sequentieel waar het gaat om het branden van L1 na het verwijderen van L3 (81%, zie ook de argumentaties). Slechts 23% houdt deze sequentiële redeneerwijze vast als het gaat om het branden van L2.

Maar 54% van de 'sequentieel redeneerders' bij L1 laat L2 feller branden vanwege een stroom- of spanningstoename (zie argumentaties). Een globale wijze van redeneren, waarbij de schakeling als geheel wordt opgevat, komt nagenoeg niet voor.

8. De beantwoording van de onderzoeksvragen

De beantwoording van de onderzoeksvragen kan voor een groot deel worden gebaseerd op de in de vorige paragraaf beschreven resultaten. Soms wordt evenwel gebruik gemaakt van resultaten op testvragen die hier niet aan de orde zijn gesteld. Wij geven dan aan op welke testvragen wij ons bovendien baseren.

het antwoord op vraag 1

Er zijn geen tekenen die wijzen op het hanteren van een unipolair of botsende-stromen idee. Alle leerlingen hanteren een eenrichtingsidee. Het wordt uit de test niet duidelijk hoe leerlingen zich de werking van een lampje en een weerstand voorstellen. Schakelingen met alleen lampjes nodigen slechts een klein aantal leerlingen uit expliciet te redeneren in termen van 'stroomverbruik'. Het redeneren in termen van 'stroomverbruik' en 'stroomophoping' neemt toe als een weerstand wordt opgenomen in de schakeling. Een lampje wordt blijkbaar door velen niet als weerstand opgevat.

het antwoord op vraag 2

Van de ruim 60% 'sequentieel redeneerders' in situaties met seriegeschakelde componenten, kan worden aangetoond dat ca. 85% dit consequent doet, d.w.z. in alle vragen waar dit mogelijk was (vragen 3, 4, 10, 11 en 12). Het gaat hier in totaal dus om ca. 50% van de leerlingen.

Van de ca. 20% sequentieel redeneerders in situaties met parallelgeschakelde componenten, kan worden aangetoond dat ca. 90% consequent op deze wijze redeneert, d.w.z. in alle vragen waar dit mogelijk was (vragen 7 t/m 12).

het antwoord op vraag 3

Van de ruim 60% 'constante-stroom denkers' in situaties met parallelgeschakelde componenten kan worden aangetoond dat ca. 60% dit idee consequent hanteert, d.w.z. in alle vragen waar dit mogelijk was (vragen 7 t/m 12). Het gaat hier dus om ca. 35% van de leerlingen. Dit constante-stroom denken wordt bevorderd door de leerling-ideeën over de batterij. De batterij wordt beschouwd als constante stroombron en niet als constante spanningsbron (vraag 5).

het antwoord op vraag 4

De begrippen stroom en stroomsterkte hebben bij leerlingen verreweg de voorkeur boven het begrip spanning, als het gaat om het doen van voorspellingen in eenvoudige elektrische schakelingen. Voor bijna een kwart van de leerlingen staan veranderingen in stroom door en spanning over een lampje niet met elkaar in verband. Bijna de helft van de leerlingen schrijft een spanningstoename toe aan een stroomtoename. Stroom is dan de oorzaak van spanning.

Blijkbaar worden hier concepten en redeneerwijzen getoetst die niet in deze vorm aan de orde komen in het onderwijs. Het gevolg is dat de resultaten over het geheel genomen slecht zijn. Maar opvallender is dat er geen verschillen zijn tussen de mavo-, havo- en vwo-groep. Op deze - naar onze mening fundamentele - vragen over stroom, spanning en schakelingen - blijven alle groepen voor het grootste deel het juiste antwoord schuldig.

9. Waar moeten leraren en onderzoekers aan werken?

In het kader van dit artikel gaan wij niet uitvoerig in op de implicaties voor het onderwijs. Wij hebben het plan dat later wel te doen.

In dit stadium sommen wij slechts op waar naar onze mening door leraren en onderzoekers aan gewerkt moet worden;

- a. het moet leerlingen duidelijk worden dat een batterij niet opgevat kan worden als constante stroombron maar als constante spanningsbron. Wij hebben enkele argumenten om dit constante spanningsdenken te willen bevorderen:
 - als praktijksituatie kiezen wij in ieder geval voor gewone lampen en het stopcontact. Daarbij hebben wij te maken met een constante spanning;
 - in het beginnend electriciteitsonderwijs hebben wij nog geen behoefte aan het onderscheid tussen ideale en niet-ideale spanningsbronnen;
 - expliciete aandacht voor het spanningsbegrip is noodzakelijk (zie ook b);
 - het voorspellen en verklaren van de werking van eenvoudige schakelingen, zoals gepresenteerd in dit artikel, verloopt aanzienlijk eenvoudiger in termen van spanning dan in termen van stroom. Ook al worden er veranderingen aangebracht in de schakeling, de spanning van de bron is het constante element in de schakeling en daarmee in de redenering.

Een praktisch probleem is dat in de klas vaak wordt gewerkt met batterijen met een te hoge inwendige weerstand. Zeker in het beginnend electriciteitsonderwijs is de keuze van geschikte - helaas wat duurdere - bronnen van groot belang. Het niet kunnen of willen doen van deze investering leidt ertoe dat veel leraren afzien van prak-

- tikomopdrachten waarin veranderingen in een schakeling moeten worden aangebracht. Zij komen een aantal van de hier beschreven begrips- en redeneerproblemen bij leerlingen dan ook niet op het spoor.
- b. wij zullen ons moeten verdiepen in de vraag hoe aan de begrippen stroom en spanning een voor leerlingen te onderscheiden en relevante inhoud gegeven kan worden;
 - c. wij zullen leerlingen moeten confronteren met hun redeneerwijzen. Een mogelijkheid dit te doen is leerlingen enkele vragen voor te leggen uit deze test, en vervolgens een weddenschap met ze aangaan dat ruim x% in de beantwoording een bepaalde fout heeft gemaakt. Discussie en toetsing aan concrete situaties kunnen een dergelijke confrontatie voorlopig afronden. Een week later wordt weer een dergelijke discussie opgezet aan de hand van een ander, vergelijkbaar, probleem (suggestie van Closset);
 - d. wij zullen leerlingen moeten stimuleren een schakeling als geheel te zien, als een systeem. Wellicht dat het fietskettingmodel hier enige uitkomst kan brengen (Härtel, 1982). Met dit model wordt duidelijk dat de energiegever (het kamrad) via een samenhangend systeem (de ketting) verbonden is met de energieconsument (het achterwiel). Wij moeten ons er echter van bewust zijn dat dit soort modellen en analogieën nieuwe conceptuele- en redeneerproblemen bij leerlingen kunnen introduceren;
 - e. wij zullen op de hoogte moeten blijven van binnen- en buitenlandse onderzoeksresultaten. De hier beschreven test heeft aangetoond dat de situatie in Nederland even zorgelijk is als in België en Engeland. Uit andere publicaties blijkt, dat deze gegevens gelden voor de hele westerse wereld. Wij zullen elkaar moeten helpen om oplossingen te vinden voor de geconstateerde problemen. Samenwerking tussen een groep leraren en een didactisch instituut lijkt ons een gewenste opzet.

Literatuur

- Caillot, M. Problem representation and problem solving procedures in electricity. In: R.Duit, W.Jung, Chr.von Rhöneck (eds.), *Aspects of Understanding Electricity*, I.P.N., 1985.
- Closset, J.L. Woher stammen bestimmte 'Fehler' von Schulern und Studenten aus dem Bereich der Elektrizitätslehre? Kann man sie beheben?, *Physik Unterricht*, 2, 21-31, 1984.
- Cohen, R., Eylon, B., Ganiel, U. Potential difference and current in simple electric circuits: A study of students' concepts, *American Journal of Physics*, 1983.
- Genderen, D.van. Context als β -didactisch begrip, *Tijdschrift voor didactiek der β -wetenschappen*, 3, 183-194, 1985.

- Härtel, H. The electric circuit as a system: A new approach, *European Journal of Science Education*, 4, 45-55, 1982.
- Licht, P. *Differentiatie binnen klasseverband voor natuurkunde*. Een onderzoek in de leerjaren 3-havo-vwo en 2 mavo-havo-vwo. Dissertatie, 1982.
- Licht, P., Kuiper, J., Thijs, G., Dulfer, G. *Test on students' conceptions on basic electricity*, 1985 (internal report).
- Licht, P., Snoek, M. *Motiverende contexten in het electriciteitsonderwijs*. NVON-maandblad, 11, 3, 21-23, 1986.
- Nachtigall, D. Misconceptions in physics and a strategy to overcome them. In: P.L.Lijnse (ed.), *The many faces of teaching and learning mechanics*, Utrecht: W.C.C., 1984.
- Osborne, R. Children's Ideas about Electric Current, *New Zealand Science Teacher*, 29, 12-19, 1981.
- Shipstone, D.M. *A Study of secondary school pupils' understanding of current, voltage and resistance in simple D.C.circuits*, University of Nottingham, 1983 (internal report).
- Solomon, J. Learning about energy: how pupils think in two domains, *European Journal of Science Education*, 5, 49-59, 1983.