

Misconcepties, elektriciteit, energie en basisvorming

De kerndoelen van elektriciteit wijken af van traditionele doelen voor elektriciteitsonderwijs. Tot dusver werden begrippen/onderwerpen als lading, stroomsterkte, spanning, en weerstand benadrukt en werden zowel serie- als parallelschakelingen behandeld. Het kernbegrip in de basisvorming is elektrische energie en de belangrijkste begrippen zijn energie, vermogen, stroomsterkte en spanning. Elektrische schakelingen worden gezien als energietransporteurs en energie-omzetters. De nadruk op energie past bij de "consumenten"-oriëntatie van de basisvorming. Het ladingsbegrip en serieschakelingen komen niet meer voor in de kerndoelen, de docent kan zelf kiezen of deze onderwerpen wel of niet aan bod komen.

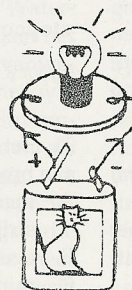
AUTEURS

Ed van den Berg, DBK groep en Vrije Universiteit, Amsterdam.
Wim Grosheide, Hermam Wesselink College, Amstelveen.
Jannie Breedijk, Het Baken, Almere.
Anneke Schouten, Het Baken, Almere.

Misconcepties

Vakdidactisch onderzoek heeft de laatste 15 jaar laten zien dat fouten en onbegrip van leerlingen diepe wortels hebben. Al voordat ze natuurkunde-onderwijs krijgen, hebben leerlingen al ideeën over stroom, licht, en andere natuurkunde-begrippen. Die ideeën zijn nog vaag, maar wel vaak strijdig met wat de schoolnatuurkunde leert. Ze worden dan *misconcepties* of *alternatieve concepties* genoemd. Vaak wordt de voorkeur gegeven aan de term alternatieve concepties omdat veel misconcepties bepaald niet dom zijn en overeenkomen met opvattingen uit de geschiedenis van de natuurwetenschap¹. Die misconcepties zijn vaak tamelijk resistent tegen instructie, door instructie worden misconcepties juist vaak sterker. Misconcepties worden gevonden op **alle** niveaus van onderwijs (inclusief bij studenten op de universiteit). Voorbeelden zijn talrijk, om maar enkele te noemen op het gebied van elektriciteit²:

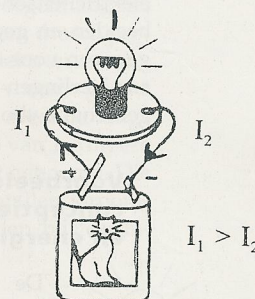
- a) Sommige leerlingen denken dat er in een elektrische schakeling (bv. batterij en lamp) twee stromen zijn, één van + naar de lamp en één van - naar de lamp, die stromen botsen en 'er is licht' (figuur 1a).



In de lessen lijkt dat idee snel te verdwijnen, maar soms steekt het ineens de kop weer op. De definitie van stroom gaande van + naar - en de elektronenstroom van - naar +, werkt uiterst verwarrend en kan deze misconceptie versterken! Een bovenbouwleerling was ervan overtuigd dat in een draad protonen van + naar - gaan en elektronen van - naar +. Er moet toch iets van + naar - gaan! De oude misconceptie lost dat probleem op!

- b) Een populair idee is dat stroom 'geconsumeerd' wordt, dus dat stroom die een lamp ingaat groter is dan de stroom die eruit komt (figuur 1b).

Dit idee is zeer hardnekkig en waarschijnlijk een gevolg van verwarring van stroomsterkte en energie. Dat is één van de redenen waarom de basisvorming veel aandacht besteedt aan elektrische energie.



- c) Veel leerlingen zien een spanningsbron als een bron die een constante stroom levert, ongeacht het aantal lampen dat er aan gehangen wordt.
d) Veel leerlingen (ook op hogeschool- en universiteitsniveau) denken dat veranderingen in serieschakelingen alleen >

Schakelingen

De leerlingen kunnen:

- de onderdelen van een elektrische schakeling onderscheiden die energie leveren, gebruiken, en transporteren;
- aangeven dat een elektrische schakeling alleen functioneert als deze gesloten is;
- goede en slechte geleiders van elektrische stroom onderscheiden;
- een eenvoudig schema gebruiken bij het bouwen van een elektrische of elektronische schakeling in een practicumopstelling.

Energiegebruik

De leerlingen kunnen:

- het energiegebruik van apparaten in een parallelschakeling berekenen en aangeven waar de hoeveelheid gebruikte energie van afhangt;
- het vermogen van apparaten in een parallelschakeling berekenen en een kostenberekening maken van het energiegebruik;
- een keus maken tussen gelijksoortige apparaten op grond van argumenten ten aanzien van energiegebruik en veiligheid.

Energiebronnen

De leerlingen kunnen:

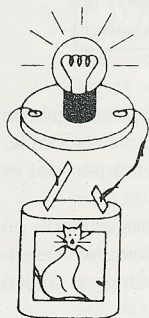
- aangeven dat elektrische energie wordt opgewekt in elektriciteitscentrales en vervolgens wordt gedistribueerd naar industrie en huishouden.

- > 'stroomafwaarts' effect hebben. De basisvorming fietst netjes om dit probleem heen: serieschakelingen staan niet in de kerndoelen!

Je kunt die misconcepties niet zomaar verbeteren door te vertellen hoe het in elkaar zit, bijvoorbeeld dat de stroomsterktes *naar* en *uit* de lamp gelijk zijn. Zodra de context verandert, steken oude misconcepties weer de kop op. Het corrigeren (remediëren) van misconcepties is dan ook veel moeilijker dan men oorspronkelijk dacht.

Welke misconcepties kun je nu verwachten wanneer *energie* het kernbegrip wordt voor elektriciteitsonderwijs? De volgende voorbeelden en gegevens komen uit een toets gegeven voor en na elektriciteitsonderwijs aan leerlingen van 5 derde klassen met een gemengde vbo t/m vwo 'bevolking'.

Voorbeelden van misconcepties over elektriciteit en energie



De toetsitems zijn opgenomen met naast elk alternatief percentages van leerlingantwoorden op een voor- en natoets.

Leerlingen maken geen verschil tussen energie en stroomsterkte:

In figuur 2 zie je een lampje met draden aangesloten op een batterij. Het lampje brandt.

1. Kun je zeggen dat de batterij iets levert? De batterij levert:

	0% (voor)	0% (natoets)
A. niets.		
B. stroom.	25	6
C. energie.	14	75
D. energie en stroom	58	19
E. iets anders (schrijf antwoord op achterkant van antwoordenblad)		

3. Kun je zeggen dat het lampje iets verbruikt?

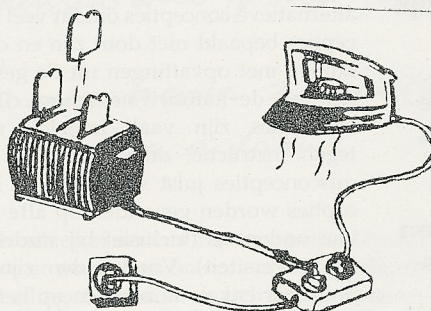
	1%	2%
A. Nee, niets.		
B. Ja, stroom.	28	3
C. Ja, energie.	39	93
D. Ja, stroom en energie.	30	2
E. iets anders (schrijf antwoord op achterkant van antwoordenblad)		

In interviews en open vragen zeggen leerlingen vaak expliciet dat stroom en energie hetzelfde zijn. Daar is best wat voor te zeggen, het gaat de consument tenslotte om de energiestroom!

Voor leerlingen hoeven energie *levering* en *verbruik* niet gelijk te zijn zoals ook blijkt uit de volgende vragen.

VRAAG 21 - 23

We sluiten een broodrooster en een strijkijzer aan op een verdeeldoos (figuur 3). De verdeeldoos is aangesloten op een stopcontact. We laten beide apparaten één minuut aanstaan. Daarna halen we het broodrooster los uit de verdeeldoos. We laten nu het strijkijzer alleen één minuut aanstaan.



stopcontact

verdeelddoos

Figuur 3

21. Het stopcontact levert in één minuut aan broodrooster en strijkijzer samen

	46%	71%
A. meer energie dan aan het strijkijzer alleen		
B. evenveel energie	51	27
C. minder energie	3	2

22. Broodrooster en strijkijzer samen verbruiken in één minuut

	60%	83%
A. meer energie dan het strijkijzer alleen		
B. evenveel energie	39	13
C. minder energie	1	3

Stroomlevering en afname:

23. Vergelijk de stroom uit het stopcontact als broodrooster en strijkijzer samen aanstaan met de stroom als alleen het strijkijzer aanstaat.

De stroom naar broodrooster en strijkijzer samen is

	40%	70%
A. groter dan de stroom naar het strijkijzer alleen		
B. even groot	50	25
C. kleiner	9	4

Kortom, voor leerlingen lopen de begrippen stroom (*I*), spanning (*V*), en energie (*E*) door elkaar. Stroom wordt (onbewust) gezien als een soort brandstof die door draden stroomt naar apparaten en daar geheel of gedeeltelijk wordt verbruikt³. Een stop-

contact of een batterij is een energiebron waar apparaten 'naar behoefte' uit putten. De 'energielevering' van een bepaalde spanningsbron is altijd gelijk ('220 toch?'), terwijl 'energieverbruik' alleen afhangt van het apparaat (niet van de schakeling volgens velen). Vermogen is wat er op de lamp of het apparaat staat, onafhankelijk van spanningsbron of schakeling⁴. Het belangrijkste probleem in het elektriciteitsonderwijs is het duidelijk definiëren en visualiseren van de sleutelbegrippen (*I*, *V*, *E*, *P*,

R) en het duidelijk maken van de verschillen tussen deze begrippen.

De afgelopen 4 jaar hebben we geëxperimenteerd met elektriciteitsonderwijs in gemengde vbo-mavo-havo-vwo onderbouwklassen, maar ook in gymnasiumklassen. De ideeën die we daar hebben opgedaan zijn verwerkt in lesmateriaal⁵, maar de belangrijkste ideeën kunnen gemakkelijk in/naast ander lesmateriaal voor de basisvorming worden gebruikt.

Energie gekoppeld aan waarneming via 'taak'

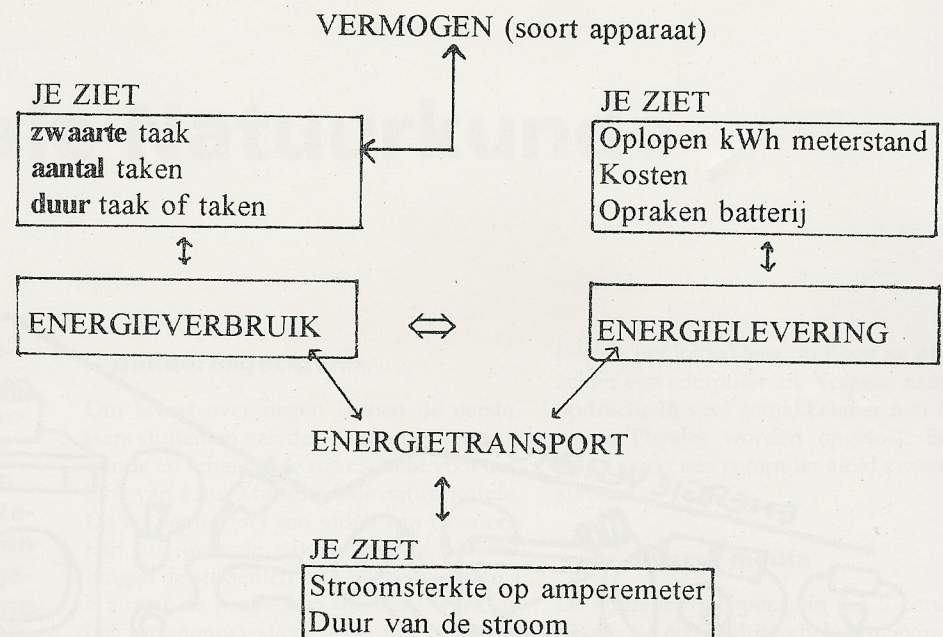
Niet alle intuïtieve ideeën van kinderen zijn fout. De kunst is juist de goede ideeën eruit te pikken en verder te ontwikkelen. Reeds vóór elektriciteitsonderwijs (op basisschoollleeftijd!) hebben kinderen het idee dat er in elektrische schakelingen iets 'verbruikt' wordt. Zodra ze leren over elektrische stroom, koppelen ze dat intuïtieve idee aan stroomsterkte: stroom wordt verbruikt. Het spraakgebruik in het dagelijks leven versterkt dit. Als je nu eens het elektriciteitsonderwijs met energie zou beginnen, en dan 'verbruik' koppelde aan energie⁶?

Maar energie is zo'n ingewikkeld begrip waar op zich ook weer misconcepties over bestaan. Op de één of andere manier moet je dat koppelen aan directe waarneming. Zo besloten we enkele tussenbegrippen te definiëren: **taak** en **zwaarte van de taak**.

Een elektrische schakeling voert een taak uit: laat een lamp branden, een motor draaien, produceert geluid (radio) of warmte (strijkijzer), of 'wast' (wasmachine). Hoe meer taken er worden uitgevoerd, hoe meer energie er nodig is. Hoe **zwaarder** de taak is, hoe **meer energie** er nodig is. Als er meer apparaten aanstaan, worden er meer taken uitgevoerd. Het **aantal** taken heeft dus invloed op de benodigde energie. De taak kan ook gesplitst worden in **gewenste** en **ongewenste** taak. Bijvoorbeeld, de gewenste taak van een gloeilamp is licht geven, de ongewenste taak is warmte geven. Leerlingen pikken dit vrij gemakkelijk op en zo kan men zelfs doorstappen naar een begrip als rendement. Leerlingen oefenen met dit taakbegrip. Vermogen wordt geïntroduceerd. Leerlingen maken schakelingen waarbij het taakbegrip weer gekoppeld wordt aan wat ze zien (felle en zwakke lampjes, etc.) en waarbij dan verschil wordt gemaakt tussen actueel (werkelijk) vermogen en maximaal vermogen (dat wat op het apparaat staat en hoort bij een bepaalde spanning). We hebben dit taakbegrip ondergebracht in een schema dat in het lesmateriaal stap voor stap ontwikkeld wordt. De eindversie van het schema staat in figuur 4.

Voorbeeld van toepassing van het schema: *vergelijk het energieverbruik van een lamp met dat van een tv en een lamp. In het tweede geval is het aantal taken groter, dus wordt er meer energie verbruikt en moet er meer energie geleverd worden. Je zult zien dat de totale stroomsterkte groter is.*

De leerlingen gebruiken dit taakbegrip intuïtief vrij goed. Het is belangrijk dat de



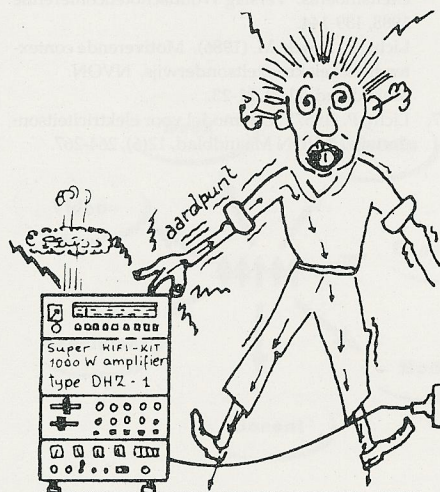
Figuur 4: Schema energie-taak-vermogen-stroomsterkte

docent het taakbegrip blijft gebruiken want de redenering via taak en zwaarte van de taak kan leerlingen vaak voor fouten behoeden. De docent is nu juist geneigd het taakbegrip niet te gebruiken omdat hij/zij dit niet gewend is!

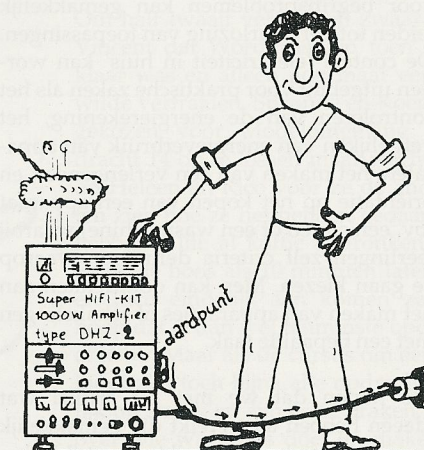
Stroomsterkte: Voor introductie van stroomsterkte is gekozen voor een microscopisch model: 'stroomdeeltjes'. Watermodellen en andere analogieën blijken het niet zo goed te doen, onder andere vanwege onbekendheid van leerlingen met waterstromen in gesloten systemen⁶. Stroomdeeltjes kunnen gedefinieerd worden als de **vervoermiddelen** voor energie: de vrachtwagens die de energie transporteren, of de mannetjes met rugzakjes die energie afleveren (het laatste spreekt meer aan). Op die manier krijg je automatisch behoud van stroomdeeltjes dus een constante stroomsterkte. Er wordt niet gesproken over de elektrische lading van een stroomdeeltje (+ of -). Dat heeft het voordeel dat er geen probleem ontstaat over de richting van de stroom. Bij goede boven-

bouw leerlingen hebben we regelmatig het idee gevonden dat er (door een draad) protonen van + naar - gaan en elektronen van - naar +, *er moet toch iets van + naar - gaan?* Hoeveel stroomdeeltjes per seconde langs komen bij een stroomsterkte van 1 Ampère wordt alleen in een voetnoot genoemd. Die bewuste vaagheid over aantallen stroomdeeltjes geeft geen problemen bij leerlingen.

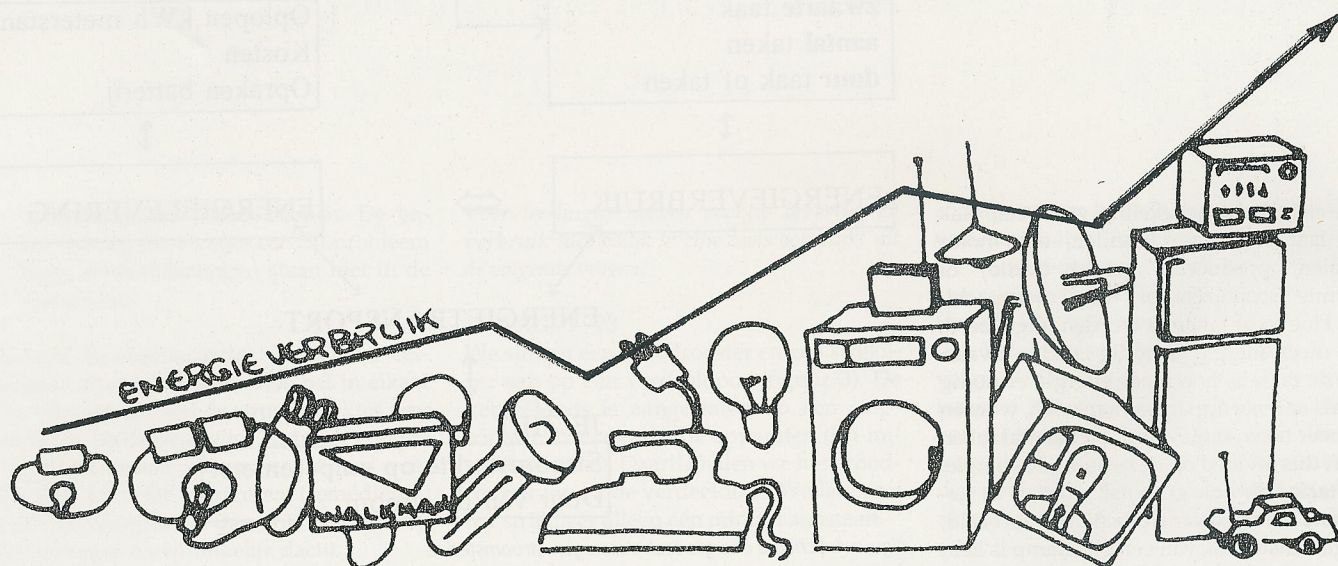
Spanning wordt gedefinieerd als de **energie per stroomdeeltje** en leerlingen kunnen zich dat direct voorstellen als de inhoud van de rugzak of de lading op de truck. Een belangrijk nadeel van deze definitie van spanning en van de omzeiling van het ladingsbegrip is dat de **oorzaak** van de beweging van stroomdeeltjes niet aan bod komt. Leerlingen hebben daar tot dusver geen problemen mee. In de bovenbouw kan men het spanningsbegrip verdiepen via het veldbegrip of via Licht's alternatief van ladingsdichtheid⁷. We vergelijken die stroomdeeltjes met energie vaak met mannetjes (=stroomdeeltje) die met rugzakjes vol energie (V) door de draden rennen. Die analogie slaat goed aan en heeft als grote voordeel dat leerlingen direct beseffen dat deze analogie slechts een hulpmiddel is en dat de werkelijkheid wel gecompliceerder zal zijn. Enkele docenten hebben deze analogie ook in de klas uitgespeeld door leerlingen voor stroomdeeltje te laten spelen en ze bonen of rijst te geven als energie (het DBK model) en te laten zien hoe zo'n leerlingenstroom wordt beïnvloed door obstakels (weerstand) in serie of parallel. Bovenbouwleerlingen wisten zich dat 2^{1/2} jaar later nog haarfijn te herinneren en fysisch correct(!) toe te passen, ze herinnerden zich zelfs wat I en V waren door zich eerst het model voor de geest te halen en vervolgens deze begrippen te herconstrueren met het model.



Zonder (rand)aarde



Met (rand)aarde



> Via dit deeltjesmodel kunnen **stroomsterkte**, **spanning** en **vermogen** goed uit elkaar gehouden worden: stroomsterkte is het aantal deeltjes (vervoermiddelen) dat per seconde langs komt, spanning is de (energie)vracht per deeltje, en vermogen is het aantal deeltjes per seconde (I) maal de energie per deeltje (V) dus $P = V \cdot I$ en het energieverbruik gedurende een bepaalde periode is het totale aantal deeltjes ($I \cdot t$) maal de energie per deeltje (V). Een collega maakte het model nog mooier door energie rechtstreeks met geld te vergelijken: stroomdeeltjes komen bij een lamp aan en geven 'geld' af. Dat deed het heel goed bij leerlingen en de link met de elektriciteitsrekening is gelegd, je betaalt voor energie, niet voor stroom. De 'geldanalogie' zou ook beter kunnen werken bij serieschakelingen: voor het passeren van elke weerstand moet het stroomdeeltje betalen! Ons

"Hoezo, ongewenste taak?!"



deeltjesmodel is overigens ook gemakkelijk uit te breiden naar serieschakelingen. Leerlingen meten het spanningsverval over weerstanden in serie en daaruit volgt vanzelf de energieafgifte: bij elke weerstand vermindert de energie per stroomdeeltje. Hoe die stroomdeeltjes nu 'weten' hoeveel energie ze moeten afgeven, kan in de bovenbouw behandeld worden na de invoering van het elektrisch veld.

In de praktijk blijkt dat de meeste leerlingen in gemengde vbo- t/m vwo-klassen goed mee kunnen tot en met de introductie van stroomsterkte. Het deeltjesmodel geeft een mooie visualisatie van stroomsterkte en energietransport, en dat helpt. Het spanningsbegrip is moeilijker. De differentiatie van stroomsterkte en energie lukt uitstekend, maar de differentiatie van spanning en energie geeft moeilijkheden met de zwakkere leerlingen. Het feit dat het vermogen van een apparaat geen constante is (wat er op staat) maar afhankelijk is van de spanning over het apparaat (en dus van de stroomkring), geeft veel moeilijkheden.

Praktische toepassingen: Extra aandacht voor begripsproblemen kan gemakkelijk leiden tot verwaarlozing van toepassingen. De context 'electriciteit in huis' kan worden uitgebuit voor praktische zaken als het controleren van de energierekening, het vergelijken van energieverbruik van apparaten, het maken van een verlengsnoer, en oriëntatie op het kopen van een apparaat (bv. een stereo of een wasmachine) waarbij leerlingen zelf criteria definiëren waarop ze gaan kiezen. Men kan ook denken aan het maken van apparaatjes of schakelingen met een bepaalde taak.

We hopen dat we met dit artikel wat ideeën hebben aangereikt die gemakkelijk kunnen worden gebruikt naast/bij bestaande leerboeken.

Literatuur en voetnoten

1. Vegting, P. (1988). Zijn misconcepties 'mis'-concepties? NVON Maandblad, 13(4), 134-135.
2. Licht, P., Snoek, M. (1986). Electriciteit in de onderbouw: Een inventarisatie van begrips- en redeneerproblemen bij leerlingen. NVON Maandblad, 11(11), 32-36.
3. Hondebrink, J. (1987). Stroom en stroom is twee. NVON maandblad, 12(1), 23.
4. Niedderer, H., Goldberg, F. (1993). Qualitative interpretation of a learning process in electric circuits. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching, Atlanta 1993.
5. Zie bovenstaande referenties, vooral Niedderer & Goldberg.
6. Het is nuttig verschil te maken tussen (actueel) vermogen van een apparaat in een bepaalde schakeling en maximaal vermogen (dat wat op het apparaat staat aangegeven). Het actuele vermogen kun je zien (lamp), horen (versterker, elektromotor), of voelen (oven).
7. Grosheide, W., Licht, P., Berg, E. van den (1993). Electriciteit in huis (3de editie). Amsterdam: Vrije Universiteit, Faculteit Natuur- en Sterrenkunde, De Boelelaan 1081, 1081 HV Amsterdam. Informatie kan ook via de telefoon: 020 - 444 7877 (overdag) of 072 - 339435 ('s avonds).
8. Licht, P. (1988). Het energiepad door het elektriciteitsmoeras. Verslag Woudschotenconferentie 1988, 139-144.
9. Licht, P., Snoek, M. (1986). Motiverende contexten in het elektriciteitsonderwijs. NVON Maandblad, 11(3), 21-23.
10. Licht, P. (1987). Een model voor elektriciteitsonderwijs. NVON Maandblad, 12(6), 264-267.