

**UNIVERSITEIT TWENTE.**

**Verslag van Onderzoek van Onderwijs (10 EC variant):**

**HET GEBRUIK VAN ANALOGIEËN VOOR CONCEPTUELE  
UITLEG VAN ELEKTRICITEIT**

## Samenvatting

Elektriciteit is een lastig onderwerp om uit te leggen omdat het vrij abstract is en moeilijk te visualiseren. Het is echter ook een alomtegenwoordig fenomeen in ons leven en een goed begrip ervan zou veel gevaarlijke situaties kunnen helpen voorkomen. Om het onderwijs van elektriciteit in de natuurkunde les op de middelbare school te helpen verbeteren, zijn tijdens dit onderzoek drie analogieën voor het elektrisch circuit uitgetest op een drietal leerlingen. De leerlingen hebben een aantal maal een diagnostische, conceptuele toets gemaakt om hun voortgang te peilen op verschillende concepten en zijn ten slotte geïnterviewd. De analogie van stuwdammen en stuwmeren was het meest succesvol en lijkt voornamelijk geschikt voor de uitleg van weerstanden. De analogie van water in buizen presteerde iets minder, en lijkt voornamelijk geschikt voor de uitleg van spanning en stroom. De laatste analogie die getest is, die van een bewegende menigte, leverde misconcepties op, en is waarschijnlijk ongeschikt voor het onderwijs.

## Inhoudsopgave

|                                 |    |
|---------------------------------|----|
| Samenvatting.....               | 2  |
| 1. Inleiding .....              | 4  |
| 2. Theoretisch kader .....      | 5  |
| 3. Onderzoeksvragen.....        | 7  |
| 4. Methode .....                | 8  |
| 4.1 Respondenten .....          | 8  |
| 4.2 Procedure .....             | 8  |
| 4.2.1 Onderzoeksopzet.....      | 8  |
| 4.2.2 Dataverzameling.....      | 8  |
| 4.3 Instrumenten.....           | 9  |
| 4.3.1 De analogieën.....        | 9  |
| 4.3.2 De toets .....            | 10 |
| 4.3.3 Het interview .....       | 10 |
| 4.4 Analyse .....               | 11 |
| 5. Resultaten.....              | 12 |
| 6. Discussie en conclusies..... | 16 |
| 7. Literatuur/Referenties.....  | 20 |
| 8. Bijlagen .....               | 21 |
| 8.1 De instructie .....         | 21 |
| 8.2 De interviews.....          | 25 |
| 8.2.1 Leerling 1 .....          | 25 |
| 8.2.2 Leerling 2 .....          | 26 |
| 8.2.3 Leerling 3 .....          | 27 |

## 1. Inleiding

Elektrische circuits zijn een lastig onderwerp voor middelbare scholieren, voornamelijk op conceptueel niveau. Dit komt omdat elektriciteit niet te zien is, en het daarom erg lastig is om er een goede voorstelling van te maken. Berekeningen met parallelle en serie schakelingen worden uitgevoerd door middel van de formules in plaats van uit echt begrip. De leerlingen leren zo eigenlijk trucjes waarmee ze vraagstukken kunnen beantwoorden op hun toetsen en het eindexamen; dit soort vlot vergeten en in de praktijk zo goed als nutteloze vaardigheden kunnen niet het doel zijn van het onderwijs.

Een bekende strategie om het begrip van ingewikkelde principes te verbeteren, is het gebruik van analogieën met systemen waar men zich wel een voorstelling bij kan maken. Elke methode en/of docent handhaaft echter zijn eigen analogie, als er überhaupt één gebruikt wordt. Er zijn zeer veel mogelijkheden en ze hebben elk hun eigen sterke en zwakke kanten. Het doel van mijn onderzoek is om een aantal van de bekendere analogieën kwalitatief te toetsen, om te kijken of ze geschikt zijn voor de instructie van HAVO leerlingen op het onderwerp elektrische circuits. Ik verwacht dat de resultaten van interesse zullen zijn voor zowel mijn eigen lespraktijk als docenten in het algemeen.

**Onderzoeksvraag:** Helpen de analogieën voor het elektrisch circuit van: 'Water in Buizen', 'Bewegende Menigtes', en 'Stuwdammen en Stuwmeren', HAVO 4 leerlingen om hun conceptuele kennis van elektrische circuits te verbeteren?

## 2. Theoretisch kader

Een analogie is een vergelijking tussen twee systemen gebaseerd op overeenkomsten.

Er is aardig wat empirisch onderzoek uitgevoerd naar het gebruik van analogieën in zowel het veld van psychologie als in het veld van wetenschappelijke educatie, met gemixte uitkomsten.

(Glynn, 1989) somde de resultaten van een hoop studies in het veld van psychologie op als volgt: "analogical reasoning has been shown to facilitate comprehension and problem solving." (Brown & Clement, 1987) waren het hier niet geheel mee eens. Zij zagen dat twee studies (Gick & Holyoak, 1983; Kaiser, Jonides, & Alexander, 1986) die gebruik maakten van gelijksoortige analogieën op twee zeer verschillende conclusies waren beland. In eerste instantie lijken de meningen verdeeld, maar als je beter kijkt verschijnt er een beeld van onder welke omstandigheden analogieën wel en niet werken.

Er zijn feitelijk een hoop mensen die het eens zijn met (Glynn, 1989) conclusie dat analogieën helpen met het ontwikkelen van begrip en het oplossen van complexe problemen. (Black & Solomon, 1987) bijvoorbeeld, concludeerden dat analogieën studenten hielpen om elektrische stroom beter te begrijpen, omdat de analogieën de studenten in staat stelden om hun eigen kennis op te bouwen door ze te dwingen de nieuwe kennis te beschouwen vanuit het raamwerk van de analogie.

Een bijkomend probleem bij het onderwijs van elektriciteit is dat leerlingen tegenwoordig niet meer binnenkomen als een blanke lei, maar al bepaalde ideeën hebben over hoe elektriciteit werkt. Wanneer deze ideeën niet kloppen spreken we van misconcepties, en het moeten opklaren daarvan maakt het onderwijs over elektriciteit nog lastiger. (Shapiro, 1986) had hier in zijn onderzoek succes bij met behulp van analogieën; hij ontdekte dat de analogieën hielpen om de bestaande ideeën van de deelnemers aan te passen.

### Welke analogieën?

Niet alleen de keuze vóór analogieën, maar ook de keuze tussen analogieën blijkt uit te maken. (Gentner & Gentner, 1982) gaven aan dat analogieën hielpen met het oplossen van problemen met elektrische circuits. Daarnaast lieten ze echter ook zien dat de keuze van analogie een stevige invloed had op de resultaten. Ze testten de analogieën voor elektrische stroom van 'stromend water' en 'bewegende menigtes' op middelbare scholieren en studenten, en vonden significante verschillen in welke onderdelen van het elektrisch circuit de proefpersonen daarmee beter konden begrijpen. Degenen die de analogie van stromend water aangeleerd hadden gekregen, werden vooral goed in het uitwerken van problemen met meerdere batterijen, en degenen die over 'bewegende menigtes' hadden gehoord, werkten beter met weerstanden. (Gentner & Gentner, 1982)

### Meerdere analogieën

Deze vinding van (Gentner & Gentner, 1982) is misschien zelfs toepasbaar op analogieën in het algemeen. Analogieën lijken meestal slechts een deel van het domein waarop ze worden toegepast uit te helpen leggen. Meerdere analogieën zijn daarom noodzakelijk om uitgebreide domeinen volledig uit te kunnen leggen. (Spiro, 1988) beschouwden het gebruik van meerdere analogieën vanuit een ander perspectief. Zij beweerden dat het gebruik van meerdere analogieën kan functioneren als "antidotes for analogy induced misconception", oftewel dat hierdoor het ontstaan van misconcepties wat plaatsvindt bij het gebruik van slechts een enkele analogie kan worden vermeden.

Een andere bron van misconcepties is van ontologische aard. Dat wil zeggen dat leerlingen dikwijls een misvatting hebben over wat elektriciteit in wezen is, en dat daar dan weer misconcepties uit voortvloeien. Leerlingen zien stroom bijvoorbeeld vaak als materie, een soort brandstof. Dit levert vervolgens de misconceptie dat stroom “opgebruikt” wordt door bijvoorbeeld een lampje, wat zou betekenen dat de stroom groter is voor dan na het lampje. Volgens (Lee & Law, 2001) kunnen leerlingen stroom beter zien als iets wat interactie ondergaat met de componenten van een circuit en het circuit als een systeem waarin een verandering op een punt invloed heeft op de rest. Om dit te bereiken lieten ze groepen studenten zelf analogieën bedenken voor elektriciteit om die vervolgens toe te passen op problemen. Ze kwamen tot de conclusie dat leerlingen echter meer sturing nodig hebben om tot de juiste conclusies te komen.

### **De analogieën**

(Gentner & Gentner, 1982) voerden hun onderzoek uit met twee analogieën die elk hun sterke en hun zwakke punten hebben. De analogie van stromend water die zij toepasten werkte goed voor spanningsbronnen, maar minder goed voor weerstanden, en de analogie van bewegende menigten werkte volgens hun juist goed voor weerstanden, maar ontbreekt het aan een duidelijk element wat batterijen moet voorstellen.

Ik vind de stromend water analogie zeer geschikt voor de uitleg van spanningsbronnen, maar met de bewegende menigten analogie ben ik minder tevreden. Voor parallelle weerstanden is het een duidelijk verhaal: meer deuren uit een kamer levert meer stroming van de menigte op. Voor seriële weerstanden heb ik er echter minder vertrouwen in. Wanneer je denkt aan mensen die door deuren lopen of snelwegen met een tijdelijke vernauwing, dan krijg je al snel het idee dat alleen de grootste weerstand uitmaakt. Mits er geen oprit tussen twee vernauwingen op een snelweg zit, verwacht je immers niet dat er een tweede file ontstaat bij de volgende vernauwing, of dat het invloed heeft op de snelheid bij de eerste vernauwing.

Ik wil daarom graag nog een derde analogie testen, die deze principes beter uit kan leggen en daarom wellicht een aanvulling zou zijn op de voorgaande twee analogieën: de analogie van stuwdammen en stuwmeren.

### 3. Onderzoeksvragen

**Hoofdvraag:** Helpen de analogieën voor het elektrisch circuit van: 'Water in Buizen', 'Bewegende Menigtes', en 'Stuwdammen en Stuwmeren', HAVO 4 leerlingen om hun conceptuele kennis van elektrische circuits te verbeteren?

Om dit te onderzoeken wordt er gebruik gemaakt van een conceptuele toets over elektrische circuits. Een antwoord wordt gezocht met behulp van het verschil in behaalde totaalscore op de toets voor en na de uitleg van elke analogie. Op deze vraag verwacht ik in principe geen verrassende uitkomst; extra uitleg over elektrische circuits zou toch verbetering van de conceptuele kennis op moeten leveren. Ik verwacht echter wel verschillen in welke onderdelen de analogieën goed uitleggen, vandaar de volgende deelvraag.

**Deelvraag:** Welke specifieke concepten helpen de verschillende analogieën te begrijpen?

Dit wordt onderzocht met behulp van het verschil in behaalde scores op de conceptuele toets per vraag, voor en na de uitleg van elke analogie. De vragen worden opgedeeld in verschillende onderwerpen, om te kijken wat voor effect de analogieën hebben per onderwerp. Op dit moment verwacht ik dat de analogie van stromend water vooral goed zal werken voor spanningsbronnen (in serie en parallel), de analogie van bewegende menigten voor parallelle weerstanden en de analogie van stuwdammen en stuwmeren voor seriële weerstanden.

**Deelvraag:** Welke analogie ervaren de leerlingen zelf als het meest effectief?

Dit wordt onderzocht aan de hand van het interview na afloop.

## 4. Methode

### 4.1 Respondenten

Omdat ik op een VSO instituut werk (Voortgezet Speciaal Onderwijs), heb ik zeer kleine klasjes. Ik heb uiteindelijk gekozen om mijn onderzoek uit te voeren met een HAVO 4 klas van maar liefst 3 (mannelijke) leerlingen. De keuze om het onderzoek in deze klas uit te voeren, ondanks het geringe aantal leerlingen, is gebaseerd op de volgende redenen:

- **Te behandelen stof.** Lestijd is beperkt, dus elektrische circuits moesten wel al in de planning staan, in 5 HAVO worden die bijvoorbeeld niet behandeld.
- **Niveau.** De diagnostische toets is vrij lastig, dus respondenten van te laag opleidingsniveau of uit de onderbouw zouden vermoedelijk weinig resultaten boeken. HAVO is het hoogste opleidingsniveau dat wordt aangeboden op deze school.

Voor anonimiteit worden mijn drie respondenten aangeduid als leerling 1, leerling 2 en leerling 3. Zij en hun ouders hebben van tevoren toestemming gegeven voor het filmen tijdens uitleg en interview, en zijn ervan geïnformeerd dat alle verzamelde gegevens anoniem worden gepresenteerd en verder niet worden gedeeld met derden.

### 4.2 Procedure

#### 4.2.1 Onderzoeksopzet

Met slechts 3 respondenten, is het verzamelen van statistisch significante data niet echt aan de orde. In plaats daarvan worden er drie analogieën kwalitatief onderzocht, door de drie leerlingen één op één te instrueren en te ondervragen, in combinatie met het bestuderen van de uitkomsten op de diagnostische toets die zij helemaal aan het begin en vervolgens na elke uitleg maken. Het betreft dus een vergelijkend, evaluerend onderzoek naar het effect van een drietal analogieën als didactisch middel in de uitleg van elektrische circuits.

#### 4.2.2 Dataverzameling

Eerst krijgen de leerlingen een diagnostische toets die ze test op hun conceptuele kennis van elektrische circuits. ('Diagnostic questions on electric circuits', van 'The University of York, Department of Education.' Deze toets is uiteindelijk niet opgenomen in de bijlagen, wegens copyright.) Vervolgens worden de drie leerlingen één voor één apart genomen om elk een andere analogie uitgelegd te krijgen. Vervolgens maken ze de toets opnieuw. Een week later worden ze wederom één voor één apart genomen voor uitleg van een ander van de drie analogieën, waarop ze de toets voor een derde maal maken.

Het rendement van nog een derde overlappende analogie zou waarschijnlijk zeer laag zijn, dus met het oog op de tijd en de voortgang van de leerlingen wordt deze niet ook nog individueel behandeld. Voor een laatste meetpunt wordt er nog gewacht tot het einde van het hoofdstuk, om de toets nog één laatste (vierde) maal te maken. Ten slotte worden ze nog één voor één individueel geïnterviewd.



## 4.3 Instrumenten

### 4.3.1 De analogieën

De volgende analogieën krijgen de leerlingen voorgelegd.

#### *Waterbuizen*

Bij deze analogie vallen de volgende vergelijkingen te trekken:

- Druk = Spanning
- Vernauwing van de buis = Elektrische weerstand
- Pomp = Spanningsbron
- Debiet = Stroom

#### **Mijn verwachting**

*Pluspunten van de analogie:*

- Geschikt voor uitleg over wat er gebeurt wanneer meerdere spanningsbronnen worden aangesloten parallel of in serie
- Relatief eenvoudig met deze analogie inzichtelijk te maken dat stroom toeneemt bij toegenomen spanning
- Wanneer de buizen geïntroduceerd worden als een gesloten systeem, wordt het snel duidelijk dat stroom niet op wordt gebruikt in de schakeling
- Ook voor de uitleg van een vervangende weerstand voor het circuit als geheel leent de analogie zich goed

*Minpunten van de analogie:*

- Binnen deze analogie is het minder inzichtelijk dat het water (de elektronen) fungeren als dragers van energie
- Weerstanden binnen deze analogie zijn wellicht te abstract voor uitleg over weerstanden in serie en parallel

#### *Stuwdammen (en stuwmuren)*

Bij deze analogie vallen de volgende vergelijkingen te trekken:

- Waterpeil (druk) = Spanning
- Sluis = Weerstand
- Stroom = Debiet

#### **Mijn verwachting**

*Pluspunten van de analogie:*

- Geschikt voor uitleg over seriële en parallelle weerstanden

*Minpunten van de analogie:*

- Ongeschikt voor uitleg spanningsbronnen
- Geen gesloten systeem

### *Bewegende menigte*

Bij deze analogie vallen de volgende vergelijkingen te trekken:

- Haast = Spanning
- Aantal mensen per seconde = Stroom
- Deur = Weerstand

### **Mijn verwachting**

*Pluspunten van de analogie:*

- Geschikt voor uitleg parallelle weerstanden

*Minpunten van de analogie:*

- Geen simpele analoog van spanningsbronnen te bedenken
- Wellicht lastig om het gedrag van elektriciteit bij seriële weerstanden inzichtelijk te maken met deze analogie
- Van zichzelf geen gesloten systeem

### *Verdeling analogieën over de leerlingen*

Leerling 1 krijgt eerst de analogie van water in buizen, dan de stuwdammen.

Leerling 2 krijgt eerst de stuwdammen, dan de bewegende menigte.

Leerling 3 krijgt eerst de bewegende menigte, dan van water in buizen.

### **4.3.2 De toets**

Voor de eerste uitleg en na elke nieuwe analogie krijgen de leerlingen een conceptuele, diagnostische toets om te maken. De toets is geproduceerd door 'The University of York', in 2011. Zie bijlage, 8.3 De toets.

### **4.3.3 Het interview**

Tijdens het interview worden de volgende vragen gesteld.

1. Leg eens uit hoe elektriciteit werkt, schets het hele plaatje.
  - a. Hoe zit het met serieweerstanden?
  - b. Hoe zit het met parallelle weerstanden?
  - c. Hoe zit het met spanningsbronnen in serie?
  - d. Hoe zit het met parallelle spanningbronnen?
2. Wat vond je van de eerste analogie die je gehad hebt?
3. Van wat je net verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door de eerste analogie?
4. Wat vond je van de tweede analogie die je gehad hebt?
5. Van wat je eerder verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door de tweede analogie?
6. Vond je het prettig om op deze manier uitleg te krijgen?

## 4.4 Analyse

Het belangrijkste instrument gebruikt in dit onderzoek is in principe de diagnostische toets. De uitkomsten hiervan zijn in Excel getabelleerd; om te helpen deze te interpreteren wordt er per leerling grafiek geproduceerd in Matlab, die weergeeft wat het effect van de uitleg was per analogie en per concept. Ten einde dit doel te bereiken zijn de vragen van de diagnostische toets verdeeld over 6 verschillende concepten:

### **Stroom**

Vragen 1, 3, 4, 6, 9      (10 deelvragen in totaal)

### **Spanning**

Vragen 7, 8, 11      (7 deelvragen in totaal)

### **Weerstand in serie**

Vragen 3, 4, 11      (8 deelvragen in totaal)

### **Weerstand parallel**

Vragen 5, 6, 7, 8, 9      (8 deelvragen in totaal)

### **Spanningsbronnen in serie**

Vraag 2      (2 deelvragen in totaal)

### **Spanningsbronnen parallel**

Vraag 10      (2 deelvragen in totaal)

Er is dus enige overlap tussen de concepten: sommige vragen vallen onder twee categorieën. Er is echter geen overlap tussen vragen over stroom en vragen over spanning, en tevens niet tussen vragen over seriële weerstanden en parallelle weerstanden.

Over spanningsbronnen zijn maar twee vragen beschikbaar, wat wellicht jammer is voor dit onderzoek, maar wel representatief voor hoe elektriciteit op de middelbare school gegeven wordt. Van die twee vragen levert vraag 2 veel problemen op, deze is daarom niet meegenomen in de analyse. (Zie ook bijlage 8.3 De toets) Vraag 10 blijft dus als enige over, en die gaat over spanningsbronnen parallel. Vraag 12 gaat eigenlijk verder dan de stof die werd behandeld in de uitleg met de analogieën, en is daarom ook niet meegenomen in de analyse.

Ten slotte worden ook de opbrengsten van het interview meegenomen in de analyse en discussie. De leerlingen zelf weten als het goed is immers als geen ander wat ze geleerd hebben van de verschillende analogieën.

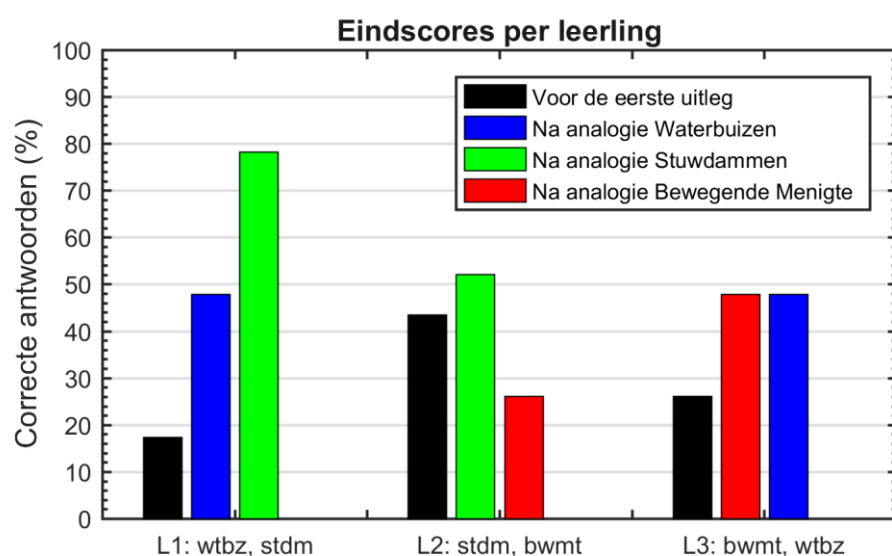
## 5. Resultaten

**Hoofdvraag:** Helpen de analogieën voor het elektrisch circuit van: ‘Water in Buizen’, ‘Bewegende Menigtes’, en ‘Stuwdammen en Stuwmeren’, HAVO 4 leerlingen om hun conceptuele kennis van elektrische circuits te verbeteren?

**Tabel 1: Toetsresultaten per leerling per vraag, waarbij 0 een foutief antwoord en 1 een juist antwoord indiceert. In de eerste kolom staat aangegeven welke leerling het betreft (L 1, 2 of 3), hoeveel analogieën deze leerling al heeft gehad (A 0, 1 of 2) en welke analogieën dat waren (waterbuizen, stuwdammen of bewegende menigte).**

|              | 1a | 1b | 2a | 2b | 3a | 3b | 3c | 4a | 4b | 5 | 6a | 6b | 7 | 8a | 8b | 8c | 9 | 10a | 10b | 11a | 11b | 11c | 12 | Totaal | % Goed |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|---|----|----|----|---|-----|-----|-----|-----|-----|----|--------|--------|
| L1, A0       | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0  | 4/23   | 17.4   |
| L1, A1: wtbz | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0 | 0  | 0  | 1 | 1  | 1  | 1  | 0 | 1   | 1   | 0   | 0   | 1   | 0  | 11/23  | 47.8   |
| L1, A2: stdm | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 1  | 1  | 0 | 1  | 1  | 1 | 1  | 1  | 1  | 0 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 18/23  | 78.3   |
| L2, A0       | 1  | 1  | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 1  | 0 | 0  | 1  | 1 | 1  | 1  | 0  | 0 | 1   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0  | 10/23  | 43.5   |
| L2, A1: stdm | 1  | 1  | 0  | 0  | 1  | 1  | 1  | 0  | 0  | 1 | 1  | 1  | 1 | 1  | 1  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 1   | 0   | 0  | 12/23  | 52.2   |
| L2, A2: bwmt | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 0  | 0  | 1 | 1  | 1  | 1 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 0   | 0   | 0   | 1   | 0  | 6/23   | 26.1   |
| L3, A0       | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0 | 0  | 0  | 0  | 0 | 0   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 6/23   | 26.1   |
| L3, A1: bwmt | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 1  | 1 | 1  | 1  | 0 | 0  | 1  | 0  | 0 | 1   | 1   | 1   | 1   | 0   | 0  | 11/23  | 47.8   |
| L3, A2: wtbz | 0  | 0  | 0  | 0  | 0  | 1  | 0  | 1  | 0  | 1 | 1  | 1  | 0 | 0  | 0  | 0  | 1 | 1   | 1   | 1   | 1   | 1   | 0  | 11/23  | 47.8   |

Tabel 1 geeft de resultaten van de conceptuele toetsen weer. De leerlingen hebben hem elk 3 keer gemaakt, respectievelijk voor de eerste uitleg, na de eerste uitleg en na de tweede uitleg. Voornamelijk de laatste kolom met het percentage correct beantwoorde vragen is informatief, daarom is deze kolom nogmaals uitgezet als grafiek in Figuur 1. Opvallend is wel dat vraag 2 en 12 geen enkele keer goed beantwoord zijn. Zoals al eerder genoemd ligt dit voornamelijk aan het feit dat vraag 2 zelf problematisch is, en vraag 12 voorbij de behandelde stof gaat.



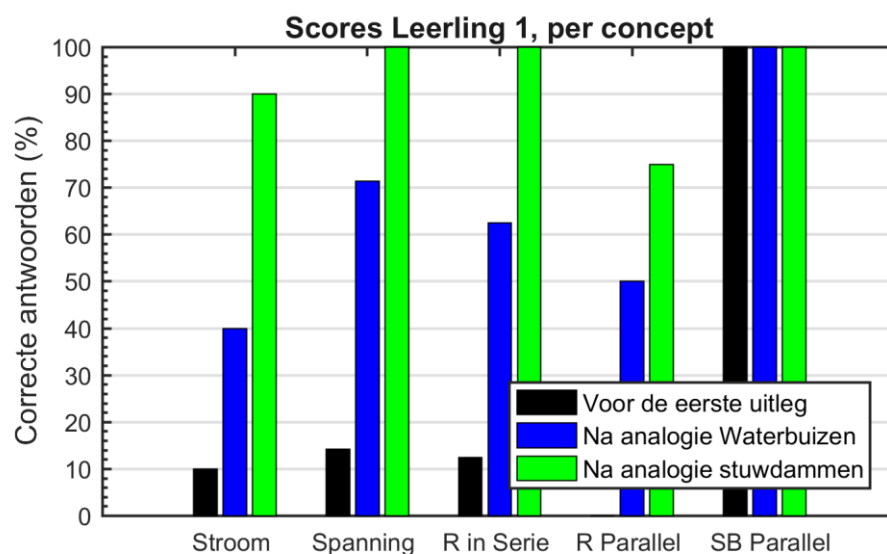
**Figuur 1: Toetsresultaten per leerling per afname van de toets. Op de x-as staat vermeld welke analogieën de leerlingen hebben gekregen tijdens de uitleg, waarbij wtbz staat voor waterbuizen, stdm voor stuwdammen en bwmt voor de bewegende menigte.**

Uit Figuur 1 blijkt dat de resultaten verschillend zijn. De eerste uitleg hielp elk van de leerlingen in ieder geval een stapje vooruit, maar het effect van de tweede uitleg liep uiteen van positief tot zwaar negatief. De resultaten behaald met de analogie van stuwdammen en stuwmeren zijn het beste, daarna die van waterbuizen, terwijl die van de bewegende menigte in totaal zelfs negatief zijn.

**Deelvraag:** Welke specifieke concepten helpen de verschillende analogieën te begrijpen?

Om deze vraag te beantwoorden zijn de vragen van de diagnostische toets verdeeld over 6 verschillende concepten; 5 hiervan zijn uiteindelijk opgenomen in de geproduceerde grafieken: stroom, spanning, weerstanden in serie, weerstanden parallel en spanningsbronnen parallel. Spanningsbronnen in serie is uiteindelijk niet meegenomen, meer daarover in de discussie, zie 6. Discussie en conclusies.

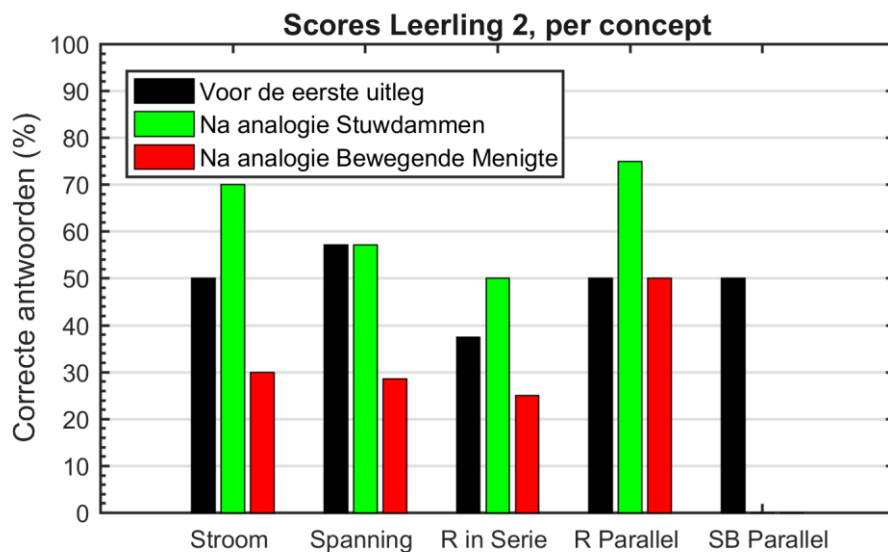
In Figuur 2 zijn de behaalde resultaten van leerling 1 per concept weergegeven. Na de eerste uitleg, gebruik makend van de analogie van waterbuizen, neemt eigenlijk het begrip over de hele linie toe, maar nog wel iets meer van spanning dan van stroom en meer van weerstanden in serie dan van weerstanden parallel. (De leerling gaf eerder aan tijdens het maken van de tweede toets in de war te zijn geraakt over of het nou spanning of stroom was dat niet opgebruikt kon worde. Dit komt nog langs in het interview, zie 8.2.1 Leerling 1.)



**Figuur 2:** Toetsresultaten van leerling 1 per concept, voor en na de beide instructies die deze leerling gekregen heeft. De eerste uitleg betrof de analogie van waterbuizen, de tweede de analogie van stuwdammen. Op de x-as staat vermeld welk concept gespecificeerd wordt, waarbij R staat voor Weerstanden en SB kort is voor Spanningsbron.

Na de tweede uitleg, met de analogie over stuwdammen, scoort de leerling uitstekend op alle vlakken, waarbij alleen zijn begrip van parallelle weerstanden nog een beetje achter blijft.

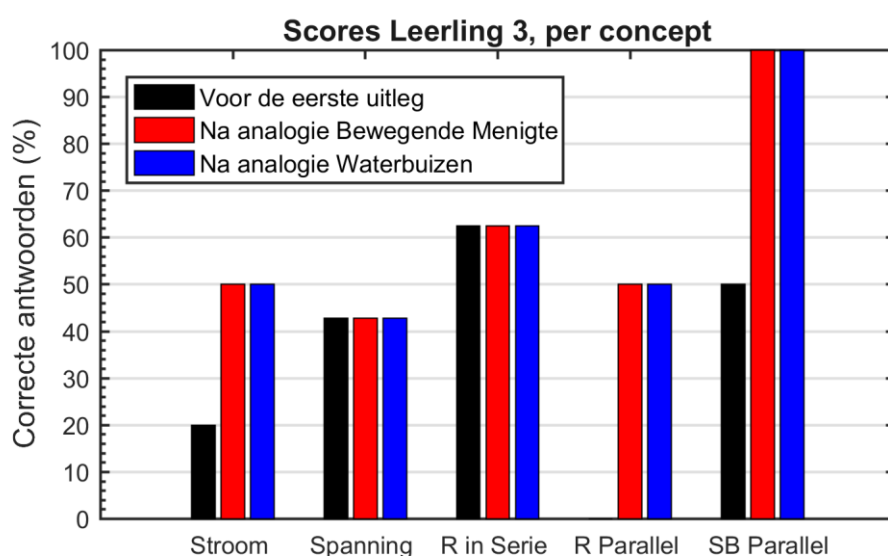
Figuur 3 geeft de resultaten van leerling 2 weer, per concept. Hoewel hij begint met een hogere score dan leerling 1, maken zijn resultaten geen vergelijkbare groei door na de eerste uitleg. Het grootste effect van de uitleg met behulp van de analogie over stuwdammen is op de concepten van stroom en parallelle weerstanden.



Figuur 3: Toetsresultaten van leerling 2 per concept, voor en na de beide instructies die deze leerling gekregen heeft. De eerste uitleg betrof de analogie van stuwdammen, en de tweede de analogie van een bewegende menigte. Op de x-as staat vermeld welk concept gespecificeerd wordt, waarbij R staat voor Weerstanden en SB kort is voor Spanningsbron.

De tweede uitleg, die gepaard gaat met de analogie van de bewegende menigte, veroorzaakt daarentegen een flinke achteruitgang; de leerling scoort nog slechter dan de eerste maal dat hij de toets maakte.

En ten slotte toont Figuur 4 de resultaten behaald door leerling 3, per concept. Hier heeft de eerste uitleg, die gebruik maakt van de analogie van de bewegende menigte, vooral effect op de concepten van stroom, parallelle weerstanden en parallelle spanningsbronnen.



Figuur 4: Toetsresultaten van leerling 3 per concept, voor en na de beide instructies die deze leerling gekregen heeft. De eerste uitleg betrof de analogie van bewegende menigten, en de tweede de analogie van waterbuizen. Op de x-as staat vermeld welk concept gespecificeerd wordt, waarbij R staat voor Weerstanden en SB kort is voor Spanningsbron.

De tweede uitleg, met behulp van de analogie van stuwdammen, verandert niets aan de scores op de toets. Hoewel de leerling wel een paar antwoorden heeft veranderd, heeft dit voor zowel de score in totaal als per concept gemiddeld precies geen effect. Dit lijkt te berusten op louter toeval.

**Deelvraag:** Welke analogie ervaren de leerlingen zelf als het meest effectief?

Uit het interview bleek dat Leerling 1 de analogie van Stuwdammen en Stuwmeren nuttiger vond dan de analogie van Waterbuizen. Hij zei daar nog best wel wat aan gehad te hebben, ondanks deze uitspraak en zijn relatief goede resultaten, gaf hij aan het geen prettige vorm van uitleg te vinden.

Verder gaf hij aan van de eerste analogie (waterbuizen) geleerd te hebben dat spanning afneemt na een weerstand en (uiteindelijk) dat stroom nooit verloren gaat in een circuit. De tweede analogie (stuwdammen) had hem leren begrijpen dat je weerstanden in serie bij elkaar optelt.

Leerling 2 was over beide analogieën die hij had gekregen positief, maar nog net iets meer over de eerste, stuwdammen en stuwmeren, die hij 'erg goed' noemde. Over het geheel vond hij het een prettige vorm van uitleg, omdat het hem hielp om dingen te visualiseren en zo problemen op te lossen in zijn hoofd.

Van die eerste uitleg (stuwdammen) had hij geleerd wat spanning en stroom nou eigenlijk precies waren en dat stroom echt een gevolg was van spanning. De tweede analogie (bewegende menigte) had hem vooral parallelle weerstanden helpen begrijpen.

Leerling 3 vond zijn eerste analogie, van bewegende menigtes, een tikje onduidelijk, voornamelijk op het onderwerp spanning. De tweede analogie, van buizen met water, vond hij al duidelijker, vooral nadat hij er zijn eigen draai aan had gegeven door van de spanning warmte te maken. Over het geheel zei hij het wel een interessante andere denkwijze te vinden, maar zelf toch liever te werken vanuit de formules, omdat hij die beter kon onthouden.

Van zijn eerste analogie (bewegende menigte) had hij 'wel wat geleerd over het optellingen van spanningen', en van de tweede (waterbuizen) had hij vooral geleerd over weerstanden, en over hoe spanning niet af of toeneemt bij een vertakking (dus bij parallelle weerstanden/spanningsbronnen).

### **Proefwerk**

Na dit onderzoek was het tijd om het hoofdstuk af te sluiten met een proefwerk. Dit was meer een standaard natuurkunde toets, en niet een conceptuele diagnostische toets zoals gehanteerd tijdens het onderzoek. Leerlingen 1, 2 en 3 scoorden hierop respectievelijk een 5.5, 4.5 en een 6.9.

## 6. Discussie en conclusies

**Hoofdvraag:** Helpen de analogieën voor het elektrisch circuit van: 'Water in Buizen', 'Bewegende Menigtes', en 'Stuwdammen en Stuwmeren', HAVO 4 leerlingen om hun conceptuele kennis van elektrische circuits te verbeteren?

De resultaten weergegeven in Tabel 1, en dan met name de kolom uitgelicht in Figuur 1, lijken aan te geven dat de analogie van Stuwdammen en Stuwmeren het meeste helpt, en daarna die van Water in Buizen. De analogie van de Bewegende Menigte kan zowel positief als negatief uitpakken, oftewel deze zou misconcepties op kunnen leveren.

**Deelvraag:** Welke specifieke concepten helpen de verschillende analogieën te begrijpen?

### *Waterbuizen*

Om deze vraag te beantwoorden zijn Figuur 2, Figuur 3 en Figuur 4 geproduceerd. Als we kijken naar de eerste ronde van uitleg, dan lijkt de analogie van waterbuizen bij leerling 1 over het geheel vrij goed te werken, maar meer voor spanning dan voor stroom, en meer voor weerstanden in serie dan parallel. De verschillen zijn echter niet groot. In de tweede ronde leverde deze analogie leerling 3 echter niets op.

Tijdens het interview gaf leerling 1 aan van deze analogie te hebben geleerd hoe spanning afneemt over weerstanden, en hoe stroom gelijk blijft in een serieschakeling, en leerling drie gaf aan te hebben geleerd over weerstanden, en over hoe spanning niet af of toeneemt bij een vertakking. Ook uit hun verhaal lijkt dus meer een nadruk op spanning te liggen waar deze analogie bij helpt, dan bij stroom. Wellicht komt dit doordat spanning relatief moeilijker is om je een voorstelling bij te maken dan stroom, en er daarom bij dat onderwerp meer winst valt te behalen met een goede analogie.

### *Stuwdammen en stuwmeren*

De uitkomst bij de analogie van stuwdammen en stuwmeren is complexer. Die heeft in de eerste ronde bij leerling 2 namelijk het meeste inzicht opgeleverd bij, op volgorde van meest naar minst: de concepten van stroom, weerstanden parallel en weerstanden in serie. Bij het concept van spanning bleef het resultaat gelijk, en bij dat van spanningsbronnen ging het zelfs achteruit. Dit laatste gegeven is niet onverwacht, aangezien de spanningsbron het moeilijkste onderdeel is om uit te leggen binnen de analogie van stuwmeren en stuwdammen. Bij de tweede uitleg voor leerling 1 had de analogie meer succes, ditmaal met name voor de concepten van weerstanden in serie en stroom, maar wederom bij leerling 1 met effect over de hele linie. Het eventuele zwakke punt van deze analogie lijkt dus bij spanning en spanningsbronnen te liggen.

Tijdens het interview gaf leerling 1 zelf aan dat deze analogie (stuwdammen) hem had leren begrijpen dat je weerstanden in serie bij elkaar optelt. En leerling 2 gaf aan dat hij er van had geleerd wat spanning en stroom nou eigenlijk precies waren en dat stroom echt een gevolg was van spanning. Deze laatste uitspraak gaat dus een beetje in tegen de uitkomsten van de toets. Het lijkt er in ieder geval op dat deze analogie toch vooral voor de uitleg van weerstanden zeer geschikt is, en dan wellicht met name weerstanden in serie.

### *Bewegende menigte*

De analogie van de bewegende menigte boekte de meest onverwachte resultaten. De eerste uitleg ronde voor leerling 3 leverde nog inzichten op bij de concepten stroom en vooral ook bij parallelle



weerstanden. Dit viel nog geheel binnen de verwachtingen. Maar de tweede ronde van uitleg voor leerling 2 leverde een complete achteruitgang van de resultaten op, op alle concepten. Dit lijkt te duiden op het ontstaan van misconcepties tijdens de uitleg.

Uit het interview bleek dat er bij leerling 3 enige onduidelijkheid was ontstaan binnen deze analogie, voornamelijk rondom het onderwerp spanning. Leerling 2 gaf echter aan wel wat van deze analogie geleerd te hebben, in het bijzonder over parallelle spanningsbronnen, dit ondanks zijn slechte resultaten op de derde toets. Over het geheel genomen lijkt deze analogie, in ieder geval de variant die ik tijdens dit onderzoek heb getest, mij niet de meeste geschikte om elektriciteit mee uit te leggen. Het concept van spanning wordt te ingewikkeld, wat het risico op misconcepties alleen maar vergroot.

Voor een overzicht van de conclusies uit deze sectie, zie Tabel 2.

**Tabel 2: Een grafische samenvatting van de conclusies over de tweede deelvraag. Plusjes duiden op positief resultaat, minnetjes op negatief, en de schuine streep op neutraal.**

|                         | Spanning | Stroom | Weerstanden in serie | Weerstanden Parallel | Spanningsbronnen |
|-------------------------|----------|--------|----------------------|----------------------|------------------|
| Water in Buizen         | +++      | ++     | +++                  | ++                   | +                |
| Stuwdammen en Stuwmeren | ++       | +++    | +++(+)               | +++                  | -                |
| Bewegende Menigte       | --       | +      | -                    | +                    | +                |

**Deelvraag:** Welke analogie ervaren de leerlingen zelf als het meest effectief?

De uitkomsten van de interviews ondersteunen de conclusie bij de hoofdvraag. De leerlingen die de analogie van stuwdammen en stuwmeren gehad hebben vonden hem de beste, en de leerling die alleen de analogie van waterbuizen en de bewegende menigte heeft gehad vond de analogie van waterbuizen het beste.

### Limitaties

De grootste limitatie aan deze studie was het aantal respondenten. Er zijn simpelweg geen statistisch significante gegevens te verzamelen binnen een groep van drie leerlingen. Tegelijkertijd leverde dit een unieke kans op om echt de diepte in te gaan, en de leerlingen stuk voor stuk individuele instructie te geven en te interviewen.

Een tweede limitatie is de onderzoeker zelf. Hoewel ik mij zeer goed had voorbereid op het geven van de instructie, betrapte ik mezelf er toch op dat ik bij de tweede maal dat ik een analogie uitlegde, toch een verbeterde, soepelere uitleg gaf.

Een derde limitatie zit hem in de hoeveelheid stof die behandeld is met behulp van de analogieën. Een belangrijk onderwerp binnen elektriciteit, ook zeker conceptueel gezien, is energie. Het overbrengen van energie is immers vaak een belangrijke functie van elektrische schakelingen. Deze functie is in het huidige onderzoek echter niet meegenomen, omdat de uitleg nu al zeer veel tijd in beslag nam, en omdat het onderwerp energie niet voorkwam in de diagnostische toets.

Ten slotte leverde dus ook de diagnostische toets zekere beperkingen op voor het onderzoek. Hoewel ik hem zeer geschikt acht op heel veel vlakken, schoten de toetsvragen over spanningsbronnen voor mijn doeleinden tekort. Dit kwam deels doordat het er simpelweg te weinig waren, en deels doordat de eerste vraag over dit onderwerp ging over het omkeren van stroom door een batterij. Volgens de toets is dit mogelijk, maar ik verwacht niet dat dat altijd het geval is. Als de vraag beter geformuleerd was, zou dit wellicht geen problemen hebben opgeleverd, maar het resultaat in dit geval was dat geen van mijn leerlingen deze vraag goed heeft beantwoord in ook maar één van hun pogingen op de toets.

Ten slotte zit er nog een limitatie in de leerlingen zelf. Leerling 3 gaf bijvoorbeeld aan voornamelijk vanuit formules te werken toch, en niet de analogieën. Waarschijnlijk heeft hij mede hierdoor op het proefwerk aan het einde van het hoofdstuk uiteindelijk het hoogste cijfer gehaald, maar voor mijn onderzoek is het natuurlijk minder handig als leerlingen op de toets niet gebruiken wat ik ze leer.

### **Implicaties en aanbevelingen**

Voor onderwijs over elektriciteit, zou ik aanbevelen om in ieder geval één of twee lessen te besteden aan een uitleg met behulp van analogieën. Ik zit zelf te denken aan een combinatie van water in buizen met eventueel warmte (en de bijbehorende druk) als spanning, en stuwdammen en stuwmeren. Deze tijdsinvestering zal de leerlingen uiteindelijk ten goede komen, want sommetjes leren maken is geen substituut voor echt begrip.

Het verschil in de proefwerkcijfers aan het einde van het hoofdstuk met de resultaten van de diagnostische toets was iets waar ik niet van tevoren over had nagedacht. Dit kwam eigenlijk als een onverwacht extra resultaat. Gecombineerd met wat leerling 3 zei tijdens het interview, leidde mij dit al snel tot een conclusie van waar het probleem lag. Tijdens een doorsnee natuurkunde proefwerk wordt eigenlijk te weinig op begrip getest, en teveel gelet op rekenvaardigheid en kennis van de formules. Leerling 1 heeft duidelijk een veel beter begrip van elektriciteit op conceptueel niveau, maar hij scoort op het proefwerk nog maar net voldoende. Dit komt waarschijnlijk omdat we tijdens het onderzoek weinig met het rekenwerk bezig zijn geweest. Leerling 3, die zich meer gefocust heeft op de formules, slaagt erin om veel beter te scoren op het proefwerk, ondanks zijn relatief gebrekkige conceptuele kennis. Ik vrees dat dit veel meer voorkomt in de natuurkunde op de middelbare school, en dat echt begrip van de natuurkunde tekort wordt gedaan door de focus op het dom oplossen van sommetjes.

Leerling 3 slaat aan het einde van zijn interview eigenlijk de spijker op zijn kop: analogieën gebruiken om dingen te doorgronden is een andere denkwijze, waar de meeste leerling niet goed bekend mee zijn. Naast het beter uitleggen van elektriciteit vind ik daarom leerlingen leren denken in analogieën gewoon een doel op zich. Een stap in de richting van echt begrip, op conceptueel niveau, in plaats van het dom reproduceren van berekeningen wat op dit moment de overhand heeft in het natuurkunde onderwijs. Voor leerlingen die later in hun vervolgopleiding verder willen met natuurkunde is dit veel nuttiger. Ook voor leerlingen die er nooit meer mee in aanraking komen is het veel nuttiger om te begrijpen dat je een autobatterij veilig aan kunt raken met je vingers omdat er maar 12 volt op staat, maar dat je er geen kortsluiting op moet raken omdat je er zelfs een schroevendraaier mee kunt smelten, dan dat ze kunnen berekenen hoeveel stroom er gaat door twee lampjes in serie. Het idee dat bèta-onderwijs wellicht beter op deze manier vorm gegeven zou kunnen worden is overigens niet nieuw, zo was (van Driel, 1997) een groot voorstander van het

onderwijs met en over modellen van de werkelijkheid. Al worden ze niet specifiek genoemd, zouden analogieën onder zijn ruime definitie van modellen ook zeker passen.

### **Vervolgonderzoek**

Verder onderzoek zou meerdere kanten op kunnen gaan. Als eerste optie zou meer onderzoek naar analogieën specifiek voor elektriciteit altijd welkom zijn, liefst ditmaal met statistisch significantere data. Als tweede richting zie ik een onderzoek voor me naar het verschil in effect op testcores bij een gemiddeld proefwerk over elektriciteit tussen conceptueel begrip en oefening puur op rekensommetjes. Ik verwacht en vrees dat de uitslag van dat onderzoek zou zijn dat toetsen zich teveel verhouden naar rekensommetjes.

Verder zijn analogieën natuurlijk niet het enige potentiële middel om het onderwijs over elektriciteit mee te verbeteren. Meer interactieve middelen als spellen, applets en modelleren zouden de leerprestaties ook ten goede kunnen komen. Deze kunnen ook gecombineerd worden, bijvoorbeeld door een model of spel te ontwikkelen aan de hand van een analogie. Eigenlijk is een analogie al een soort model, en zou je een spel waarbij leerlingen bijvoorbeeld zelf een elektron moeten voorstellen kunnen zien als een analogie voor een stroomkring. Ook hier zou uitstekend onderzoek naar kunnen worden gedaan, om te kijken of deze methodes positieve invloed hebben op de leerrendementen en motivatie, en of ze geen misconcepties opleveren.

## 7. Literatuur/Referenties

- Black, D., & Solomon, J. (1987). Can Pupils Use Taught Analogies for Electric Current? *School science review*, 69(247), 249-254.
- Brown, D. E., & Clement, J. (1987). Overcoming Misconceptions in Mechanics: A Comparison of Two Example-Based Teaching Strategies.
- Gentner, D., & Gentner, D. R. (1982). *Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity*. Retrieved from
- Gick, M. L., & Holyoak, K. J. (1983). Schema induction and analogical transfer. *Cognitive psychology*, 15(1), 1-38.
- Glynn, S. (1989). The teaching with analogies (TWA) model: Explaining concepts in expository text: In KD Muth (Ed.), *Children's Comprehension of Narrative and Expository Text: Research into Practice*. Newark: International Reading Association.
- Kaiser, M. K., Jonides, J., & Alexander, J. (1986). Intuitive reasoning about abstract and familiar physics problems. *Memory & Cognition*, 14(4), 308-312.
- Lee, Y., & Law, N. (2001). Explorations in promoting conceptual change in electrical concepts via ontological category shift. *International Journal of Science Education*, 23(2), 111-149.
- Shapiro, M. A. (1986). Analogies, visualization, and mental processing of science stories. *Annals of the International Communication Association*, 9(1), 339-355.
- Spiro, R. J. (1988). Multiple Analogies for Complex Concepts: Antidotes for Analogy-Induced Misconception in Advanced Knowledge Acquisition. Technical Report No. 439.
- van Driel, J. (1997). Het onderwazen van modellen binnen ANW.

## 8. Bijlagen

### 8.1 De instructie

#### **Analogie: water in buizen**

Laten we elektriciteit beschouwen als het volgende: water dat stroomt door een buis. Wat is hierin de stroom? (A: hoeveelheid water, debiet) Goed, water is hier dus analoog aan de elektronen. Hoe zit het de spanning? (A: Druk) Inderdaad, de druk zorgt ervoor dat het water gaat stromen, net zoals de spanning ervoor zorgt dat er een stroom gaat lopen. Wat zouden we kunnen zien als spanningsbron? (A: een pomp) Klopt, laten we dat even visueel maken:

*(tekening van een pomp naast een batterij, druk en spanning voor en na pomp en batterij erbij geschreven)*

Een pomp creëert een drukverschil, zoals een batterij een spanningsverschil veroorzaakt. Zowel bij een batterij als bij een pomp, moet er een pad zijn voor de stro(o)m(ing), anders gebeurt er nog steeds niets. Bij een waterleiding kan dat bijvoorbeeld een kraan zijn, bij een stroomcircuit een schakelaar. Nog iets wat mooi analoog is, is dat hetgeen dat gaat stromen aan beide kanten van de spanningsbron moet zitten. De elektronen moeten ergens naartoe kunnen, maar het moet ook ergens *vandaan* komen, net als het water bij de pomp.

Wat zou er gebeuren als we twee batterijen achter elkaar plaatsen? *(tweede batterij in serie wordt getekend)* Dit valt nog wel enigszins gevoelsmatig te bedenken he? Het wordt echter makkelijker als we aan pompen denken. Wat zou een tweede pomp in serie met de druk doen? (A: de druk nog verder verhogen) *(tweede pomp in serie wordt getekend)* Dat doet een spanningsbron dus ook. Voor beide systemen zou je kunnen zeggen dat de bron van spanning/druk een verhoging doet ten opzichte van een referentiespanning/druk, die niet 'nul' hoeft te zijn.

Wat zou er nu gebeuren als we twee batterijen parallel plaatsen? *(bord wordt gewist, nieuwe tekening van parallelle batterijen)* Dit is al iets moeilijker om voor te stellen; we gaan het wederom beschouwen als twee pompen. *(tekening van twee pompen wordt toegevoegd)* Stel we hebben dus twee pompen die elk dezelfde druk leveren, en dan verbinden we de buizen verderop. Wat zou de druk zijn waar de buizen samenkomen? (A: hetzelfde) Dat gebeurt met twee parallelle spanningsbronnen dus ook. Je hebt waarschijnlijk het gevoel dat er iets zou moeten toenemen als je twee batterijen parallel schakelt, en dat is ook zo. Het is echter de hoeveelheid beschikbare energie, niet de spanning.

Wat zou er analoog zijn aan een weerstand bij een waterleiding? (A: een vernauwing) *(Bord wordt gewist, tekening van vernauwing)* Door een vernauwing neemt de stroom af, net als bij een weerstand in een elektrisch circuit. Wat gebeurt er met de druk na een vernauwing? (A: die neemt af) Over zo'n vernauwing vindt dus een drukval plaats, zoals over een weerstand een spanningsval plaatsvindt. Wat zou er nu gebeuren als we de buis in tweeën splitsen, en in beide buizen zo'n vernauwing plaatsen. *(tekening van parallelle vernauwingen)* Zou er nu meer of minder water stromen dan hiervoor? (A: meer) Een parallelle weerstand zorgt er dus voor dat er méér stroom gaat lopen. De weerstand van het circuit als geheel gaat dus juist omlaag.

Wat als we twee vernauwingen achter elkaar zouden plaatsen? (*tekening van twee vernauwingen in serie*) Hiervoor viel de druk over de vernauwing in één keer helemaal omlaag, zou dat nu ook nog steeds gebeuren? (A: Nee) Het water dat door de eerste vernauwing heen is komt daarna de tweede vernauwing tegen, en daar bouwt dus ook weer druk tegen op. In het elektrisch circuit gebeurt dat ook, de spanningsval gedeeld door de weerstand geeft je de stroom, en die moet voor beide weerstanden gelijk zijn, want de stroom is in een serieschakeling overal hetzelfde.

Heb je nog vragen?

### **Analogie: Stuwdammen en Stuwmeren**

Laten we elektriciteit beschouwen als het volgende: water dat stroomt door een systeem van stuwmeren en stuwdammen. Wat is hierin de stroom? (A: hoeveelheid water, debiet) Goed, water is hier dus analoog aan de elektronen. Hoe zit het met de weerstand? (A: De sluizen in de stuwdammen) Inderdaad, wat zou het inhouden als de weerstand groot is? (A: dan is de sluis maar een klein beetje geopend) Inderdaad, en hoe zit het de spanning? (A: Druk, waterpeil) Klopt, de druk zorgt ervoor dat het water gaat stromen door de sluis, net zoals de spanning ervoor zorgt dat er een stroom gaat lopen. De grootte van de opening van de sluis en de hoogte van het waterpeil bepalen samen hoe groot het debiet is, net zoals spanning en weerstand samen de grootte van de stroom bepalen (*formule op het bord*).

Wat is een kortsluiting in een stroomcircuit ook alweer? (A: weerstand richting nul, stroom richting oneindig, zie formule) Wat zou dat zijn in deze analogie? (A: de dam verdwijnt, al het water loopt weg in een stortvloed)

Wat zou de spanningsbron doen in deze analogie? Deze is iets lastiger, want als je zegt een bron van water, dan heb je het eigenlijk over een stroombron. Een spanningsbron in dit verhaal zou ervoor moeten zorgen dat er altijd een bepaalde spanning staat, die zou dus het waterpeil op een bepaald peil moeten houden, en dat peil zou dan een bepaalde hoogte moeten brengen ten opzichte van wat die spanningsbron als referentie heeft. Wat zou er gebeuren als je twee spanningbronnen achter elkaar plaatst? (A: dan verhoogt de tweede bron het peil ten opzichte van de eerste) En als we er twee parallel plaatsen? (A: Dan houden die twee bronnen het peil samen in stand)

Goed, we hebben de spanningsbronnen te pakken, nu gaan we kijken naar weerstanden. Stel je hebt twee weerstanden naast elkaar, hoe zou dat eruit zien in de analogie? (A: een stuwmeer met twee stuwdammen erop aangesloten) (*tekening van een meer met twee stuwdammen*) Het interessante hier, is dat we meteen zien dat de spanning (waterpeil) voor beide weerstanden gelijk is. (*tekening van twee parallelle weerstanden met spanningen erbij*) Stel dat de ene stuwdam een sluis heeft die verder openstaat dan de andere, door welke loopt dan het meeste water? (A: de sluis die verder openstaat) Is dat dan de kleinere of de grotere weerstand? (A: de kleinere) Zo werkt het bij een elektrisch circuit dus ook. Als er twee parallelle weerstanden zijn, loopt de grootste stroom door de kleinste weerstand. Hoe zit het met de totale stroom, neemt die toe als we een extra stuwdam met sluis plaatsen? (A: Ja) Wanneer we een extra weerstand parallel plaatsen, neemt de totale weerstand van de schakeling dus niet toe, maar af.

Nu gaan we kijken naar twee weerstanden in serie, hoe zou dat er uit zien met deze analogie? (A: twee stuwdammen achter elkaar) Twee stuwdammen betekent ook twee stuwmeren. (*Bord wordt*

*gewist, tekening van twee stuwdammen achter elkaar)* Voor de tweede stuwdam komt het water ook op een bepaald peil te staan. Kan dat waterpeil hoger zijn dan voor de eerste stuwdam? (A: Nee, want dan zou het water terugstromen)

Er is dus een bepaald waterpeil voor de eerste dam, een bepaald waterpeil na de tweede dam, dat noemen we in dit geval even nul, én er zit een waterpeil tussen. *(tekening van twee weerstanden in serie)* Stel dat ik twee gelijke weerstanden in serie zou plaatsen, zou je iets kunnen zeggen over de spanning ertussen? (A: de helft van de spanning voor de eerste weerstand) Stel dat ik zeg dat de eerste weerstand hoger is dan de tweede, wat voor een spanning zou je dan verwachten? (A: Lager dan de helft)

Over een weerstand heen vindt dus een spanningsval plaats, maar die spanningsval is dus afhankelijk van of er nog andere weerstanden achter staan.

Heb je nog vragen?

### **Analogie: Bewegende menigte**

Laten we elektriciteit beschouwen als het volgende: een menigte van mensen die zich beweegt door een serie kamers. Wat is hierin de stroom? (A: hoeveelheid mensen per seconde die rondgaan) Goed, mensen zijn hier dus analoog aan de elektronen. Hoe zit het met de weerstand? (A: De deuren tussen de kamers) Inderdaad, wat zou het inhouden als de weerstand groot is? (A: dan is de deur maar een klein beetje geopend) Inderdaad, en hoe zit het de spanning? (A: weet ik niet) De spanning is wat lastig, laten we het als volgt beschouwen. Deze groep mensen hebben allemaal een walm van lichaamsgeur om zich heen hangen. Daarom proberen ze elkaar te mijden, en dat zorgt ervoor dat ze zich bewegen, net zoals de spanning ervoor zorgt dat er een stroom gaat lopen. De grootte van de deuropening en de stank van de menigte bepalen samen hoe snel de mensen door de deur gaan, net zoals spanning en weerstand samen de grootte van de stroom bepalen *(formule op het bord)*.

Wat is een kortsluiting in een stroomcircuit ook alweer? (A: weerstand richting nul, stroom richting oneindig, zie formule) Wat zou dat zijn in deze analogie? (A: Geen muren tussen de kamers, mensen rennen allemaal weg)

Stel nu dat we in plaats van 1, 2 deuren zouden hebben. Lopen er nu meer of minder mensen rond? (A: meer) We hebben een extra 'weerstand' toegevoegd, maar de stroom is dus groter geworden. Dat gebeurt in een stroomcircuit ook. Als je een parallelle weerstand toevoegt, wordt de stroom groter. De totale weerstand van het circuit is dus omlaag gegaan.

Stel dat de mensen twee deuren achter elkaar door moeten, met daartussen nog een extra kamer. Wanneer ze nu de tweede kamer binnenkomen, begint het daar ook te stinken, dus gaan ze op een gegeven moment maar verder lopen. Eigenlijk is het verschil in stank tussen de kamers de doorslaggevende factor. In het elektrisch circuit gebeurt dat ook, de spanningsval gedeeld door de weerstand geeft je de stroom, en die moet voor beide weerstanden gelijk zijn, want de stroom is in een serieschakeling overal hetzelfde.

En hoe zouden we nu een spanningsbron kunnen zien? Ik stel het volgende voor. De mensen stinken omdat ze gefitnest hebben. De fitnesszaal fungeert hier als spanningsbron. Maar, we moeten wel

een gesloten circuit hebben, dus de mensen lopen rond tot ze weer terug zijn bij de fitnesszaal. Tijdens het lopen is hun zweet gedroogd, en is hun spanning rustig weggezakt.

Wat als we nu twee fitnesszalen achter elkaar plaatsen? (A: na de tweede zaal stinken mensen nog erger) De spanning wordt dus bij elkaar opgeteld in een dergelijk geval.

Wat als we er twee naast elkaar zetten, en de mensen laten kiezen. Gaat het nu erger stinken in de gang na de fitnesszalen? (A: nee) bij parallelle spanningsbronnen gaat de spanning dus niet omhoog. Wat wel veranderd is hoeveel energie ze hoeven te leveren. De bezetting van de fitnessapparaten is nu in beide kamers bijvoorbeeld minder.

Goed, heb je nog vragen?



## 8.2 De interviews

### 8.2.1 Leerling 1

**Leg eens uit hoe elektriciteit werkt, schets het hele plaatje.**

Elektronen stromen van de minpool naar de pluspool, maar we gaan ervan uit dat stroom in het circuit van plus naar min gaat. De hoeveelheid ampère blijft hetzelfde over het hele circuit, en de spanning is eigenlijk de spanningsval. Aan het begin van circuit heeft het een aantal volt en aan het eind van het circuit is het nul.

*Heel goed, en hoe zit het met weerstanden in serie?*

Dan tel je ze bij elkaar op, dus dan wordt de weerstand groter. De spanning neemt na elke weerstand af.

*Ok, en weerstanden parallel?*

De totale weerstand is iet van 1 gedeeld door de eerste weerstand plus 1 gedeeld door de tweede weerstand, waardoor je sowieso uitkomt op iets kleineres dan de kleinste weerstand.

*En spanningsbronnen in serie?*

Die geven een hoger voltage.

*Ja, en parallelle spanningsbronnen?*

Die geven een langere levensduur.

**Wat vond je van de eerste analogie die je gehad hebt? (Waterbuizen)**

Analogieën werken niet heel goed voor mij. Je gaat veel vergelijken, maar het is niet alsof ik voor loodgieter heb gestudeerd dus ik weet ook niet heel veel van water, dan heb ik liever dat ik leer hoe elektriciteit werkt dan dat ik me voorstel hoe water gaat lopen. Ondanks dat het me af en toe wel een beetje heeft geholpen bijvoorbeeld met waterdammen enzo.

**Van wat je net verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door deze eerste analogie?**

Nou, dat de spanning afnam, en dat de hoeveelheid water die er doorheen stroom hetzelfde blijft, alleen daar was ik dus mee in de war gekomen. (Hij refereert naar een eerder gesprek, niet opgenomen, waarbij hij aangaf dat hij bij de tweede toets op een gegeven moment de misconceptie had dat in een serieschakeling de stroom verdeeld werd en de spanning overal gelijk bleef.)

**Wat vond je van de tweede analogie die je gehad hebt?**

Die was een stuk duidelijker, dat ging wel een stuk beter. Dat hielp me wel echt begrijpen dat zo'n weerstand elektronen tegenhoudt en maar een klein deel doorlaat.

**Van wat je net verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door die analogie?**

Dat je weerstanden in serie bij elkaar optelt.

**Vond je het prettig om op deze manier uitleg te krijgen?**

Nee, voor mij zou het prettiger zijn geweest om uitleg te krijgen zonder de analogieën.

### 8.2.2 Leerling 2

#### **Leg eens uit hoe elektriciteit werkt, schets het hele plaatje.**

Nou, je hebt ampère en voltage, voltage is de druk van de stroom, ampère is de stroom. Als je parallelle weerstanden hebt wordt de weerstand minder, dus dan wordt de stroom groter, en de spanning blijft gelijk. Bijvoorbeeld aan de ene kant van de weerstanden 9 volt, en aan de andere kant 0.

*En weerstanden in serie, hoe werkt het daarmee?*

Dan heb je voor de eerste weerstand 9, daarna bijvoorbeeld 4,5 en dan 0.

*En de stroom in dat geval?*

En de stroom wordt kleiner, maar niet 0.

*Hoe zit het met twee spanningsbronnen in serie?*

Dan wordt de spanning verdubbeld.

*En hoe zit het met twee parallelle spanningsbronnen?*

Dan wordt de stroom niet hoger, maar verdeeld, waardoor de batterijen langer meegaan.

#### **Wat vond je van de eerste analogie die je gehad hebt?**

Die kende ik eigenlijk al, hij klopt ook best wel, maar op één puntje dan weer niet.

*Dat was?*

De spanningsbronnen werden een beetje ingewikkeld erbij. Maar verder is ie wel erg goed.

#### **Van wat je net verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door die analogie?**

Vooraf heel erg de stroom en het voltage, dat dat de druk erop was. Dat dat de hoogte van het water was en de stroom dan zeg maar... een gevolg was van de spanning.

#### **Wat vond je van de tweede analogie die je gehad hebt?**

Die was eigenlijk heel handig om spanningsbronnen mee uit te leggen.

#### **Van wat je net verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door die analogie?**

Nou met die spanningsbronnen dus, want je had gewoon een circuitje waar mensen in liepen, een stroom eigenlijk, en daar kon je gewoon spanningsbronnen in plaatsen. Dat leverde je eigenlijk minder een visualisatie van hoe ampère werkt en meer van voltage.

#### **Vond je het prettig om op deze manier uitleg te krijgen?**

Ja, eigenlijk wel, want dan kun je het voor jezelf wat visualiseren. En dan heb je ook dat je iets bedenkt en dat je dan beseft van hey, dat kan eigenlijk helemaal niet.

Bijvoorbeeld met de spanningsbronnen, dat als je twee 9-volt batterijen parallel zet dat je dan geen 18 volt krijgt, maar 9.

### 8.2.3 Leerling 3

**Leg eens uit hoe elektriciteit werkt, schets het hele plaatje.**

Ik werk vooral met de formules, dus zeg maar  $U/R = I$ .

*Ok, weerstanden in serie, hoe zit het daarmee?*

De weerstanden bij elkaar opgeteld is de totale weerstand.

*Ja, dus de weerstand wordt groter, wat gebeurt er dan met de stroom?*

Ehm, ja, dat weet ik zo niet uit mijn hoofd. \*schrijft formule voor zichzelf op\* Ok, ja, dan wordt de stroomsterkte kleiner.

*Hoe zit het met parallelle weerstanden?*

Één gedeeld door de totale weerstand is één gedeeld door de eerste weerstand plus één gedeeld door de tweede weerstand.

*Hoe zit het met twee spanningsbronnen in serie?*

U is U één plus U twee.

*En hoe zit het met twee parallelle spanningsbronnen?*

Dan zijn beide vertakkingen allebei 9 volt.

*Waarom?*

Nou, bijvoorbeeld met de analogie van de waterbuizen, ik had het met de warmte zo bedacht, en de warmte is gewoon hetzelfde.

**Wat vond je van de eerste analogie die je gehad hebt?**

Ja, aan het begin wel onduidelijk, vanwege de spanning enzo, en waarom die afnam.

**Van wat je net verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door die analogie?**

Ik had bij de tweede test wel wat dingen anders gemaakt dan de eerste, iets met optellen van spanningen en een weerstand ofzo.

**Wat vond je van de tweede analogie die je gehad hebt?**

Die was wel wat duidelijker vond ik.

**Van wat je net verteld hebt, wat heb je geleerd te begrijpen door die analogie?**

Ja, vooral weerstanden. En ik had het zelf dus een beetje met de temperatuur van het water, dan blijft de spanning dus hetzelfde, ook al vertakt het.

**Vond je het prettig om op deze manier uitleg te krijgen?**

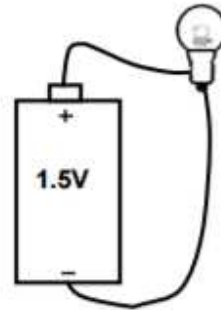
Ja, ik vind het wel een andere denkwijze maar, ik gebruik liever zelf nog gewoon, dingen begrijpen via de formules. Die kan ik makkelijker onthouden.

### 8.3 De toets

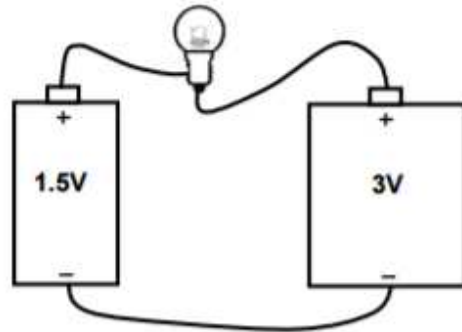
Vanwege copyright zijn er slechts een paar vragen opgenomen in deze bijlage, ter illustratie.

**2**

This bulb lights when it is connected to a 1.5V battery.



A 3V battery is then connected into the circuit, like this:



(a) What happens to the bulb now?

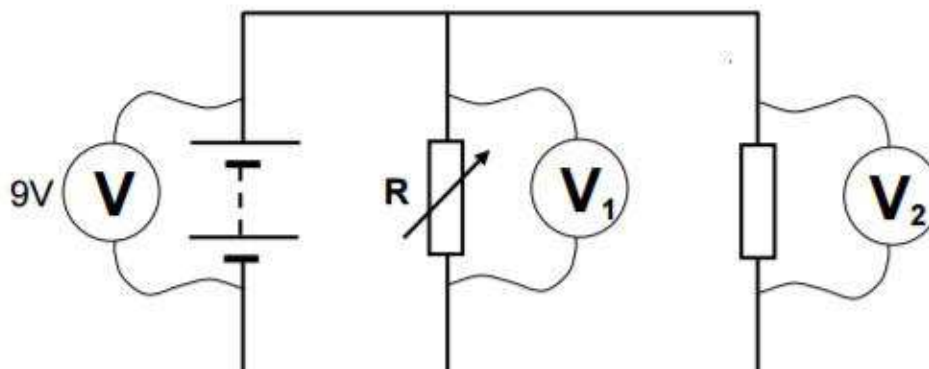
- A It is lit – and brighter than before.
- B It is lit – similar brightness as before
- C It is lit – but a lot dimmer than before.
- D It is not lit.

(b) How would you explain this?

- A The two batteries together add to 4.5 V.
- B The two batteries together add to 1.5 V.
- C Current cannot pass through a battery in the wrong direction.
- D The bulb is connected to the positive terminal of both batteries, so there is no current through it.

## 8

A 9V battery is connected to a fixed resistor and a variable resistor in parallel.



The resistance of the variable resistor,  $R$ , is **increased**.

The reading on the voltmeter across the battery (9V) **does not change**.

(a) What happens to the reading on voltmeter  $V_1$ ?

- A** It gets bigger.
- B** It stays the same.
- C** It gets smaller.

(b) What happens to the reading on voltmeter  $V_2$ ?

- A** It gets bigger.
- B** It stays the same.
- C** It gets smaller.

(c) How would you explain this?

- A** As  $R$  increases, the voltage across it gets bigger (because  $V=IR$ ). The other voltmeter is across a fixed resistor, so it stays the same.
- B** As  $R$  increases, the voltage across it gets bigger (because  $V=IR$ ). The two voltages have to add to 9V. So the voltage across the fixed resistor gets smaller.
- C** Both resistors are connected directly across the power supply, so the readings on both voltmeters are equal to the battery voltage.