

---

# ANALOGIEËN IN HET ONDERWIJS OVER ELEKTRISCHE SCHAKELINGEN

---

TU Delft

Onderzoek van Onderwijs (SL 3311)

juni 2013

Tanja Dijkstra

Lowi Sturuss

Edwin Oostra

*We zijn als zeelieden die in een schip op de zee varen. Het is voor hen onmogelijk om de boot naar een dok te slepen en het daar te herbouwen. De zeelieden moeten al varende, zonder de boot te verlaten en plank voor plank de boot van binnen uit herbouwen en kunnen het schip nooit volledig opnieuw opbouwen. Zij moeten altijd iets op de plek houden en dat gebruiken als basis om verdere veranderingen door te voeren. Wanneer te veel tegelijkertijd wordt bewerkt, zinkt de boot.*

**Otto Neurath (Wiener Kries) 1882-1945**

***Over het verwerven van kennis.***

# INHOUDSOPGAVE

---

---

Inhoudsopgave.....	2
Inleiding.....	4
Probleemanalyse.....	5
Theoretisch Kader .....	6
Definitie van analogie .....	6
De rol van analogieën in communicatie en onderwijs.....	8
Inherente risico's van analogieën .....	10
Onderzoek.....	16
Onderzoeksmethode .....	17
Onderzoek aanpak.....	17
Betrouwbaarheid en validiteit.....	19
Inventarisatie Analogieën.....	20
Risico's geïnterpreteerde analogieën.....	28
Het waarom van analogieën .....	35
Overwegingen om analogieën toe te passen .....	35
Keuze van analogie binnen elektriciteit .....	38
Omgaan met risico's en problemen bij analogieën .....	40
Wat te doen als een analogie vast loopt.....	40
Gebruik van meerdere analogieën tegelijk of na elkaar .....	41
Leerlingen en analogieën .....	42
Afstemmen van analogieën op collega's.....	43
Discussie.....	44
Conclusies .....	46
Aanbevelingen.....	49
Verder onderzoek.....	50

Literatuurlijst.....	52
Appendix I – interview Protocol .....	53
Appendix II – Verbatim Interview A.....	55
Appendix II – Verbatim Interview B.....	59
Appendix II – Verbatim Interview C.....	67
Appendix II – Verbatim Interview D.....	78
Appendix II – Verbatim Interview E.....	82
Appendix II – Verbatim Interview F.....	89
Appendix II – Verbatim Interview G.....	92

Analogieën worden door natuurkundigen gebruikt om nieuwe theorieën te ontwikkelen, om theorieën uit te leggen aan niet-natuurkundigen (communicatief), en om experimenten te verklaren (generaliserend). In het onderwijs worden analogieën door docenten gebruikt om de brug te slaan tussen de bestaande kennis en leefwereld van leerlingen/studenten en de te bestuderen natuurkundige principes/fenomenen. Leerlingen maken zich een belangrijk deel van de kennis, waarin ze onderwezen worden, eigen via aangeboden analogieën of door het ontwikkelen van spontane analogieën.

Tot aan de 20e eeuw was de gedachte dat analogieën de communicatie vergemakkelijkten, maar dat de exacte wetenschappelijke taal er vrij van moest zijn. Tegenwoordig is de gedachte dat analogieën een onderdeel vormen van ons conceptueel systeem: het is hoe we wijs worden uit de omgeving om ons heen.

Analogieën zijn volgens de huidige opvattingen dus een nuttig instrument voor de docent om conceptuele kennis over te brengen op de leerlingen, maar zij kunnen echter ook bestaande preconcepten bevestigen of zelfs leiden tot vorming van nieuwe misconcepten. Elke docent streeft er naar om dit juist te voorkomen. In dit onderzoek hebben we ons erop gericht hoe op analogieën op een goede manier zijn te gebruiken als instrument tijdens het les geven.

Het beeld bestaat dat analogieën in de natuurkundelessen veel gebruikt worden omdat zij, mits goed toegepast, zeer effectief zijn om kennis van docent naar leerling over te brengen. Als daarmee ook misconcepten gecorrigeerd kunnen worden, is het een zeer waardevol instrument. Omgekeerd kunnen misconcepten, ook diegene, die ontstaan zijn door het gebruik van analogieën hardnekkig en moeilijk te corrigeren zijn. Om goed gebruik te kunnen maken van dit instrument is kennis over dit onderwerp nodig en daarom hebben we in het kader van onze master Science, Education & Communication hier onderzoek naar uitgevoerd. De onderzoeksvraag wordt gespecificeerd na het theoretisch kader. Doelstelling en probleemstelling zijn als volgt omschreven:

### **Doelstelling**

Bij het gebruik van analogieën, ofwel het projecteren van eigenschappen en relaties van en tussen objecten in een voor de leerling bekend basisdomein op het bij de leerling nog onbekend doeldomein, zullen onvolkomenheden optreden. Dit wordt veroorzaakt doordat er geen perfecte overeenstemming tussen de beide domeinen bestaat. Het doel van het onderzoek is te komen tot inzicht in de risico's van het gebruik van analogieën en de manier waar docenten hier mee omgaan.

### **Probleemstelling**

Analogieën kunnen zeer effectief zijn bij het overbrengen van kennis, maar de inherente onvolkomenheden in de analogieën kunnen leiden tot misconcepten of kunnen bestaande misconcepten bevestigen. Meerdere auteurs (bijvoorbeeld Knight) geven aan dat deze misconcepten direct moeten worden gecorrigeerd, omdat vervangen op een later tijdstip vaak veel lastiger blijkt te zijn. Het is dan wel belangrijk dat de docent vooraf bewust is van potentiële misconcepten die kunnen ontstaan.

We hebben in dit theoretisch kader eerst precies gedefinieerd wat we bedoelen met een analogie en een metafoor. Er bestaat namelijk wel een verschil tussen metaforen en analogieën, maar het onderscheid is klein. Omwille van de leesbaarheid hebben wij er voor gekozen om in de rest van dit artikel de term “analogie” te gebruiken, daar waar wij “metafoor en/of analogie” bedoelen.

Als duidelijk is geworden wat er precies bedoeld wordt met analogieën bespreken wij welke rol zij spelen in communicatie in het algemeen en in het onderwijs in de natuurwetenschappen in het bijzonder. Analogieën worden als zeer belangrijk gezien voor het onderwijs, omdat het een manier is om nieuwe kennis aan bij de leerling bekende kennis te koppelen.

Bij het toepassen van analogieën kunnen onbedoeld misconcepten ontstaan. Er zijn hier meerdere mechanismen voor aan te geven. Deze worden ook beschreven in het theoretisch kader. Hieruit zijn criteria geformuleerd waar een analogie aan moet voldoen om goed toepasbaar te zijn.

---

DEFINITIE VAN ANALOGIE

---

***Analogie, Metafoor***

Binnen de natuurkunde wordt regelmatig gebruik gemaakt van analogieën en metaforen. Wat wordt verstaan onder deze begrippen wordt hier verder verduidelijkt. Lakoff (1993) noemt een metafoor een “cross-domain mapping in the conceptual system”. Om te kunnen begrijpen wat hier mee bedoeld wordt, moet eerst worden gedefinieerd wat een domein is. Volgens Gentner (1983) is een domein te beschrijven als een systeem van objecten, object-eigenschappen en relaties tussen objecten. Cross-domain mapping betekent dan dat objecten, objecteigenschappen of relaties tussen objecten in het basisdomein worden verbonden aan objecten, objecteigenschappen of relaties tussen objecten in het doeldomein. Anders gezegd houdt dit in dat de kennis op een bekend terrein, het basisdomein, wordt gebruikt om kennis te vergaren op een onbekend terrein, het doeldomein. Zoals Lakoff al aangeeft gaat het daarbij vooral om concepten. Hij gebruikte de term cross-domain mapping in relatie tot metaforen, maar de term is breder van toepassing. Het hier boven genoemde ‘conceptual system’ is het totaal aan kennis, begrip/inzicht en cognitieve oplossingsstrategieën dat een bepaald persoon bezit.

Bij zowel analogieën als metaforen is sprake van het verbinden van objecten in het doeldomein met objecten in het basisdomein, maar objecteigenschappen en de relaties tussen deze eigenschappen hoeven niet altijd verbonden te zijn. Dit is weergegeven in tabel 1.

Tabel 1: Definities van analogieën, metaforen en voorbeelden

Omschrijving	Aantal verbindingen tussen basis- en doeldomein	
	Eigenschappen	Relaties
Analogie/ Metafoor	Weinig	Veel
Abstractie	Weinig	Veel
Voorbeeld	Veel	Veel

In de tabel wordt geen onderscheid gemaakt tussen analogie en metafoor. Het verschil tussen beide begrippen is dan ook minimaal. De mapping bij een metafoor is vaak oppervlakkiger en meer beeldend en op het moment dat zo een beeldende mapping uitgebreid wordt naar relaties en wisselwerkingen, gaat het om een analogie. Enkele voorbeelden kunnen dit verduidelijken.

*Tijdens een rede bij de uitreiking van de Spinozapremie gebruikte professor C. Dekker een metafoor om de opbouw en werking van een organische cel uit te leggen. Hij vergeleek de cel met een twintig kilometer groot complex dat oogt als een gigantisch ruimteschip, waarin duizenden robots aan het werk zijn binnen energiecentrales, industriegebieden, vuilophaaldiensten enz.*

*Om de bouw van een atoom te beschrijven wordt deze wel vergeleken met ons zonnestelsel. Beide bestaan uit een groot bolvormig object in het centrum, waar kleinere bolvormige object om heen bewegen, doordat het voorwerp in het midden de andere voorwerpen aantrekt. Dit is een voorbeeld van een analogie.*

De definities van analogieën en metaforen liggen dus dicht bij elkaar. Omdat de begrippen zo dicht bij elkaar liggen wordt er bij de uitwerking geen onderscheid tussen gemaakt. In de rest van het rapport wordt de term analogie gehanteerd.

### **Abstractie, Voorbeeld**

In de tabel worden ook de begrippen abstractie en voorbeeld genoemd. Een abstractie is enigszins vergelijkbaar met een analogie, maar slechts één of enkele fundamentele eigenschappen uit het basisdomein worden verbonden met het doeldomein, bijvoorbeeld de abstractie om een beweging te beschrijven met behulp van een puntmassa, of de abstractie om een lens op te vatten als een oneindig dun.

Een voorbeeld wordt door Gentner 'een letterlijke overeenkomst' genoemd. Zo kan men de beweging van de planeten in een ver zonnestelsel op dezelfde manier beschrijven als de planeten in ons zonnestelsel. Er zullen wel enkele verschillen optreden, maar de overeenkomsten overheersen. Hoewel abstracties en voorbeelden binnen het conceptueel systeem van leerlingen ook vormen van 'cross-domain mapping' kunnen zijn, vallen deze buiten het bereik van het onderzoek.

## ***Preconcept, Misconcept***

Er bestaat een verschil tussen preconcepten en misconcepten. Door Lugterink e.a. wordt een preconcept gedefinieerd als het (wetenschappelijk) nog onvolmaakte idee waarmee een leerling een leersituatie binnenstapt, veelal na pogingen om zelf een logische verklaring te vinden voor een verschijnsel waar ze in het dagelijks leven mee geconfronteerd werden. Zij gebruiken de term misconcepten voor situaties waarbij leerlingen onderwerpen krijgen aangeboden die complex zijn, waardoor vragen open blijven staan en problemen niet worden opgelost. Er kan dus een onderscheid gemaakt worden tussen pre- en misconcepten. In relatie tot analogieën is dit onderscheid voor ons onderzoek niet relevant. In het onderzoek zal de term misconcepten worden gehanteerd, waarmee alle concepten met betrekking tot het doeldomein worden bedoeld die niet overeenkomen met de correcte, te leren, concepten in het doeldomein.

---

### DE ROL VAN ANALOGIEËN IN COMMUNICATIE EN ONDERWIJS

---

Analogieën zijn zo oud als geschreven taal, hoever we ook teruglezen we komen ze tegen. Een voorbeeld is de analogie van de paardentrainer die Plato in de mond legt van Socrates in diens apologie. Als Socrates er van wordt beschuldigd dat hij en niemand anders een slechte invloed heeft op de jeugd, maakt hij de vergelijking met paardentrainers. Paardentrainers maken paarden beter, maar betekent dit dat andere mensen paarden slechter maken. Aristoteles wordt wel de grootmeester van de analogie genoemd. Hij onderscheidde middelen van overtuiging en pathos was er één van. De analogie is een vorm van pathos. De op het voorblad gegeven analogie van de wetenschapsfilosoof Otto Neurath met zijn schip op zee is ook een mooi voorbeeld.

Men zag overduidelijk de voordelen van analogieën om iets uit te leggen, toch was tot de 20e eeuw de geldende opvatting dat de exacte wetenschappelijke taal vrij van analogieën moest zijn. Tegenwoordig is de gedachte dat analogieën een onderdeel vormen van ons conceptueel systeem: het is hoe we wijs worden uit de omgeving om ons heen. Net zo onmisbaar voor wetenschap als voor dagelijkse communicatie.

Binnen de moderne natuurkunde worden analogieën voor verschillende doelen gebruikt. Ze worden door onderzoekers gebruikt om nieuwe theorieën te ontwikkelen, om theorieën uit te leggen aan andere wetenschappers en niet-wetenschappers (communicatief), en om experimenten te verklaren (generaliserend). Docenten gebruiken analogieën in het onderwijs om de brug te slaan tussen de bestaande kennis en leefwereld van de leerlingen/studenten en voor de leerling nieuwe natuurkundige principes/fenomenen. Leerlingen maken zich kennis eigen onder andere via de aangeboden analogieën of door het ontwikkelen van spontane analogieën.

In het algemeen wordt het gebruik van analogieën binnen het onderwijs als nuttig en effectief beschouwd. Volgens Duit (1991) kan met analogieën aangesloten worden op de belevingswereld van de leerlingen, waardoor deze zich een betere voorstelling kunnen maken van abstracte concepten, overeenkomsten kunnen zien met nieuwe concepten en ook meer gemotiveerd kunnen raken. Met een analogie wordt nieuw te



vergaren kennis gerelateerd aan ervaringen die bekend zijn bij de leerling. Dit sluit aan bij de drie zones van ontwikkeling volgens Vygotsky: zone van actuele ontwikkeling, zone van naaste ontwikkeling en paniekzone. Een goede analogie legt een brug tussen de eerste twee zones, waarbij het basisdomein overeen komt met de zone van actuele ontwikkeling en het doeldomein met de zone van naaste ontwikkeling.

De koppeling van nieuwe informatie aan voorkennis is een belangrijk kenmerk van de constructivistische leertheorie die in het moderne onderwijs opgeld doet. Het gebruik van analogieën sluit dus zeer goed aan bij constructivistische ideeën over onderwijs.

Analogieën kunnen toegepast worden op verschillende manieren en met verschillende leerdoelen: ontdekkend, ontwikkelend, evaluerend, communicerend en generaliserend (Ugur *et al.*, 2012). De geschiedenis van de natuurkunde kent vele voorbeelden van het ontdekken en ontwikkelen van theorie met behulp van analogieën. Voorbeelden zijn de vergelijking van bliksem met elektriciteit (Franklin), de analogie tussen de bouw van een atoom (Bohr) en een zonnestelsel en Carnot gebruikte de analogie van de waterval om de theorie achter de stoommachine te begrijpen. Deze historische analogieën zijn belangrijk. Brookes *et al.* (2003) stellen bijvoorbeeld dat natuurkunde leerlingen vaak modellen in hun hoofd creëren van natuurkundige fenomenen op een manier die vergelijkbaar is met de historische ontwikkeling van concepten binnen de natuurkunde. De kennisontwikkeling bij huidige leerlingen zouden dezelfde fases doorlopen. Wellicht kunnen we de historische ontwikkeling en gedachtenprocessen van de natuurkunde en dus ook de toen gebruikte analogieën, gebruiken om het leerproces van huidige leerlingen te begeleiden. Daarbij moet worden bedacht dat de historische analogieën niet correct hoeven te zijn. De analogie van Carnot was bijvoorbeeld niet volledig juist. In de 19<sup>e</sup> eeuw heeft men lang gezocht naar de ether die om de aarde aanwezig moest zijn. Deze zoektocht vindt zijn oorsprong in het gebruik van de analogie tussen geluid en lucht. Beiden zijn golven en aangezien geluidsgolven een medium nodig hebben om te kunnen uitbreiden, veronderstelde men dat dit ook voor lichtgolven moest gelden. Door de fouten van destijds te onderkennen kunnen betere analogieën worden ontwikkeld.

Uit diverse onderzoeken blijken de positieve eigenschappen van analogieën. Toch is enige nuancering op zijn plaats. Onderzoek (Treagust, 1992) toont namelijk ook aan dat docenten veel minder gebruik maken van analogieën dan ze zelf denken. Veel docenten categoriseren voorbeelden ook als analogie, terwijl ze dat niet zijn. Het gebruik van een voorbeeld heeft echter wel het voordeel dat het gevaar voor het ontstaan van misconcepten via de mechanismes die we verderop in dit rapport bespreken er niet is.

Bovendien blijken niet alleen positieve effecten op te treden. Het gebruik van analogieën kan leiden tot misconcepten. Daarop wordt in de volgende paragraaf nader ingegaan.

Analogieën kunnen leiden tot misconcepten. Spiro et al. onderkennen acht mogelijke oorzaken die er toe kunnen leiden dat misconcepten ontstaan bij het gebruik van analogieën. Deze mogelijke oorzaken kunnen betrekking hebben op objecten, objecteigenschappen en relaties tussen objecten. We vatten dit samen onder de term aspecten. Spiro et al. maken een onderscheid in direct en indirect misleidende aspecten. Naar onze mening is dit slechts een verschil in nuance en om deze reden willen wij dit onderscheid niet overnemen en zullen wij dit als één mogelijke oorzaak beschouwen, genoemd misleidende aspecten. Daarnaast benoemt Spiro et al. twee mogelijke oorzaken die te maken hebben met taalgebruik. Deze zullen wij samen beschouwen als misleidend taalgebruik. In het onderstaande overzicht zijn de mogelijke oorzaken opgenomen, die vervolgens kort zijn toegelicht:

- Misleidende aspecten
- Ontbrekende aspecten
- Export 'overbodige' aspecten uit het basisdomein
- Focus op oppervlakkige overeenkomsten tussen aspecten in het basis- en doeldomein
- Vergroting/verkleining naar een verkeerd schaalniveau
- Misleidend taalgebruik

Naast het voorkomen van deze afzonderlijke oorzaken, kan het gebeuren dat meerdere oorzaken tegelijk optreden, Spiro noemt dit 'multiple based misconceptions'. Voor ons onderzoek zullen we dit niet als een apart soort oorzaak beschouwen.

Het lijkt ons op dit punt belangrijk om nogmaals te benadrukken dat de volgende indeling van oorzaken uitgaat van het *juiste* gebruik van analogieën die goed voorbereid en bewust behandeld worden en die zowel door docent als leerling goed begrepen worden in het basisdomein. Deze oorzaken zijn dus een eigenschap van de analogie en niet van verkeerd gebruik.

We hebben hieronder de verschillende aspecten die kunnen leiden tot misconcepten bij het gebruik van analogieën, toegelicht. We hebben deze verduidelijkt aan de hand van een voorbeeld natuurkunde analogie.

### 1. **Misleidende aspecten**

Sommige analogieën lijken geschikt om een concept in het doeldomein te belichten. Als echter niet alle aspecten van het concept op een goede manier in de analogie terug komen, kan dit leiden tot de verkeerde conclusies. Het effect kan ontstaan doordat de aspecten in het basis- en doeldomein toch niet helemaal gelijk zijn of doordat de effecten wel overeenkomen maar de aspecten visueel niet helemaal gelijk lijken zijn (zie voorbeeld 1).

### *Voorbeeld 1*

*Voor het uitleggen van breking van licht bij de overgang van medium 1 naar medium 2 wordt wel gebruik gemaakt van de analogie van rijdende auto's. Drie auto's rijden met gelijke snelheid vanaf een asfaltweg schuin een weiland in. In het weiland zal de snelheid van de auto's afnemen. Auto 1 zal als eerste de overgang tussen asfalt en weiland bereiken en dus ook als eerste worden afgeremd, gevolgd door de tweede en daarna de derde auto. Als gevolg hiervan zal de lijn langs de voorkanten van de auto afbuigen. Dit zou overeenkomen met de manier waarop een lichtstraal afbuigt. Strikt genomen klopt dit niet. De lichtstralen blijven zich na de overgang uitbreiden in een richting loodrecht op het golffront, terwijl dit in de analogie van de auto's niet gebeurt. De bewegingsrichting van de auto's verandert immers niet.*

## **2. Ontbrekende aspecten**

De tweede oorzaak die kan optreden is dat er wordt gekozen voor een analogie waarin er voor een belangrijk aspect in het doeldomein geen overeenkomstige aspect in het basisdomein is. Hierdoor zullen belangrijke aspecten in het doeldomein niet worden belicht. Het volgende is hiervan een voorbeeld.

### *Voorbeeld 2*

*De analogie van een waterval kan gebruikt worden om warmtetransport te beschrijven. Bij een waterval stroomt massa van een grotere naar een kleinere hoogte net zoals warmte gaat van een hoge naar een lage temperatuur. Maar het transport van massa bij de waterval vindt alleen plaats door stroming, terwijl warmte ook door geleiding en straling kan worden getransporteerd. Deze aspecten worden met de analogie dus gemist. Voor een beschrijving van de warmtestroom door een wand geldt hetzelfde. Deze warmtestroom kan op dezelfde wijze worden beschreven als elektrische stroom door een weerstand, maar ook hier worden warmtegeleiding en –straling buiten beschouwing gelaten.*

### *Voorbeeld 3*

*Een ander voorbeeld is de boven beschreven analogie van de rijdende auto's om de effecten van een overgang op lichtstralen uit te leggen. Bij licht zal op het scheidingsvlak tussen twee media naast breking ook (totale) reflectie optreden. Dat komt echter niet in de analogie van de auto's terug.*

## **3. Export 'overbodige' aspecten uit het basisdomein**

De vorige oorzaak kan zich ook andersom voordoen. Het kan ook zo zijn dat het basisdomein een belangrijke eigenschap heeft, die op geen enkele manier overeenkomt met een eigenschap van het doeldomein. Het kan dan zijn dat de leerling de analogie te ver doortrekt en een niet bestaande eigenschap verzint, wat dan onjuist is.

#### Voorbeeld 4

*Licht heeft een golfkarakter en tot het einde van de 19<sup>e</sup> eeuw veronderstelde men dat licht een medium nodig had om zich te kunnen uitbreiden en dat de lichtsnelheid die iemand kon waarnemen afhankelijk zou zijn van de snelheid van de waarnemer ten opzichte van dit medium. Deze veronderstelde eigenschappen van licht kwamen voort uit de vergelijking van licht met een ander golfverschijnsel, te weten geluid. Eigenschappen van het basisdomein geluid werden ten onrechte overgenomen in het doeldomein licht.*

#### 4. Focus op oppervlakkige overeenkomsten tussen aspecten in het basis- en doeldomein

Aspecten in het basisdomein komen goed overeen met aspecten in het doeldomein, terwijl onderliggende causale verbanden verschillen.

#### Voorbeeld 5

*In een vacuümbuis is het mogelijk om de elektronen van kathode naar anode te laten 'springen'. Het verlaten van de kathode door de elektronen kan worden uitgelegd aan de hand van een kop water. Alle druppels water zitten bij elkaar en geen enkele verlaat het kopje of de andere druppels. Echter als je het kopje schudt, dan zullen druppels de rest van het water verlaten en zelfs soms over de rand van het kopje. De onderliggende oorzaak in het basisdomein (schudden) is wezenlijk verschillend van die in het doeldomein (verwarmen van de kathode).*

#### 5. Vergroting/verkleining naar een verkeerd schaalniveau

Een analogie kan ook problemen op leveren omdat de schaal in het basisdomein veel groter of kleiner is dan die in het doeldomein. Het kan zijn dat op een bepaalde schaal er veel overeenkomsten zijn, maar als in- of uitgezoomd zou worden naar een kleinere of grotere schaal er verschillen gaan ontstaan. Als dat in- of uitzoomen niet juist gebeurt kunnen belangrijke aspecten in het doeldomein worden gemist.

#### Voorbeeld 6

*In het atoommodel van Bohr wordt de opbouw van een atoom wel vergeleken met het zonnestelsel. De elektronen, vergelijkbaar met planeten, bewegen zich in banen rond de kern die overeenkomt met de zon. Op een groot schaalniveau is deze vergelijking correct, maar als ingezoomd wordt worden verschillen zichtbaar. Zo voldoen de planeetbanen aan de wetten van de klassieke mechanica en moet voor de banen van de elektronen gekeken worden naar wetten van de kwantummechanica.*

## 6. Misleidend taalgebruik

Bij misleidend taalgebruik kunnen twee categorieën worden onderscheiden. Beide hebben te maken met (bij)betekenissen van termen die tijdens de natuurkundelessen worden gebruikt.

Technische termen kunnen in het dagelijks leven een heel andere betekenis hebben dan in de natuurkunde. Leerlingen kunnen dan onbedoeld deze dagelijkse betekenis zien als deel van een analogie en er vervolgens allerlei foutieve aspecten aan koppelen.

### *Voorbeeld 7*

*In het dagelijks leven wordt nogal eens gesproken over het stroomverbruik van een apparaat/toestel, terwijl bedoeld eigenlijk het energieverbruik wordt bedoeld. Hieruit zou onterecht kunnen worden geconcludeerd dat aan de ingang van een weerstand en hogere stroom loopt dan aan de uitgang.*

Natuurkundige concepten kunnen soms worden uitgelegd in niet-technische termen, maar deze termen kunnen onbedoelde bijbetekenissen hebben die bij gebruik tot misconcepten kunnen leiden.

### *Voorbeeld 8*

*Sommige batterijen zijn oplaadbaar. Iedereen begrijpt wat hiermee bedoeld wordt, maar 'opladen' is nauw verbonden met 'lading' en in relatie met elektriciteit is dan snel de link gelegd met elektrische lading. Deze bijbetekenis van opladen wekt zo ten onrechte de indruk dat er lading in plaats van chemische energie in de batterij wordt opgeslagen.*

Ook andere onderzoekers wijzen op de risico's bij het gebruik van analogieën. Zo wijzen Ugur et al. (2012) er op dat niet overeenkomende aspecten tussen basis- en doeldomein vaak aanleiding geven tot misconcepten. Als oorzaken voor de niet overeenkomende aspecten kan de lijst van Spiro worden aangehouden. Daarnaast benoemt Ugur et al. onbekendheid van de leerlingen met de analogie als een oorzaak van problemen die kunnen ontstaan, waarbij Spiro aanneemt dat leerlingen bekend zijn met de analogie.

Brookes (2006) bevestigt de gevolgen die taalgebruik kunnen hebben. Hij stelt dat het taalgebruik bij de uitleg van natuurkundige eigenschappen/concepten tot een incorrect begrip kan leiden en dat dit vaak gebeurt zonder dat docenten het beseffen. Neem bijvoorbeeld een opmerking als 'elektriciteit stroomt', waardoor leerlingen kunnen denken dat elektriciteit zich gedraagt als een vloeistof. Analogieën zijn daarmee onlosmakelijk verbonden met het taalgebruik. Leerlingen plaatsen hun nieuw verworven kennis in categorieën.

Brookes (2006) benoemt een aantal aspecten van taal die nauw samenhangen met analogieën:

- De taal en de andere weergaven van natuurkunde maken deel uit van het conceptueel systeem van de leerling.
- Leerlingen zijn bezig met het construeren van hun begrip van natuurkunde, maar worden geconfronteerd met vaststaande taalconventies binnen de natuurkunde die (sterk) kunnen afwijken van dezelfde termen in alledaags taalgebruik. Bij het gebruik van de vakspecifiek taal krijgen ze geen specifieke instructie of begeleiding.
- Binnen natuurkunde is taal één van de manieren om natuurkunde ideeën weer te geven. Natuurkundigen gebruiken taal om voorwerpen waarop hun ideeën betrekking hebben te beschrijven, evenals de relaties en de interacties van deze voorwerpen.
- Taal is een legitieme manier om sommige onderdelen van de natuurkunde te beschrijven, maar is niet boven alle twijfel verheven. De geschreven en gesproken taal in het klaslokaal heeft een grote invloed op de leeropbrengst van leerlingen.

Tenslotte komt hij tot de conclusie dat sommige zaken die nu worden geclassificeerd als misconcept eigenlijk voorkomen uit taalproblemen, waarbij leerlingen nog bezig zijn de betekenis en functie van sommige natuurkundetermen te categoriseren, in plaats van dat ze echt een concept niet begrijpen.

Ook Simanek heeft onderzoek gedaan naar de risico's van analogieën en hij constateerde dat ook bij veel toegepaste en breed bekende analogieën er verschillen tussen basis- en doeldomein bestaan, waardoor de kans op misconcepten aanwezig is. Hij komt op basis van zijn analyse tot de volgende eisen waar een goede analogie aan moet voldoen:

- De analogie moet het onbekende laten aansluiten op het bekende. Als niet wordt aangesloten op de voorkennis van de leerlingen is de analogie niet bruikbaar.
- De analogie moet simpel en eenvoudig uit te leggen zijn. Als een uitgebreide uitleg van de aspecten in het basis-domein nodig is of als er veel uitzonderingen buiten de analogie vallen, kan die analogie beter niet gebruikt worden.
- De analogie moet (redelijk) compleet zijn in alle belangrijke aspecten.
- De analogie moet wiskundig overeen komen. Dezelfde wiskundige vergelijkingen moeten van toepassing zijn.
- De analogie moet natuurkundig overeen komen. Dezelfde natuurkundige principes zijn van toepassing.

- Analogieën moeten niet worden gepresenteerd als demonstraties, argumenten of sluitend bewijs.
- De analogie moet niet beperkt blijven tot een enkele of speciale situatie.
- De analogie moet ook toepasbaar zijn op alle logische uitbreidingen van de theorie.
- Er moeten geen verborgen aannamen nodig zijn om de analogie te laten werken.

Het bovenstaande kan worden samengevat in twee stellingen van Ugur et al. Volgens de eerste is er geen analogie waarbij de aspecten in het basis- en het doeldomein volledig overeen komen. Er komt altijd een punt waar de analogie mank loopt. De tweede zegt dat niet-kritisch gebruik van analogieën tot misconcepten kan leiden.

Uit diverse onderzoeken blijken de positieve eigenschappen van analogieën. Wij menen dat analogieën inderdaad effectief zijn, maar dat dan wel aan bovenstaande voorwaarden moet worden voldaan. Toch is enige nuancering op zijn plaats. Onderzoek (Treagust, 1992) toont namelijk ook aan dat docenten veel minder gebruik maken van analogieën dan ze zelf denken. Veel docenten categoriseren voorbeelden ook als analogie, terwijl ze dat niet zijn.

Alle onderzoeken die in de artikelen zijn beschreven hebben zich gericht op (eerstejaars) studenten. Specifieke onderzoeken uitgevoerd met middelbare scholieren zijn ons niet bekend. Er zou wel een groot verschil kunnen bestaan in de zin dat bij middelbare scholieren, zeker in de onderbouw, slechts beperkte conceptuele kennis aanwezig is die gebruikt kan worden als basis voor een analogie. Het door Ugur et al. geconstateerde risico dat de leerlingen onbekend zijn met de analogie is dan zeker aanwezig. Wij zien op voorhand geen aanleiding om te veronderstellen dat de oorzaken die Spiro noemt of de eisen die Simanek stelt niet van toepassing zouden zijn in situaties waarbij analogieën worden gebruikt bij middelbare scholieren, maar dat is onderdeel van ons onderzoek.

### **Onderzoeksvraag**

Welke aspecten van gebruikte analogieën spelen een rol bij het aanleren van concepten aan leerlingen voor het onderwerp elektrische schakelingen.

### **Subvragen**

1. Welke analogieën zijn bekend vanuit de literatuur en welke worden door docenten in de natuurkundelessen gebruikt om de theorie achter elektrische schakelingen en stroomkringen duidelijk te maken.
2. Welke risico's zijn verbonden aan de geïnterpreteerde analogieën
3. Wat zijn de overwegingen om analogieën te gebruiken:
  - a. Wat zijn de overwegingen van de docenten om analogieën in het algemeen te gebruiken.
  - b. Op grond van welke specifieke argumenten wordt gekozen voor de toegepaste analogieën.
4. Hoe wordt omgegaan met risico's en problemen van analogieën:
  - a. Wat doet de docent als een analogie vastloopt.
  - b. Worden meerdere analogieën tegelijk gebruikt
  - c. Welke problemen hebben leerlingen met de gebruikte analogieën.

### **Verwachting**

Onze verwachting is dat analogieën bijdragen aan het overbrengen van conceptuele kennis en begrip. De hoogste effectiviteit wordt echter pas bereikt als meerdere analogieën tegelijk of achter elkaar worden ingezet, zeker als het complexere concepten betreft (*Spiro et. al.*). De analogieën vullen elkaar aan en laten duidelijker zien dat het aan te leren concept complex is en meerdere bekende concepten bevat. Op deze manier kunnen de misconcepten die door een analogie kunnen ontstaan, direct gecorrigeerd worden door een andere analogie te gebruiken.



---

## ONDERZOEKSMETHODE

---

In dit hoofdstuk wordt de onderzoeksmethode beschreven. Hierbij komt als de onderzoek aanpak aan de orde. In de volgende paragraaf wordt nader ingegaan op de betrouwbaarheid en de validiteit van het onderzoek.

---

## ONDERZOEK AANPAK

---

In de bovenstaande is de probleemanalyse en onderzoeksvraag beschreven. Het onderzoek heeft een verkennend karakter. Het richt zich op het Nederlandse natuurkundeonderwijs en in het bijzonder op het onderwijs van het onderwerp elektrische schakelingen. We hopen echter dat de resultaten ook in andere vakgebieden toepasbaar zijn. In tabel 3 is het onderzoek schematisch weergegeven. Hieronder worden de verschillende fases één voor één uitgewerkt.

**Tabel 2: Methode en fasen van het onderzoek**

Fase	Doel	Uitkomst
Fase 1	Literatuurstudie	Lijst analogieën Lijst oorzaken misconcepten
Fase 2	Analyse analogie en misconcept lijsten	Combinatie lijst analogie-misconcept Interview-protocol
Fase 3	Interviews enkele docenten	Verzamelen data
Fase 4	Verbatim uitwerken	Inzicht praktijk misconcept
Fase 5	Analyse van de verslagen, mogelijk extra koppelingen met bestaande literatuur.	Inzicht van de rol die analogieën spelen bij ontstaan misconcepten. Kijken hoe goed resultaten aansluiten bij eerder onderzoek
Fase 6	Verslaglegging	Verslag

In de eerste fase is een literatuurstudie uitgevoerd naar de analogieën die in de natuurkundeles worden gebruikt en naar de manier waarop analogieën kunnen leiden tot misconcepten. Ook eigen ervaringen met analogieën en misconcepten zullen in dit deel van de studie worden betrokken. De literatuurstudie heeft tot twee lijsten geleid. Een lijst met analogieën, waarop het interviewprotocol is gebaseerd, deze lijst is samen met de analogieën die uit de interview tevoorschijn kwamen in dit verslag opgenomen als de “inventarisatie analogieën”. De tweede lijst is een lijst met aspecten van analogieën die problemen kunnen veroorzaken, deze lijst is opgenomen in het theoretisch kader in de paragraaf “inherentie risico’s van analogieën”, deze lijst is bovendien gebruikt om de geïnventariseerde analogieën te analyseren.

Vervolgens zijn interviews zijn afgenomen met zeven docenten. Deze zijn opgenomen onder de namen Docent A t/m Docent G. In de onderstaande tabel staan de gegevens van de docenten.

**Tabel 3: Gegevens geïnterviewde docenten**

Docent	Aantal jaar ervaring	Type onderwijs
Docent A	4 jaar	VMBO 3 en 4, Havo 4 VWO 5
Docent B	17 jaar	VMBO 2, 3 en 4, Havo 2 en 3
Docent C	25 jaar	VMBO, Havo en VWO Alle klassen
Docent D	7 jaar	Havo en VWO Alle klassen
Docent E	18 jaar natuurkunde 19 jaar scheikunde	Bovenbouw
Docent F	5 jaar natuurkunde 10 jaar scheikunde	Onderbouw
Docent G	15 jaar	Onderbouw en bovenbouw

In het interview zijn in ieder geval de volgende vragen aan de orde gekomen:

1. Welke analogieën kent de docent;
2. Welke analogie past hij/zij toe tijdens de lessen;
3. Waarom gebruikt hij/zij bepaalde analogieën wel of juist niet;
4. Welke beperkingen ziet/ervaart hij/zij met betrekking tot gebruik van analogieën;
5. Welke voordelen ziet/ervaart hij/zij met betrekking tot gebruik van analogieën;
6. Welke analogieën observeert hij/zij bij hun leerlingen. Dit kunnen eigen, spontane of eerder aangeleerde (wellicht geïntroduceerd door eerdere docenten) analogieën zijn.

De lijst met analogieën uit fase 2 zijn tijdens de interviews als leidraad gebruikt. Vanwege de beschikbare tijd, zijn de interviews bij een beperkt aantal docenten afgenomen. Gezien de korte periode waarin het onderzoek valt, zijn docenten geselecteerd die op onze stage scholen werken, in West-Nederland. De interviews geven inzicht, maar zijn geen betrouwbare steekproef voor de gehele populatie van docenten die natuurkundeonderwijs in Nederland geven.

In de vierde fase van ons onderzoek hebben we de interviews die we bij de verschillende docenten hebben afgenomen verbatim uitgewerkt, waardoor we ons zelf in staat hebben gesteld deze gegevens te analyseren. We hebben ons in deze fase ook georiënteerd op verschillende manieren waarop we deze data kunnen analyseren.

De vijfde fase is begonnen nadat we de interviews hadden uitgeschreven, we hadden op dat moment toegang tot de gegevens op een manier waarop we er iets mee konden doen. We hebben in deze fase geprobeerd antwoorden op onze onderzoeksvragen te krijgen uit de gegevens die we hebben verzameld in de interviews. Behalve een analyse van onze eigen gegevens hebben we de gegevens en de conclusies die we hieruit trekken vergeleken met eerdere onderzoeken over dit onderwerp.

In fase zes zijn de resultaten verwerkt in een rapport.

De steekproef wordt genomen over zeven docenten. Dit is geen groot aantal, maar uit de bovenstaande tabel blijkt dat de docenten met betrekking tot hun ervaring en het werken in verschillende onderwijssystemen een brede spreiding vertonen. Docent met 4 tot 37 jaar ervaring op VMBO, Havo en VWO maken deel uit van de steekproef. Om die reden zijn de uitkomsten van de interviews valide en betrouwbaar voor het verkennend onderzoek.

Voor het vaststellen van de analogieën wordt gebruikt gemaakt van literatuur, eigen ervaring en ervaring van geïnterviewde docenten. Daarmee worden alle bronnen die informatie zouden kunnen leveren, behalve de leerlingen, benut. Het is echter niet waarschijnlijk dat leerlingen een bijdrage kunnen leveren aan het overzicht van analogieën die worden gebruikt. Voor het inwinnen van informatie over de effectiviteit van analogieën in het onderwijs dienen de leerlingen zeker betrokken te worden in het onderzoek. Dit was echter buiten de scope van het huidige verkennende onderzoek.

De analogieën die gebruikt worden door de docenten kunnen worden vergeleken met de analogieën zoals bekend uit de literatuur. Aan de hand van deze vergelijking kan verder onderzocht worden of de steekproef voldoende betrouwbaar is. Als blijkt dat de analogieën die in de literatuur worden genoemd in grote mate worden gedekt door de analogieën die docenten gebruiken is dat een duidelijke indicatie dat het overzicht (in voldoende mate) volledig is. Uiteraard kan een tweede (grotere) steekproef worden uitgevoerd om de betrouwbaarheid verder te vergroten. Dit kan een aanbeveling zijn voor verder onderzoek.

De overwegingen van docenten om analogieën te gebruiken, welke analogieën ze gebruiken en hoe ze omgaan met de risico's kunnen we op geen andere manier toetsen dan door een grotere steekproef te gebruiken.

Er is specifiek gekozen voor diepte interviews omdat dit het meeste inzicht geeft in de afwegingen en overwegingen en ervaringen van docenten. Deze informatie is slechts deels te verkrijgen als enquêtes o.i.d. worden gebruikt. In de opzet van het interview is er voor gekozen om de docenten eerst zelf analogieën te laten noemen en ervaringen te laten delen alvorens voorbeelden aan te reiken aan de docenten. Op deze manier hebben we dus de ervaringen en meningen van docenten zelf verkregen zonder sturing. Dit verhoogt de validiteit en betrouwbaarheid van het onderzoek.

Op basis van bovenstaande argumenten, is er sprake van een valide en betrouwbaar onderzoek.

We zijn in het onderzoek een groot aantal analogieën binnen het onderwerp elektriciteit tegen gekomen, die vaker of minder vaak worden gebruikt bij de lessen natuurkunde. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van al deze analogieën. Dit bestaat in eerste instantie uit de resultaten van een inventarisatie van de literatuur en interviews met zeven docenten. In het volgende hoofdstuk worden de inherente risico's van de geïnventariseerde analogieën beschreven. Voor deze analyse is gebruik gemaakt van het aangepaste model van Spiro. De resultaten van deze analyse staan in de volgende paragraaf.

De literatuur biedt een uitgebreid overzicht van de analogieën die binnen het onderwerp elektriciteit kunnen worden toegepast. Veel hiervan worden door docenten ook tijdens de lessen gebruikt. Het blijkt dat er nauwelijks gebruik wordt gemaakt van analogieën die door de docent zelf zijn ontwikkeld. In ons onderzoek zijn we maar één zelf-ontwikkelde analogie tegen gekomen. Het onderstaande overzicht geeft een beschrijving van beschreven en gebruikte analogieën. In eerste instantie worden analogieën beschreven die betrekking hebben op één aspect van elektrische schakelingen. De beschouwde aspecten zijn Spanningsbron, Weerstand, Parallelschakeling, Energieverlies, Stroom in de hele stroomkring en Beweging van de elektronen. Vervolgens zijn onder het aspect 'Elektrische schakelingen' analogieën met een bredere insteek beschreven. Hiermee kunnen een groot aantal aspecten in samenhang worden uitgelegd.

### **Spanningsbron**

#### ***Spons***

Er bestaan meerdere analogieën voor een spanningsbron. De meeste maken deel uit van een uitgebreidere analogie, waarin ook andere elektrische aspecten zijn opgenomen. Voorbeelden zijn de fabriek en de bakkerij, de bloedsomloop en het stuwmeer. Deze voorbeelden worden later besproken. In dit deel wordt alleen de analogie van de spons behandeld. Dit is zo ver wij hebben kunnen ontdekken de enige analogie die zich uitsluitend beperkt tot het concept spanningsbron

In deze analogie wordt een spanningsbron vergeleken met een met water gevulde spons. De spons kan geladen worden door hem onder water te houden en loopt leeg door er in te knijpen of door de zwaartekracht.

### **Weerstand**

Er bestaan vrij veel analogieën om het concept weerstand duidelijk te maken. Het gebruik van versmallingen in een pad om weerstand uit te leggen komt daarbij regelmatig voor. Voorbeelden hiervan zijn de analogie van de smalle brug en de analogie met de dikke en dunne buizen. Deze laatste is waarschijnlijk meer van toepassing op soortelijke weerstand, maar deze begrippen zijn aan elkaar verwant. Om deze reden worden weerstand en soortelijke weerstand als één categorie behandeld.

### ***Drukke straat + Springende leerlingen***

Door een drukke menigte (grote weerstand) bewegen is moeilijk; dit kost veel energie en gaat langzaam. Door een rustige straat (kleine weerstand) lopen kost veel minder energie en gaat sneller.

Deze analogie kan goed gecombineerd worden met de analogie van de springende leerlingen, die gaat over leerlingen die zich druk gaan gedragen naar mate ze warmer worden, in analogie met atomen die steeds sneller gaan bewegen naar mate ze warmer worden. Het idee is dat leerlingen andere fenomenen die veroorzaakt worden door warmte en beweging van atomen zo beter gaan begrijpen. Vervolgens kan met deze kennis redelijk aannemelijk worden gemaakt dat de weerstand van een warme draad hoger is, omdat het moeilijker is te bewegen door een druk bewegende menigte dan door een stilstaande groep. Dit is het principe van een PTC.

### ***Verkeer op een smalle brug - Strooming door buizen***

In deze analogie stelt een smalle brug de weerstand voor. Het verkeer bereikt de brug via een bredere weg en zal dus voor de brug moeten afremmen, want het kan niet zo makkelijk door rijden vanwege de brug. Het afremmen en weer optrekken zal extra energie kosten. In deze analogie komt het verkeer overeen met de elektronen en het energie die het kost om over de brug te rijden is vergelijkbaar met een spanningsverschil over een weerstand.

Ook in de analogie van de buizen wordt gebruik gemaakt van versmallingen om weerstand uit te leggen. Als water door een buizenstelsel stroom laten de dikke buizen de strooming makkelijker toe dan dunne buizen. Smalle buizen hebben dus een grotere weerstand. Dit kan worden op twee manieren worden uitgebreid. De eerste uitbreiding betreft het materiaal waaruit de buizen zijn gemaakt. In buizen die ruw zijn van binnen ondervindt de strooming van water een grotere weerstand dan in buizen die glad zijn van binnen. De tweede uitbreiding gaat over de lengte van de buizen. Het kost weinig moeite om voor te stellen dat de weerstand tegen de strooming groter is als de buis langer is.

In de meest uitgebreide versie van de analogie komen de drie aspecten die de weerstand van een stroomdraad bepalen, doorsnede, soortelijke weerstand en lengte van draad allen aan de orde.

### **Parallelschakeling**

Voor serieschakelingen zijn we geen afzonderlijke analogieën tegen gekomen. Onderstaand worden een aantal analogieën besproken waarbij getracht wordt om de principes achter elektriciteit in brede zin uit te leggen. In deze analogieën heeft serieschakelingen wel een plaats gekregen, maar het onderwerp vormt niet het belangrijkste deel van de analogieën. Dit is ook niet zo vreemd. Als de leerlingen een goed begrip van weerstand hebben gekregen, is het goed te begrijpen dat twee of meer weerstanden achter elkaar geplaatste weerstanden samen één grotere weerstand op leveren. Meer moeite hebben leerlingen met parallelschakelingen. Daar voor bestaan wel analogieën. Wat daarbij opvalt is dat de analogieën wel het principe van parallelschakelingen duidelijk maken, maar de relatie tussen de

weerstanden en de vervangingsweerstand niet zonder meer zichtbaar wordt gemaakt. Daar is nog extra uitleg voor nodig. Dit betekent echter niet dat de analogie hier niet geschikt is, maar wel dat dit op een andere manier aan de orde komt.

### ***Moeilijke en makkelijke weg***

Als mensen bij een splitsing in de weg aankomen en moeten kiezen langs welke route ze hun weg vervolgen, dan moeten ze kiezen tussen 'het gaat moeilijk' (hogere weerstand) of 'het gaat makkelijk' (lagere weerstand). In het algemeen pakken ze de dan de makkelijke weg of wel de weg van de minste weerstand. De splitsing komt overeen met een parallelle schakeling, waarbij de meeste stroom gaat via pad van laagste weerstand.

Een variant op de analogie van de moeilijke en makkelijke weg grijpt terug op de stroming door buizen die boven al is beschreven. Ook in een buizenstelsel zal het meeste water bij een splitsing het pad met de minste weerstand volgen, dus het pad met de meest voordelige combinatie van doorsnede, soortelijke weerstand en lengte.

### ***Supermarkt - Lokaal met twee deuren***

Als in een supermarkt een grote rij voor de kassa staat, wordt de stroom boodschappende mensen sneller geholpen wanneer er meer kassa's open zijn dan wanneer iedereen bij dezelfde kassa moet afrekenen. Iedere kassa staat dan voor een keten van een parallelle schakeling. Het is eenvoudig aannemelijk te maken dat de klanten twee maal zo snel worden geholpen als er twee in plaats van één kassa open is. Dit geldt echter onder de voorwaarde dat de beide kassières even snel werken. Een langzamer werkende kassière betekent vertraging bij de betreffende kassa. Dit komt overeen met een grotere weerstand.

In een variant van het klaslokaal met dubbele deuren willen leerlingen een lokaal verlaten. Het zal makkelijker (lagere weerstand) gaan wanneer er twee deuren zijn (parallelle schakeling) dan wanneer er maar een deur is (hogere weerstand). Ook hier kan een verschil in weerstand worden ingebracht doordat de breedte van de deuren kan variëren. Een smallere deur geeft dan een grotere weerstand.

### **Energieverlies**

#### ***Lekkende kraan***

Een eenvoudige manier om energieverlies uit te leggen is de analogie met de lekkende kraan.

### **Stroom in de hele stroomkring**

#### ***Regenpijp met knikkers***

Een horizontale regenpijp of een tuinslang gevuld met knikkers komt overeen met een stroomdraad met elektronen. Als je links een knikker erin stopt dan valt er op dat moment gelijk een knikker aan de rechterkant uit. Er kan aan gekoppeld worden dat het invoeren van een knikker aan één kant van de regenpijp of tuinslang overeen komt met een batterij. De belangrijkste reden om de analogie te gebruiken is het feit

dat hiermee duidelijk wordt dat als op één plaats een stroom gaat lopen, dit gelijk voor de hele stroomkring geldt. Hetzelfde effect wordt bereikt met een fietsketting, een roltrap of een fietswiel.

### **Beweging elektronen**

Een belangrijk kenmerk van een stroomkring is de beweging van de elektronen. Hierbij zijn twee onderdelen belangrijk. Ten eerste het feit dat de stroom van de plus- naar de minpool van de spanningsbron loopt, terwijl de elektronen juist de andere kant op bewegen. Ten tweede het feit dat de snelheid waarmee de elektronen bewegen lager is dan de snelheid waarmee de stroom zich voortplant. Het eerste onderdeel wordt verduidelijkt met behulp van de analogie van de file en de tweede met behulp van de vergelijking met geluidsgolven.

#### ***File***

Stel nu je staat in de file, en de rij auto's gaat de hoek om. Je kunt dus niet zien wat er aan de hand is, maar elke keer kun je 8 meter naar voren en sta je weer 4 min stil. Daarna schuif je weer 8 meter naar voren. Dit proces herhaalt zich steeds. Dan weet je dat er om de hoek een stoplicht staat. De auto's in deze analogie komen overeen met de elektronen in een stroomkring. Ze bewegen in één richting. De informatie dat er een stoplicht staat gaat echter in de tegenovergestelde richting.

#### ***Geluidsgolven***

Geluidsgolven (elektrische energie) hebben moleculen (elektronen) nodig om zich voort te planten. De moleculen bewegen zich langzamer voort dan het geluid zelf en ook niet altijd in dezelfde richting. Iets vergelijkbaars gebeurt in een stroomkring. De elektronen, die vergelijkbaar zijn met de moleculen bij geluidsgolven, bewegen, maar hun snelheid is veel lager dan de snelheid van de stroom. Stroom en geluidsgolven komen in dit opzicht dus met elkaar overeen.

### **Elektrische schakelingen**

Er worden meerdere analogieën gebruikt om de begrippen spanning, stroom, spanningsbron, weerstand, serie en parallelschakeling in samenhang uit te leggen.

#### ***Kruiwagen met knikkers – Fabriek – Bakkerij***

Een kabouter komt met een kruiwagen of een puntzak aan bij een energie afnemend apparaat en loopt vervolgens door dat apparaat. In de kruiwagen liggen knikkers/. Als de kabouter door het apparaat loopt, blijft een deel van de knikkers achter in het apparaat en de kabouter heeft dus minder knikkers in de kruiwagen als hij aan de andere kant weer uit het apparaat komt. Als de kabouter zijn pad vervolgt komt hij bij een punt waar de kruiwagen weer gevuld wordt met knikkers, waarna de kabouter weer op pad gaat. In deze analogie stelt de kabouter met de kruiwagen een elektron voor, de knikkers zijn de pakketjes energie, het energie afnemend apparaat is een weerstand en het vulpunt is de batterij.

Bij een splitsing in het pad (parallele schakeling) moet de kabouter een richting kiezen. Als er meerderen kabouters op pad gaan met een kruiwagen, zal een deel

van de kabouters voor het ene pad kiezen en een ander deel voor het ander pad. De afzonderlijke paden komen aan het eind weer bij elkaar om via één pad richting het vulpunt te gaan. In alle afzonderlijke paden is weer een energie afnemend apparaat aanwezig waar de kabouters knikkers afleveren en wel zodanig dat als ze aan het eind van de paden alle kabouters weer bij elkaar komen, het aantal knikkers in de kruiwagens nul is. De meeste kabouters (grootste stroom) kiezen het pad met het apparaat waar ze de minste knikkers moeten afgeven.

Als de kabouters op hun pad langs meerdere apparaten achter elkaar moeten (serie schakeling), dan moeten de kruiwagens hun knikkers verdelen over de verschillende apparaten, zodat ze op nul uitkomen voordat ze weer bij het vulpunt terugkomen. Bij een groter apparaat (grotere weerstand) moet hij meer knikkers afgeven dan bij een kleiner apparaat (kleinere weerstand).

De analogie van de fabriek met vrachtwagens die goederen afleveren en de analogie van de bakkerij met bakkersjongens die brood bezorgen zijn vergelijkbaar met de kabouter-analogie. Hierin komen de fabriek en de bakkerij overeen met een batterij (spanningsbron). Hier worden de goederen en broden gemaakt/gebakken die overeen komen met de knikkers uit de analogie met de kabouters. De vrachtwagens/bakkersjongens zijn de elektronen die respectievelijk goederen en broden (energie) afleveren bij huizen (weerstand). Grote huizen (grote weerstanden) krijgen meer goederen/broden dan kleine huizen (kleine weerstanden). Er kunnen meer goederen/broden afgeleverd worden door meer vrachtwagens/bakkersjongens op pad te sturen, hetgeen overeen komt met een grotere stroom, of door meer goederen in een vrachtwagen te laden of meer broden met een bakkersjongen mee te geven. Meer goederen en broden betekent dan meer energie en dus een hogere spanning.

De vrachtwagens/bakkersjongens leveren door de hele stad en rijden daarbij langs verschillende routes. Het begin- en eindpunt is echter altijd de fabriek/bakkerij. De vrachtwagens hebben een vrachtbriefje mee, dus ze weten precies wat ze bij welke huis moeten afleveren en hoeveel huizen ze tegenkomen op hun route. Ook de bakkersjongen krijgt een bezorglijst mee.

Als de bakkersjongen over asfalt fiets zal de weerstand anders zijn dan op een modderweg. Daarmee kan soortelijke weerstand worden uitgelegd. Dit aspect is niet specifiek opgenomen in de analogie van de kabouters en de fabriek. Uiteraard kan dat daar wel worden ingebracht, maar het de vraag of dit dan even overtuigend is. Een vrachtwagen heeft immers minder last van verschillen in het wegdek en hetzelfde geldt voor de kabouters.

De bakkersjongen verliest onderweg broodkruimels, die door de mand vallen. Op deze manier kunnen energieverliezen worden uitgelegd. Ook dit aspect kan in de andere analogieën worden opgenomen; er vallen goederen van de vrachtwagen en knikkers uit de kruiwagens. Het is echter minder waarschijnlijk dat goederen regelmatig van een vrachtwagen vallen en het is evenmin waarschijnlijk dat er knikkers uit de kruiwagens vallen, zonder dat de kabouter dat merkt.



## **Lichaam, bloedsomloop**

De bloedsomloop is een andere analogie die gebruikt wordt om de bergrippen spanning, stroom, spanningsbron, weerstand, serie en parallelschakeling uit te leggen. Het hart (batterij) pompt het bloed (elektronen = stroom) door de aderen (leidingen) om zuurstof en voedsel (energie = spanning) rond te brengen. Ook in de bloedsomloop is sprake van splitsingen (parallele schakelingen) en plekken waar al het bloed langskomt, zoals longen en nieren (serie schakeling). De zuurstof en energie wordt afgegeven bij de organen en weefsels van het lichaam, die daarmee de weerstanden in de stroomkring voorstellen. Als dieper op de analogie wordt doorgedaan, kan worden verteld dat cellen in organen van elkaar kunnen verschillen afhankelijk van de functie die ze moeten vervullen. Doordat het aantal en de typen cellen in organen kunnen verschillen, zullen de hoeveelheden zuurstof en voedsel dat door de organen wordt afgenomen ook verschillen. In termen van elektriciteit betekent dit dat de weerstanden zullen verschillen. Aan het eind van de bloedsomloop wordt het bloed via de ader terug gevoerd naar het hart. Al het zuurstof en voedsel is dan afgegeven aan het lichaam en er is niet meer in het bloed aanwezig.

## **Trillende veertjes**

In de analogie van de trillende veren worden elektronen voorgesteld door een veer die in een transversale trilling gebracht, zodanig dat er aan de uiteinden een knoop ontstaat met daar tussen een buik (halve golflengte). Er kunnen ook andere soorten van trillingen optreden, bijvoorbeeld met meerde buiken en knopen, maar die komen overeen met andere elementaire deeltjes. De trilling met één buik stelt een elektron voor. Omdat een elektron nooit in rust is, zal er altijd een trilling in de veer optreden. De uitwijking daarvan kan echter variëren. Deze uitwijking komt overeen met de spanning. Een grotere uitwijking, dus meer energie voor de trillende veertjes, betekent dan meer volts. Op deze manier kan worden uitgelegd dat volt de energie is op een elektron. Het aantal veertjes, dus het aantal elektronen bepaald de stroom in ampère.

Dicht bij de negatieve uitgang van de spanningsbron krijgen de elektronen veel energie. Ze zijn dan opgewonden en de uitwijking van de veertjes is groot. Maar de elektronen streven naar een situatie van rust, waarbij de uitwijking van het veertje minimaal is. Dan gaan ze door de stroomkring naar de positieve uitgang. Onderweg geven ze hun energie af. Die wordt omgezet in bijvoorbeeld warmte. Op de plek in het draadje waar ze het moeilijkste door kunnen, geven ze de meeste energie af en daar is de weerstand dus het grootst. Op die manier kan ook de weerstand van de draad zelf worden uitgelegd. Een spanningsbron in deze analogie is niets anders dan het verplaatsen van de veertjes, naar een plek waar ze 'opgewonden' zijn en dus trillen met een grote uitwijking.

Bij het verplaatsen van de negatieve uitgang naar de positieve uitgang bepaald de weg de weerstand. Daarvoor kan eventueel poortjes/gangetje worden gebruikt. Hoe smaller het poortje/gangetje waar de veertjes doorheen moeten, hoe groter de weerstand. Door meerdere poortjes/gangetjes te gebruiken, kan de parallelschakeling worden uitgelegd. De meeste veertjes zullen door het breedste

poortje/gangetje gaan. Hoe smaller het poortje/gangetje, hoe minder veertjes. Maar ook al kiezen de veertjes een andere poortje/gangetje, ze beginnen en eindigen op dezelfde plekken en die plekken zijn bepalend voor de mate waarin ze trillen. Dus aan het begin en eind zijn alle veertjes in dezelfde toestand, ze hebben allemaal dezelfde energie, dezelfde spanning.

De veertjes/elektronen verplaatsen zich door buisjes. Daarbij botsen de veertjes die dicht bij de wand zitten ook tegen de wand en daarbij geven ze weer hun energie af. De buisjes kunnen met verschillende materialen bekleed zijn, rubber of met spijers, en daarmee kan soortelijke weerstand worden uitgelegd.

### **Centrale verwarming**

Een CV-installatie bestaat uit een ketel, radiatoren en buizen/leidingen. De ketel (batterij) verwarmt water dat door buizen (stroomdraden) naar radiatoren (weerstand) gaat. Het water in de leidingen kan zich splitsen, waardoor afzonderlijke ketens met radiatoren ontstaan. Deze situatie is vergelijkbaar met een parallelschakeling. In één keten kunnen meerdere radiator achter elkaar worden aangesloten. Er is dan sprake van een serieschakeling. Als het water weer bij verwarmingsketel komt, is het afgekoeld en wordt het in ketel weer verwarmd. De hele tijd is er evenveel water in het stelsel aanwezig, want er verdwijnt niets en er wordt ook niets toegevoegd. Het stelsel als geheel is dus gesloten.

Bij een splitsing in het buizenstelsel kan het water kiezen en zal het één van de ketens nemen en daar warmte verliezen. Het water verlies warmte tijdens het transport door de buizen, maar de meeste warmte wordt afgestaan bij de radiatoren. Het verliest meer warmte bij grote radiator (grote weerstand) dan bij kleine radiator (kleine weerstand).

### **Water(val)**

Onder de naam waterval worden eigenlijk twee nauw verwante analogieën bedoeld. De eerste gaat echt over een waterval en bij de tweede wordt eigenlijk een cascade of stroomversnelling bedoeld. In beide gevallen valt water van een hoogte naar beneden. Het hoogteverschil is vergelijkbaar met een spanningsverschil: hoe hoger de waterval of stroomversnelling, des te hoger de spanning. De hoeveelheid water die naar beneden stroomt is afhankelijk van de aanvoer voorafgaand aan de waterval of stroomversnelling. Dit is vergelijkbaar met de stroom in een elektrische schakeling. Tot zover komen de beide analogieën overeen. Met betrekking tot weerstand, serie en parallelschakeling ontstaat echter een verschil.

In een waterval zijn geen of nauwelijks obstakels in de stroming aanwezig. Het water bestaat uit druppels die de elektronen voorstellen. De waterdruppels kunnen verschillende paden afleggen, maar uiteindelijk komen ze allemaal beneden en hebben ze evenveel energie verloren. Maar zelfs de paden die de druppels volgen zijn niet constant in de tijd en het wordt daarom lastig om weerstand, serie en parallelschakeling in de analogie op te nemen.

Bij een cascade bevinden zich in de stroming obstakels, zoals rotsblokken. Deze houden een deel. De totale stroming wordt derhalve bepaald door één of meerdere

obstakels in het water en die vergelijkbaar zijn met een elektrische weerstand. Het water in een cascade kan via verschillende paden naar beneden stromen en op ieder pad komt het één of meerdere obstakels tegen. De verschillende paden komen overeen met een parallelschakeling, terwijl de obstakels die achter elkaar op een specifiek pad liggen een serieschakeling vormen. Als het water twee paden kan kiezen, dan zal het meeste water het makkelijkste pad kiezen, bijvoorbeeld het pad met de minste rotsblokken (lage weerstand). Als al het water dan weer bijeen komt dan zal er nog evenveel water zijn als bij het begin; de totale stroom blijft gelijk.

In een aanvulling kan in deze analogieën gebruik worden gemaakt van een stuwmeer. Hier wordt zwaarte-energie opgeslagen op dezelfde manier als elektrische energie wordt opgeslagen in een batterij. Hetzelfde kan worden bereikt als gebruik wordt gemaakt van een stortbak van de wc, maar deze analogie staat meer op zich zelf en biedt niet veel mogelijkheden om andere aspecten van elektriciteit, zoals bijvoorbeeld serie- en parallelschakeling, uit te leggen.

Gebruik makend van de aangepaste Spiro model is, ieder analogie uit bovenstaande paragraaf geanalyseerd voor mogelijk oorzaken van misconcepten. Het is een theoretische analyse gebaseerd op literatuurstudie, eigen ervaring en interviews van aantal natuurkunde docenten. De analyse laat zien dat de meeste analogieën één of meerdere risico's met zich meebrengen tot ontstaan van misconcepten bij leerlingen. Aan het eind van deze paragraaf is een samenvatting van de bevindingen gegeven in de vorm van een tabel.

### **Spanningsbron**

#### ***Spons***

De spons als voorbeeld voor een spanningsbron is een eenvoudig te begrijpen analogie. Toch zijn er een aantal aspecten die voor misvattingen kunnen leiden. Zo is er sprake van een oppervlakkige overeenkomst in zoverre dat een spons leeg loopt onder invloed van externe mechanische krachten, zoals knijpen of de zwaartekracht. Een spanningsbron geeft de opgeslagen elektrische energie af zonder dat daar een externe kracht voor nodig is. Het is voldoende dat er een stroomkring wordt aangesloten. De evenknie van de stroomkring is in de analogie zelfs helemaal niet aanwezig. Het water uit de spons gaat alle kanten op en komt niet in een soort van stelsel terecht. Tenslotte is er ten aanzien van de tijd sprake van een verkeerd schaalniveau, want terwijl een spanningsbron langzaam zijn energie afgeeft, loopt de spons heel snel leeg.

### **Weerstand**

#### ***Drukke straat + Springende leerlingen***

In deze analogie is sprake van een misleidend aspect, omdat mensen enerzijds elektronen voorstellen en er anderzijds voor zorgen dat er weerstand ontstaat. Hierdoor zou het idee kunnen ontstaan dat de elektronen met name snelheidsverschillen tussen de elektronen voor weerstand zorgen.

In de analogie wordt gesteld dat het lopen door een drukke menigte meer energie kost en het lopen door een rustige straat minder energie. Die kan eveneens misleidend zijn, omdat energie is gerelateerd aan spanning, terwijl spanning als de oorzaak van stroom met deze analogie niet kan worden uitgelegd.

Met betrekking tot de analogie van de springende leerlingen zouden leerlingen ook andersom kunnen redeneren en dat bij minder beweging overeenkomt met minder weerstand en dus met een NTC. Dit is niet het geval. Bij een NTC zijn bij een lagere temperatuur meer elektronen gebonden, waardoor ze moeilijker kunnen bewegen. Er is dan sprake van een oppervlakkige overeenkomst.

Bovendien kan de misvatting ontstaan dat voor alle materialen de weerstand afhankelijk is van de temperatuur. Dit is niet het geval. Constantaan is een voorbeeld van een materiaal dat binnen redelijke grenzen een constante weerstand houdt, ook al neemt de temperatuur toe of af.

### ***Verkeer op een smalle brug - Stroming door buizen***

Deze analogie werkt op zich wel op, maar heeft wel beperkingen. Het is namelijk niet zo dat een steeds smallere brug een grotere weerstand voor het verkeer oplevert. Op een bepaald moment zal de brug een maximale vertraging van het verkeer tot gevolg hebben. Vanaf dat punt leidt het verder versmallen niet tot een grotere vertraging. Echter, als de brug te smal wordt kan er helemaal geen verkeer meer door heen. Er is dus sprake van een oppervlakkige overeenkomst cq. een misleidend aspect.

Ook door de oorzaak van het energieverlies vertoont deze analogie een oppervlakkige overeenkomst met elektrische schakelingen. Bij een elektrische weerstand wordt het spanningsverlies niet veroorzaakt doordat de stroomsnelheid afneemt.

In de analogie met de buizen wordt duidelijk wat de invloed is van de aspecten doorsnede, soortelijke weerstand en lengte van een stroomdraad op de weerstand van die stroomdraad, maar weerstaat ontstaat vooral aan de wand van een buis en dit vertoont dus maar een oppervlakkige overeenkomst met het ontstaan van weerstand in een stroomdraad en is daarom misleidend. Een stroomdraad is niet hol van binnen en weerstand ontstaat daarom niet alleen aan de wanden van de draad.

### **Parallelschakeling**

#### ***Moeilijke en makkelijke weg***

Er zou wel bij verteld moeten worden dat als een aantal mensen voor de makkelijke weg kiezen, het vanzelf weer moeilijker wordt om die weg te nemen. Er ontstaat op die weg meer weerstand. Dit is vergelijkbaar met een verkeersgeleidingssysteem (route-informatie) dat tegenwoordig op rijkswegen te zien is. Daarmee wordt aangegeven hoe groot de verkeersdruk is via route A en via route B. De automobilist heeft dan een keuze. Hij zal kiezen voor de route met de minste verkeersdruk, maar daar zal het dan drukker worden. De route-informatie zal hierop worden aangepast, waardoor volgende automobilisten een andere keuze kunnen maken. Dit is echter misleidend, want bij een stroomkring gebeurt dit niet. Ook al gaat er meer stroom door een deel van de stroomkring, de weerstand van dat deel zal gelijk blijven. Er is alleen meer spanning nodig om die grotere stroom mogelijk te maken. Met de analogie wordt dus ten onrechte de suggestie gewekt dat weerstand afhankelijk is van de stroomsterkte: hoe groter de stroom, hoe groter de weerstand.

#### ***Supermarkt - Lokaal met twee deuren***

De analogieën van de supermarkt en het klaslokaal zijn geschikt om inzicht te geven in één aspect van de parallelschakeling, namelijk dat er bij een parallelschakeling meer paden of ketens zijn waartussen gekozen kan worden. Meer paden betekent een snellere afhandeling en dus een lagere totale weerstand. Mits de analogieën voor dit doel worden gebruikt, zijn de risico's voor misconcepten naar onze mening beperkt.

## **Energieverlies**

### ***Lekkende kraan***

De lekkende kraan maakt heel duidelijk dat er verliezen ontstaan, maar hiermee worden niet elektrische verliezen in de stroomkring beschreven. Hooguit kan hiermee het langzaam leeglopen van een batterij inzichtelijk worden gemaakt.

## **Stroom in de hele stroomkring**

### ***Regenpijp met knikkers***

Het doel van de analogie van de regenpijp/tuinslang met knikker is om duidelijk te maken dat als op één plaats een stroom gaat lopen, dit gelijk voor de hele stroomkring geldt. Voor dit doel werkt de analogie goed, maar in de analogie duwen de knikkers elkaar voort. Dit vertoont slechts een oppervlakkige overeenkomsten met de stroomkring. Het is immers niet zo dat de elektronen elkaar voortduwen.

## **Beweging elektronen**

### ***File***

De file geeft goed het principe van de tegengestelde richtingen van de elektronen en de stroom weer. Toch moet goed worden gerealiseerd dat er feitelijk geen informatie richting de bestuurder gaat. Hij interpreteert slechts de situatie.

### ***Geluidsgolven***

De analogie van de geluidsgolven wordt gebruikt om één specifiek aspect uit te leggen en voldoet in dat opzicht prima. Dat de analogie op andere onderdelen niet helemaal overeenkomt is dan geen belemmering. Een voorbeeld hiervan is het feit dat geluidsgolven veel trager uitbreiden dan de elektrische stroom.

De leerlingen begrijpen deze analogie pas als ze ook fenomeen geluid begrijpen. Er moet dus veel uitgelegd worden om deze analogie te begrijpen, te meer omdat geluid vaak later wordt behandeld dan elektriciteit.

## **Elektrische schakelingen**

In de analogie van de kabouters met de kruiwagen of puntzak wordt niet duidelijk wat een energie afnemend apparaat is, waarom de kabouter daar knikkers achterlaat en hoe de kabouter weet hoeveel knikkers hij moet achterlaten. Ook wordt niet duidelijk wat het vulpunt is en op welke manier daar nieuwe knikkers worden gemaakt. Dit zijn ontbrekende aspecten. De analogie van de fabriek met vrachtwagens die goederen afleveren en de analogie van de bakkerij met bakkersjongens die brood bezorgen zijn varianten die wel invulling geven aan deze ontbrekende aspecten. De vrachtwagens hebben een vrachtbriefje en de bakkersjongens een bezorglijst mee, waarin precies staat welke goederen/broden ze bij welk huis moeten afleveren. Hierdoor is het logisch dat als de vrachtwagens/bakkersjongens terug gaan naar de fabriek of bakkerij alle goederen en broeden zijn afgeleverd. Bij de kabouters wordt ook verteld dat als ze richting het vulpunt gaan het aantal knikkers in de kruiwagens

nul is. Het wordt niet duidelijk waarom dit zo zou moeten zijn. In dit opzicht is in deze analogie sprake van een oppervlakkige overeenkomst.

### ***Lichaam, bloedsomloop***

De bloedsomloop is waarschijnlijk heel herkenbaar voor leerlingen, want ze weten hoe het menselijk lichaam in dit opzicht werkt, welke functies de belangrijkste organen zoals hart en longen hebben en waarvoor de bloedsomloop dient.

De aderen zijn op zich heel geschikt om de stroomkring te beschrijven, maar als op een dieper schaalniveau wordt gekeken wordt zichtbaar dat aderen zich steeds blijven vertakken en daarbij eerst steeds dunner worden (van slagaders naar haarvaten) en later steeds wijder (van haarvaten naar aders). Op het kleinste schaalniveau is er dus geen overeenstemming tussen het basis- en doeldomein. Op dit schaalniveau komt ook de weerstand niet overeen, want het bloed levert dan zuurstof en voedsel aan de cellen waaruit de organen en weefsel zijn opgebouwd. Daarbij komt dat aders meer bloed kunnen bevatten dan slagaders doordat de wand van een ader slapper is en kan uitzetten. Dit kan worden uitgelegd als een verschil in (soortelijke) weerstand, maar dit verschil komt in stroomkringen eigenlijk niet voor en dit is dus een overbodig aspect.

Het is voor te stellen dat het bloed dat door de aderen stroomt weerstand zal onder vinden, maar de oorzaak van deze weerstand is een andere dan de die voor weerstand in stroomdraden. De oorzaak van weerstand in de aderen wordt veroorzaakt door wrijving aan de wand van de ader en de weerstand in een stroomdraad ontstaat doordat bewegende elektronen op elkaar en op andere deeltjes botsen. Dit gebeurt in de hele stroomdraad. In dit opzicht is spraken van een misleidende aspect.

De bloedsomloop bestaat uit twee delen: van het hart af en naar het hart toe. In het eerste deel wordt zuurstof en voedsel naar de organen en weefsels aangevoerd, terwijl in het tweede deel afvalstoffen vanuit de organen en weefsels worden afgevoerd. Deze afvoer komt bij elektriciteit niet voor en is dus een overbodig aspect. Door deze tweedeling is er ook geen volledige overeenkomst met betrekking tot parallelschakelingen. Er lijkt namelijk wel of er sprake is van splitsingen, waarbij het bloed via verschillende paden kan stromen om vervolgens later weer samen te komen. In werkelijkheid heeft het bloed op het moment dat het weer samenkomt alle zuurstof en voedsel al afgestaan.

Een batterij verplaatst intern elektronen van de positieve pool naar de negatieve pool. Doordat veel elektronen dicht op elkaar zitten, krijgen ze veel energie. In de bloedsomloop vervult het hart de functie van pomp. Deze mechanische functie komt nog wel overeen met het verplaatsen van elektronen in de batterij, maar niet met de manier waarop stroom in een stroomkring ontstaat. In de bloedsomloop komt het zuurstof en het voedsel via de longen en de darmen in het bloed. Kortom, er is niet sprake van één plaats waar de spanning wordt gecreëerd, maar dit gebeurt verdeeld over meerdere plekken en bovendien ontstaat spanning volgens een ander principe. *(oppervlakkige overeenkomsten + overbodige aspecten)*

## ***Trillende veertjes***

De kracht van de analogie met de trillende veertjes ligt in de manier waarop de elektronen worden voorgesteld. Omdat deze voorstelling ook overeenkomt met de kwantummechanica, is die voor alle leerjaren tot aan VWO 6 bruikbaar. In deze analogie worden een aantal van de boven beschreven analogieën over deelaspecten toegepast. Omdat al die deelaspecten samen met de trillende veertjes worden gebruikt ontstaat één consistent verhaal.

De elektronen in een stroomkring bewegen van de negatieve uitgang naar de positieve uitgang, terwijl de stroom juist de tegenovergestelde richting heeft. Dit ontbrekende aspect komt in geen van de bovengenoemde analogieën aan de orde, maar komt in deze analogie duidelijker naar voren, omdat meer omdat de nadruk ligt op de elektronen als de dragers van energie.

## ***Centrale verwarming***

In de analogie van de centrale verwarming komt temperatuur overeen met spanning; een hogere temperatuur betekent een hogere spanning. In een stroomkring is het spanningsverschil der oorzaak van het ontstaan van een stroom. Hoe groot die stroom is wordt bepaald door het spanningsverschil en de weerstand in de kring. Dit is in een CV-installatie anders, want de snelheid van het water door de radiatoren is niet afhankelijk van het temperatuurverschil, maar wordt bepaald door de pomp. Er is in dit opzicht sprake van een oppervlakkige overeenkomst die vergelijkbaar is met de analogie van de bloedsomloop.

Als in een keten meerdere radiatoren achter elkaar zijn geplaatst (serieschakeling), zal er bij de eerste radiator meer warmte worden afgegeven dan bij de laatste, ook al zijn de beide radiatoren even groot. Het verschil tussen het water en de omgevingstemperatuur is bij de eerste radiator immers het grootst. Dit zou suggereren dat er over de eerste weerstand in de serieschakeling meer energie wordt verloren en dus dat er een grotere spanning over deze weerstand staat dan over de volgende weerstand(en). Dit overbodige aspect kan zeer misleidend zijn.

Als in een stroomkring twee of meer ketens parallel worden geschakeld, is de spanning voor een splitsing en is het spanningsverschil over alle parallel geschakelde ketens gelijk. In een verwarmingsinstallatie vindt iets vergelijkbaars plaats, maar de overeenkomst is oppervlakkig omdat de onderliggende oorzaak anders is. Als het water via twee of meer vertakkingen op hetzelfde punt komt, krijgt al het water uiteindelijk wel dezelfde temperatuur, maar dit gebeurt door menging. De twee of meer samenkomende waterstromen afzonderlijk hoeven niet dezelfde temperatuur te hebben. Omdat het water voor het splitsen dezelfde temperatuur had, wordt de temperatuur bij het samen komen namelijk bepaald door de hoeveelheid warmte die onderweg is afgestaan en dat kan per keten verschillen.

Om de analogie goed te begrijpen, moeten leerlingen weten dat warmte energie is. Dit zal voor leerlingen in de bovenbouw bekend zijn, maar voor leerlingen in de onderbouw niet. Dan zal dit eerst moeten worden uitgelegd. De vraag bij deze analogie is dan ook of hij bij de belevingswereld van de leerlingen aansluit. Het is



goed mogelijk dat zij bekend zijn met radiatoren, maar niet weten hoe het systeem als geheel werkt.

### **Water(val)**

In de analogie van de waterval is geen sprake van een kring, want als het water eenmaal beneden is, komt het niet meer boven. Dit is een belangrijk ontbrekend aspect. Al het water dat naar beneden stroomt wordt aangevoerd, maar niet duidelijk is waar vandaan. Het stuwmeer kan hier wel een oplossing bieden. Bij gebruik loopt het stuwmeer leeg net zoals een batterij leeg loopt. Het vullen van het stuwmeer kan dan op dezelfde manier worden opgevat als het opladen van een batterij.

Waterdruppels die tijdens de val verdampen kunnen als verliezen worden opgevat. Maar als deze vergelijking op een kleiner schaalniveau wordt bekeken, zou dit betekenen dat verliezen in een elektrische schakeling ontstaan doordat elektronen uit de stroomkring verdwijnen. Dit is een foutieve voorstelling van zaken (oppervlakkige overeenkomst). Verliezen in een stroomkring ontstaan doordat elektrische energie wordt omgezet in warmte. In de stroomkring kunnen worden duidelijk gemaakt.

### **Samenvattend overzicht**

In tabel 4 zijn de resultaten van de analyse samengevat weergegeven. Hieruit blijkt dat bijna alle oorzaken die kunnen bijdragen aan het ontstaan van misconcepten, zoals opgenomen in de aangepaste Spiro-lijst voorkomen. Alleen verkeerd taalgebruik komt niet voor. Dit laatste is niet heel erg verrassend. Verkeerd taalgebruik is van alle oorzaken waarschijnlijk een makkelijkst te voorkomen. Veel van de genoemde analogieën zijn inmiddels bekend vanuit de literatuur en zijn dus al langere tijd in brede kring bekend. Indien er aanvankelijk nog sprake geweest zou zijn van evident fout taalgebruik, dan is dat inmiddels gecorrigeerd. Dit is echter geen garantie dat verkeerd taalgebruik volledig wordt voorkomen, maar het is zeer waarschijnlijk dat docenten zich hier dan niet van bewust zijn. Zij zullen het zelf niet signaleren.

Verder blijkt dat er met name risico's ontstaan door misleidende aspecten en oppervlakkige overeenkomsten. Deze oorzaken liggen dicht bij elkaar. Immers, indien er op het eerste gezicht sprake is van een overeenkomst tussen basis- en doeldomein, terwijl de onderliggend causale verbanden anders zijn, is de kans op misleiding eveneens groot. Op deze manier beschouwd is bij de eerste categorie sprake van misleiding die direct aan het oppervlak zichtbaar is, terwijl de laatste categorie dieper ligt. Daarom is het toch zinvol om het onderscheid in beide categorieën te blijven maken.

Wat wellicht belangrijker is om te constateren is dat in onze analyse niet is gebleken dat er andere potentiële oorzaken voor het ontstaan van misconcepten bestaan dan in de lijst is opgenomen. Daarmee is een belangrijk instrument beschikbaar om analogieën te beoordelen.

**Tabel 4: Mogelijke oorzaken van misvattingen bij de geïnventariseerde analogieën**

Analogieën	Misleidende aspecten	Ontbrekende aspecten	Overbodige aspecten	Oppervlakkige overeenkomsten	Verkeerd schaalniveau	Taalgebruik
Spons		X		X	X	
Drukke straat	X	X				
Springende leerlingen	X			X		
Verkeer op een smalle brug	X			X		
Buizen	X			X		
Moeilijke/makkelijke weg	X					
Supermarkt						
Klaslokaal met twee deuren						
Lekkende kraan	X					
Regenpijp/Tuinslang met knikkers/Fietsketting/Roltrap/Fietswiel	X			X		
File	X					
Geluidsgolven						
Kruiwagen met knikkers		X		X		
Fabriek/Bakkerij						
Bloedsomloop	X	X	X	X	X	
Trillende veertjes		X				
Centrale verwarming	X		X	X		
Water(val)/Stortbak		X		X	X	

## HET WAAROM VAN ANALOGIEËN

---

Docenten gebruiken slechts enkele analogieën. In tabel 5 op de volgende pagina is hiervan een overzicht gegeven. Daaruit blijkt dat alle docenten analogieën toepassen, maar de één maakt er intensiever gebruik van dan de ander. Het is belangrijk om de overwegingen van de docenten te weten om überhaupt analogieën te gebruiken en meer specifiek de redenen waarom ze de ene wel en de ander niet toepassen. Daarover gaat dit hoofdstuk. In de eerste paragraaf wordt hier in algemene zin ingegaan en in de volgende paragraaf wordt ingezoomd op de afzonderlijke analogieën.

### OVERWEGINGEN OM ANALOGIEËN TOE TE PASSEN

---

In de interviews is gevraagd wat de overwegingen zijn om analogieën te gebruiken. Docent B is niet heilig overtuigd van het voordeel van analogieën. Hij gebruikt ze liever alleen als er geen mogelijkheden zijn om iets concreets te laten zien door middel van bijvoorbeeld een demonstratiepracticum. Hij zegt: *“als je iets echt zichtbaar kunt maken met een practicum, dan verdient dat mijn voorkeur. Liever een demonstratiepracticum dan eeehhh... dus het moet iets zijn wat moeilijk te demonstreren is, iets was moeilijk zichtbaar te maken is.”*

Toch gebruikt docent B analogieën zeer veel, zo zegt hij: *“Ik gebruik ze eigenlijk wel doorlopend”*.

Hij geeft ook goede redenen waarom hij ze gebruikt

1. *om het beeldend te maken om leerlingen visueel iets voor te toveren wat overeenkomt met wat er gebeurt in een<< draad [?]>>*
2. *Ja die zou ik zeker gebruiken ja, want dat is wel een lastig concept bij de leerlingen.*

Docent A en Docent C gebruiken het instrument om de natuurkunde tastbaar en herkenbaar te maken, zodat leerlingen zich iets erbij kunnen voorstellen. Om die reden verlaat docent A makkelijk de ene analogie voor een andere als blijkt dat de eerste analogie niet werkt voor leerlingen. Docent C voegt hieraan toe dat als leerlingen zich niets kunnen voorstellen, dat “het dan pas erg wordt”. Docent G zegt hierover dat leerlingen soms prima de formules kunnen gebruiken en toch het idee hebben dat ze niets van natuurkunde snappen, omdat ze zich er geen voorstelling van kunnen maken. Docent D gebruikt net als docent A de analogie voornamelijk om de stof te laten hangen. De analogie staat toe om te stof concreet te introduceren alvorens het abstract te behandelen. Dit komt naar voren in het interview in de volgende twee fragmenten: Docent A: *“..... steeds maar de analogieën te gebruiken. Dat is wel leuk in het begin om ze te laten wennen en oefenen. Dat ze een beetje snappen ‘wat is het’ maar daarna vind ik ook dat ze moeten omschakelen”* terwijl docent D zegt: *“Dat het verhaal tot op zekere hoogte klopt, als we dan ook echt verder gaan en als ze een beetje snappen wat spanning en stroomsterkte is, dat ze dan de analogie achter zich moeten laten”*

Wat verder opvalt is dat docent A die het minst bewust omgaat met de analogieën het meeste merkt dat leerlingen ook in verwarring raken door de analogie.

Docent B geeft aan dat voor hem het allerbelangrijkste criterium is dat de analogie wel moet kloppen, hij mag niet op een belangrijk aspect significant afwijken van wat er in het target domein gebeurt. Pas daarna geeft hij aan dat het ook belangrijk is dat de kinderen de analogie kunnen herkennen, dat hij voor de leerlingen begrijpelijk en herkenbaar is. Hij geeft daarnaast heel expliciet aan dat als hij iets gewoon kan demonstreren, de concrete natuurkunde praktisch, dat dan zijn voorkeur verkiest.

Docent E gebruikt analogieën omdat het effectief blijkt. De leerlingen zijn beelddenkers en kunnen er zich een betere voorstelling van maken. Ook kunnen ze er beter door rekenen.

Docent F kiest ervoor om in principe geen analogieën te gebruiken, vanwege onbekendheid met analogieën en korte werkzaamheid in het vakgebied. Docent F onderwijst de natuurkundige fenomenen aan de hand van natuurkundige begrippen. De enige analogie die Docent F kiest is omdat de leerlingen zich niets bij weerstand kunnen voorstellen. Hierin is de afweging gelijk aan de andere docenten. In de scheikunde gebruikt Docent F wel veel analogieën.

Docent G kiest voor analogieën omdat hij er zelf de voorkeur aangeeft. Hij vindt het zelf fijn om het maar ergens over te hebben. Het is voor hem heel vervelend om te zeggen "stroom is I en het aantal ampère is elektronen per seconde". Het heeft ervaren dat het te droog is voor hem toen hij een keer zonder analogieën besloot les te geven. Voor Docent G is de natuurkunde (en wiskunde) een grote analogie, waarbij vroeger verhalen werden gebruikt en nu veel meer met beelden wordt gewerkt. Wel merkt hij dat hij moet oppassen dat hij zich niet teveel laat leiden door wat hij leuk vindt en niet naar de leerlingen te kijken: "*Maar meestal raak ik ze dan kwijt, terwijl ik het een leuke parallel vond en was dan de enige die ervan stond te genieten*". Ook geeft hij aan dat het een gevaar is dat de focus teveel verschuift naar de analogie en weg van de elektrische schakelingen: "*Want dan zegt iemand ik snap dit niet in de analogie en dan ga je alles over die autootjes zitten uitleggen terwijl dat niet het doel is.*"

**Tabel 5: Overzicht van de toegepaste analogieën per docent**

Analogieën	Docent A	Docent B	Docent C	Docent D	Docent E	Docent F	Docent G
Spons		X					
Drukke straat						X	
Springende leerlingen							
Verkeer op een smalle brug							X
Buizen					X		
Moeilijke/makkelijke weg						X	
Supermarkt							
Klaslokaal met twee deuren		X					
Lekkende kraan				X			
Regenpijp/Tuinslang met knikkers/Fietsketting/Roltrap/Fietswiel			X				X
File							
Geluidsgolven							
Kruiwagen met knikkers					X		X
Fabriek/Bakkerij	X			X			X
Bloedsomloop							
Trillende veertjes			X				
Centrale verwarming							
Water(val)/Stortbak	X	X			X		X

Het is belangrijk om redenen van de docenten te weten. De geïnterviewde docenten geven duidelijk aan welke analogieën ze gebruiken binnen elektrische schakelingen en ook waarom.

Docent A gebruikt analogieën alleen als hij elektriciteit introduceert, hij gebruikt de analogie voor de beeldvorming van de leerling, hij kiest voor de analogie van het water omdat: *“Dat dat bij alle niveaus eigenlijk wel landt. en natuurlijk soms heb je ook analogieën die bij de ene klas beter werken dan bij de andere, ik denk toch dat dit er zo’n eentje is die bij allemaal wel vatbaar is omdat ze er ook allemaal wel eens mee te maken hebben gehad.”* en *“Dan pas je het wel eens aan ook op het soort niveau wat je voor je hebt zitten omdat voor een havo/vwo leerling eigenlijk al op een abstract niveau misschien logisch is zie je een mavo leerling soms toch niet gelijk evident. Dat is een beetje zoeken altijd hoor soms, ik kan dat niet echt altijd gelijk oplossen, maar dat merk je altijd wel aan de interactie met de groep.”*

Docent B gebruikt bewust één analogie om elektriciteit uit te leggen. Hij hangt nieuwe aspecten van elektriciteit dan ook op aan deze analogie: *“omdat die van water, die vind ik vrij helder.. vrij eenduidig, dus ik wil er liever geen tweede naast”*. Docent B geeft ook aan dat de analogie voor de meeste leerlingen toch een kapstok is waar ze de nieuwe kennis aan kunnen ophangen.

Docent C maakt een keuze op inhoudelijke gronden. Hij heeft in het verleden meerdere analogieën gebruikt. Dat waren vooral analogieën die bekend zijn vanuit de literatuur en die door veel docenten worden gebruikt. Inmiddels gebruikt hij een analogie van de trillende veren. Dit is een analogie die hij zelf heeft bedacht. De reden voor deze keuze is tweeledig. Ten eerste was hij niet tevreden over de analogieën die hij tot dat moment gebruikte, omdat die niet het onderwerp volledig dekten, maar slechts een deel daarvan. Ten tweede zocht hij naar een analogie die hij gedurende de hele schooltijd, van de onderbouw tot aan 6 VWO, kan gebruiken. De trillende veren zijn zelfs toepasbaar als kwantummechanica wordt uitgelegd. Hij gaat dus zeer bewust met het instrument om.

Docent D heeft ook goed over nagedacht welke analogie hij gebruikt. Het is een zelfbedachte variant op de reeks analogieën die allemaal uitgaan van pakketjes die worden rondgebracht. Het is voor hem ook belangrijk dat hij humor in de analogie kwijt kan. Hij is zich er van bewust dat deze analogie op een gegeven moment mank gaat. Opvallend verschil is dat hij de analogie vooral in de onderbouw gebruikt. Dit is een klein beetje afhankelijk van de manier waarop het onderwerp in de onderbouw is behandeld. Als dat goed is gedaan, komt er in de bovenbouw niet veel nieuwe theorie bij. Bovendien zitten in de bovenbouw leerlingen die zelf gekozen hebben voor een profiel met natuurkunde. Hij gaat er dan van uit dat de zwakkere leerlingen inmiddels niet meer in de klas zitten. De leerlingen die het vak nog wel volgen zouden dan een abstractere behandeling moeten kunnen begrijpen.

Bij Docent E staat het vast dat hij of zijn collega's in de onderbouw de centrale verwarming analogie gebruiken. Hierover zegt hij: *“In de onderbouw hebben ze het water verhaal al gekregen met de radiatoren en de buizen. Waarmee je serie en parallel kunt uitleggen. Dus dat is de basis die ze in de bovenbouw gaan gebruiken”*. In de bovenbouw wordt de analogie met kabouters en kruiwagens gebruikt. Beide hebben hun waarde bewezen en dus blijft hij deze gebruiken. Het is voor hem een oplossingsstrategie, waarbij de analogie steeds terugkomt in de lessen. Als kinderen

iets fout doen roept hij de analogie er weer bij: *“Als je dan kan duidelijk maken met die rugzakjes of karretjes dat dat dus de verkeerde opmerking is, die soms tot volstrekt de verkeerde ideeën leiden, dan heb je een hoop gewonnen”* Soms gebruikt hij een andere analogie als de kruiwagen niet duidelijk is, maar dan alleen voor die specifieke leerlingen zodat de andere leerlingen niet in de war raken.

Docent F gebruikt alleen een analogie voor weerstand omdat de leerlingen hiervoor een beeld nodig lijken te hebben. Andere analogieën gebruikt docent F niet omdat ze pas kort lesgeeft in natuurkunde.

Docent G heeft zijn voorkeursanalogie van de fabriek met auto's die spullen rondbrengen. Hij bedenkt echter niet van te voren welke analogie hij gaat gebruiken. Hij begint en als hij merkt dat iets niet loopt en dan pakt hij de voor hem op dat moment logische analogie die hij paraat heeft. En dan kan het voorkomen dat hij achteraf denkt, “o nee ik had eigenlijk een andere analogie beter kunnen pakken want de volgende les wil ik dat doen”. Sommige gebruikt hij alleen als er naar gevraagd wordt. Als de vraag niet leeft, dan zet hij niet iets extra's in wat niet tot meerwaarde leidt. Hij pakt dus wat op dat moment te binnenschiet en bij drie parallel klassen kan het dan gebeuren dat hij op drie verschillende analogieën uitkomt.

---

## OMGAAN MET RISICO'S EN PROBLEMEN BIJ ANALOGIEËN

---

Bij de analyse van de geïnterviewde analogieën blijkt dat vrijwel alle analogieën potentiële oorzaken van misconcepten bevatten. Slechts in een beperkt aantal gevallen is dat risico niet evident aanwezig, maar dit betreft dan uitsluitend analogieën die slechts een beperkt stukje van het vakgebied elektriciteit beschrijven. De overige onderwerpen worden niet omvat. Er wordt wel gesteld dat een analogie gaat per definitie mank gaat. Maar er kan nog een ander probleem ontstaan. Leerlingen hoeven de analogie niet te doorgronden of interpreteren hem anders dan de docent beoogd. Dit hoofdstuk handelt over de vraag hoe docenten met dergelijke risico's en problemen omgaan.

---

### WAT TE DOEN ALS EEN ANALOGIE VAST LOOPT

---

In de interviews is aandacht besteed aan hoe een docent omgaat met analogieën die vast lopen.

Docent A daarentegen gebruikt eerder een nieuwe analogie of een ander voorbeeld dan dat hij tijd gebruikt om de tekortkomingen van de analogie te bespreken, als hij ziet dat leerlingen vastlopen op een aspect van een analogie. Dit zal ook te maken hebben met het feit dat hij veel minder lang doorgaat met het gebruik van zo'n analogie en dat hij er meer belang aan hecht dat leerlingen de problemen uiteindelijk kunnen bespreken met gebruik van de natuurkunde begrippen. Wel ziet hij soms dat leerlingen vastlopen in een analogie omdat zij bepaalde aspecten van de analogie zelf anders interpreteren dan dat hij het bedoeld had. Hoe hij daarmee omgaat wisselt van geval tot geval.

Docent B geeft aan dat hij het expliciet aangeeft wanneer ze bij dat deel van de stof zijn aangekomen waarvoor de analogie niet meer opgaat. Vroeger heeft hij wel geëxperimenteerd met gelijk bij het introduceren van een analogie uit te leggen waar zo'n analogie niet helemaal klopt, maar hij merkte dat leerlingen zich dan heel erg vastbijten net in dat ene aspect dat niet helemaal klopt, ze raakten dan daarop gefixeerd en dat maakte het leren eerder lastiger dan makkelijker om een onderwerp te leren. Tegenwoordig kiest hij er dus voor de analogie te gebruiken totdat ze bij dat deel van de stof aankomen waar hij moet worden verlaten, en dat doet hij dan ook expliciet met de kinderen.

Docent C gebruikte vroeger ook de wateranalogie, maar ontdekte dat die door de leerlingen niet goed werd opgepakt. Ze hebben waarschijnlijk te weinig watervallen gezien om zich er een goede voorstelling van te kunnen maken. Zoals boven al aangegeven is juist het maken van een voorstelling de belangrijkste reden voor hem om het instrument te gebruiken. Hij is niet gaan proberen om de analogie aan te passen, zodat de zwakkere onderdelen wordt gecorrigeerd, en heeft ook geen andere analogie gezocht om het manco te verhelpen. Hij is bewust een andere analogie gaan gebruiken, die naar zijn mening beter werkt. Hij stelt wel dat als hij de meest optimale analogie niet zou kunnen gebruiken, hij een mindere analogie zou toepassen. Als een analogie op een onderdeel niet werkt, zal hij indien mogelijk wel een andere gebruiken om het specifieke onderdeel uit te leggen, maar hij zal zo veel als mogelijk vast houden aan zijn hoofd-analogie.

Docent D gaat op een geheel andere manier om met de grenzen van de analogie die hij toepast. Hij vertelt voorafgaand aan het verhaal duidelijk dat hij een analogie gaat  
Dijkstra, Sturuss, Oostra



gebruiken, maar dat die zo zijn beperkingen heeft. Hij probeert tijdens het verhaal duidelijk te stellen dat het de analogie en de theorie waarvoor die bedoeld is niet hetzelfde zijn. Dat het verhaal tot op zekere hoogte klopt, maar als de leerlingen het een beetje snappen, dat ze dan de analogie achter zich moeten laten.

Docent E is heel expliciet en veelvuldig in het aangeven van het spaaklopen van de analogie. Hij presenteert het als een truc, een ezelsbruggetje. Hij verwelkomt vragen over het spaaklopen en laat leerlingen er ook bewust naar kijken, als er vragen zijn vanuit de leerlingen. Hij past ervoor op dat leerlingen de analogie gaan geloven. Voor Docent G hangt het van de situatie af of hij aangeeft of de analogie stopt. Hij stopt vaak tijdig met de analogie om te voorkomen dat het spaak loopt. Hij wil dan voorkomen dat leerlingen zich vastbijten in een (irrelevant) aspect van de analogie en zich niet meer met de natuurkunde bezighouden.

---

#### GEBRUIK VAN MEERDERE ANALOGIEËN TEGELIJK OF NA ELKAAR

---

Onze verwachting is dat het gebruik van meerdere analogieën naast / na elkaar kan voorkomen dat er misconcepten ontstaan door het gebruik van een enkele analogie. Hier is dan ook aandacht aan besteed in de interviews.

Docent A gebruikt meerdere (soms verwante) analogieën naast elkaar. Dit is echter gebaseerd op het willen helpen van leerlingen waarvan hij merkt dat ze nog niet alles beheersen en niet omdat hij bewust meerdere analogieën tegelijk introduceert die complementair zijn.

Docent B kiest er juist heel duidelijk voor om niet met meer dan één analogie tegelijk te werken omdat hij er belang aan hecht dat zijn verhaal eenduidig en duidelijk is voor de leerlingen. Hij heeft in principe meerdere analogieën die hij zou kunnen gebruiken, maar hij geeft aan: *“Dus ik probeer het aantal analogieën en ook voorbeelden om die redenen te beperken voor de duidelijkheid”*. Docent E handelt hierin vergelijkbaar; hij biedt alleen een andere analogie aan de leerlingen aan die zijn vaste analogie niet snappen, zodat de rest niet verward wordt.

Docent B en Docent E gebruiken beide een analogie waar ze steeds op terug grijpen in de les. Het voordeel voor de leerlingen is dat ze deze specifieke analogie beter doorgronden dan verschillende analogieën naast elkaar. Leerlingen grijpen ook terug op de termen en begrippen uit de analogie om iets te verduidelijken. Docent A merkt dit bijvoorbeeld niet.

Docent C gebruikt in hoofdzaak één analogie, waarmee hij het onderwerp vrijwel volledig kan uitleggen. Ook hij grijpt hier later op terug, tot aan VWO 6. Voor een onderdeel dat hij niet kan uitleggen gebruikt hij een andere analogie. Docent D werkt feitelijk op dezelfde manier. Als een onderdeel niet direct met de analogie kan worden uitgelegd, gaat hij in eerste instantie op zoek naar een manier om het onderdeel toch te kunnen inpassen. Als dat niet lukt, gebruikt hij eventueel een andere analogie om dat onderdeel te behandelen.

Docent G gebruikt veel analogieën naast elkaar en na elkaar. Daar waar er een analogie niet past, voor een specifieke situatie of naar aanleiding van een leerling vraag gebruikt docent G een andere analogie. Op deze manier ontstaat een lappendeken van analogieën.

In de interviews is ook aan de docenten gevraagd of en welke problemen ze ervaren met analogieën in de klas. Docent A merkt heel duidelijk op dat sommige problemen van leerlingen komen omdat ze de analogie zelf ook nog niet helemaal goed begrijpen. Bijvoorbeeld, lang niet alle leerlingen in de tweede en derde klas zijn zich bewust van hoe water zich in een rivier nu precies gedraagt. Daarnaast merkt hij ook dat sommige leerlingen zijn analogieën heel anders interpreteren dan dat hij ze in eerste instantie bedoeld had. Bij problemen richt docent B zich daarentegen voornamelijk op het feit dat op een gegeven moment analogieën tekort komen om nog weer nieuwe dingen uit te leggen. Docent B maakt hierbij wel het voorbehoud dat om echt iets te kunnen zeggen over de werkzaamheid van analogieën je het eigenlijk ook een keer helemaal zonder analogieën zou moeten uitleggen.

Docent C en Docent D zijn er van overtuigd dat de analogieën die ze gebruiken aanslaan bij de leerlingen, dat ze de analogie begrijpen en er zich iets bij kunnen voorstellen en dat ze daardoor de achterliggende theorie begrijpen. Juist dat begrip van de analogie is een belangrijke reden bij de keuze. Zij ervaren geen problemen. Ook Docent E geeft aan dat leerlingen beter begrip hebben door de analogie. Hij ziet dan ook geen problemen noch eventuele misconcepten.

Docent F geeft voornamelijk zonder analogieën les en merkt dat dit prima gaat. Alleen voor weerstand hebben de leerlingen een andere voorstelling nodig en grijpt Docent F naar een analogie. Docent G heeft ooit geprobeerd om zonder analogie les te geven. Hij heeft ervaren dat dit ook goed ging.

ren

Zowel docent E als G merken dat als de analogie niet aansluit bij de belevingswereld van de leerlingen, de analogie ook niet werkt.

Docent G is van mening dat het prima is als leerlingen nog lang de analogie geloven en pas later het kwartje valt of dat ze hun hele leven in “kruiwagens denken”, zolang ze het principe maar snappen en op de juiste antwoorden uitkomen.

Al deze inschattingen geven een redelijk gevarieerd beeld, waarbij wel moet worden opgemerkt dat dit allemaal slechts de mening is van de docenten zoals die naar voren kwam in het interview. We kunnen op dit moment moeilijk inschatten of problemen die de ene docent opmerkt echt niet spelen in een andere klas, of dat ze door bijvoorbeeld een andere focus van een docent niet opgemerkt worden. De docenten zijn bijna allemaal ervaren docenten, maar geven geen hard bewijs om hun gevoel mee te staven.

In ons onderzoek besteden we niet specifiek aandacht aan het feit of docenten onderling overleggen over analogieën en het (bewust) gebruik ervan binnen het curriculum. Toch is het een interessant aspect dat in de interviews naar boven kwam.

Docent B geeft aan dat de docenten op zich wel overleggen over wat ze in de les bespreken met de leerlingen en dat ze het wel hebben over wat er werkt en niet werkt, maar de docenten zijn in principe autonoom in wat ze bespreken in de klas. Er wordt geen gebruik gemaakt van specifiek op elkaar afgestemde analogieën tussen bijvoorbeeld docenten onderbouw en bovenbouw.

Er is niet specifiek gesproken over het afstemmen van de analogieën die Docent C en Docent D gebruiken met collega's. Het is duidelijk dat Docent C een analogie gebruikt die hij voor alle leerjaren kan gebruiken, en deze sluit aan bij de belevingswereld van alle leerlingen. Hij heeft dit echter niet met collega's besproken. Ook Docent D stemt niet nadrukkelijk af met collega's. Hij gebruikt de analogie in de onderbouw en gaat er van uit dat als de stof dan eenmaal begrepen wordt, er verder geen analogieën meer nodig zijn.

Docent E kent de analogie die standaard in de onderbouw wordt gebruikt op zijn school. De keuze voor die analogie is bewust omdat hij geschikt is voor de conceptuele benadering in de onderbouw. Docent E gebruikt altijd zijn vaste analogie. Volgens hem sluiten ze goed aan op elkaar. Docent F en G hebben geen idee welke analogieën door hun collega's gebruikt worden.

Wat hier opvalt is dat die docent (docent E) die aangeeft dat zijn collega's en hij structureel afstemmen hoe ze de analogieën gebruiken, ook aangeeft dat elektrische schakelingen bij hen op school een bekend hoofdstuk is voor leerlingen, waarop goed gescoord wordt. Dit in tegenstelling tot onze eigen ervaring en de ervaring van sommige andere leerlingen. Dit zou kunnen betekenen dat het structureel en gepland gebruiken van deze analogieën tot grote winst in de leeropbrengst van kinderen zou kunnen leiden.

Dit onderzoek had tot doel om te kijken met welke aspecten van analogieën rekening gehouden moet worden in het onderwijzen over elektrische schakelingen. Het is een verkennend onderzoek geweest en hieronder volgen een aantal kanttekeningen / discussie punten met betrekking tot het onderzoek en de resultaten.

### *Subvraag 1: Welke analogieën zijn bekend:*

De geïnterviewde docenten hebben een gevarieerde achtergrond wat betreft aantal jaren ervaring, scholen waarop ze werken en leerniveaus van onderwijzen. Daarnaast is er een grote verscheidenheid aan analogieën, afwegingen en ervaringen naar voren gekomen. Bovendien blijkt dat in de literatuur niet veel andere analogieën worden gevonden dan die door de geïnterviewde docenten worden gebruikt. De steekproef voor dit verkennend onderzoek lijkt daarom representatief met betrekking tot welke analogieën binnen natuurkunde gebruikt worden.

Het protocol voldeed voor het verkennend onderzoek om inzicht te krijgen in gebruikte analogieën en de afwegingen van de docenten. Analyse van de interviews laat zien dat er op een aantal punten niet altijd doorgevraagd is, waar dit wel had gekund. Een volgende keer kan hier beter opgelet worden en kunnen vragen aangescherpt worden omdat kennis van dit onderzoek meegenomen kan worden.

### *Subvraag 2: Welke risico's zijn verbonden aan de geïnventariseerde analogieën:*

We hadden voor dit onderzoek, het artikel van Spiro gelezen over aspecten waarop een analogie mank kan gaan. Dit artikel voorzag ons in een instrument waarmee we de verschillende aspecten zoals die gebruikt worden voor elektrische schakelingen konden evalueren.

Het instrument dat Spiro omschreef in zijn artikel bleek ook voor natuurkunde analogieën zeer goed te gebruiken. We hebben dus de classificatie van probleemaspecten zoals Spiro die heeft gedefinieerde, met wat kleine modificaties kunnen overnemen voor ons onderzoek, allen het aspect van misleidend taalgebruik bleek binnen ons onderzoek niet bruikbaar.

Het taalaspect was niet te gebruiken, omdat puur theoretisch kijken naar de analogie en taalgebruik niet mogelijk was. Om te kijken of een analogie leidt tot misleiden taalgebruik zullen we meer moeten doen dan alleen maar docenten interviewen, we zullen dan ook lesbezoek bij deze docenten moeten gaan.

### *Subvraag 3: Wat zijn de overwegingen om analogieën te gebruiken:*

De steekproef van zeven docenten is minder representatief wat betreft de afwegingen die docenten maken, omdat er weinig inzicht is verkregen in waarom docenten geen analogieën gebruiken en ook niet in welk percentage analogieën gebruikt worden ten opzichte van niet gebruiken.

Er komen toch duidelijk een aantal redenen naar voren onder andere over leerlingen die zich een voorstelling moeten kunnen maken. We hebben toch ook

geconcludeerd dat alle docenten gebruik maken van analogieën. Alleen docent F doet dat minder, maar dat heeft met ervaring te maken.

*Subvraag 4: Hoe wordt omgegaan met risico's en problemen van analogieën:*

Het protocol bevatte vragen over misconcepten en het ontstaan ervan. Dit kwam in de interviews niet duidelijk naar voren. Enerzijds omdat docenten hier niet op blijken te letten / testen / het voor lief nemen, en anderzijds omdat het lastig is om te testen bij de leerlingen of de misconcepten daadwerkelijk ontstaan door de scheefgaande analogieën. Dit is geen onderdeel geweest van ons onderzoek

Docenten die een analogie regelmatig gebruiken zij er van overtuigd dat de analogie aansluit bij de belevingswereld van de leerlingen dat zij de analogie begrijpen en daardoor ook de stof beter begrijpen. Daarmee zouden misconcepten worden voorkomen. Het wordt echter niet duidelijk waar deze conclusies op zijn gebaseerd. Hier lijkt meer het gevoel van de docent te spreken.

De indeling van Spiro, genoemd bij subvraag 2, kan ook als hulpmiddel gebruikt worden door docenten bij hun afweging en reflectie op gebruik van een analogie in het onderwijs. Dit is naar onze mening niet beperkt elektriciteit, maar is ook buiten dit onderwerp toepasbaar. Andere indelingen zijn niet geanalyseerd. De lijst van Simanek zou een goede optie zijn. Deze lijst kijkt naar bredere aspecten en is niet zo diepgaand als Spiro. Een aantal criteria die genoemd in de lijst van Simanek worden door docenten aangegeven als belangrijke voorwaarden of redenen om analogieën te gebruiken.

Ten aanzien van de lijst van Simanek zouden wij wel verwachtingen kunnen uitspreken en op basis daarvan aanbevelingen doen voor verder onderzoek. Er is bijvoorbeeld een mooie link te leggen met de belevingswereld van de leerlingen.

De conclusies worden besproken aan de hand van de subvragen van dit onderzoek.

Subvraag 1: Welke analogieën zijn bekend vanuit de literatuur en welke worden door docenten in de natuurkundelessen gebruikt om de theorie achter elektrische schakelingen en stroomkringen duidelijk te maken:

Gebaseerd op de diepte interviews, blijkt een groot aantal analogieën binnen het onderwerp elektriciteit gebruikt te worden in de klassen. Binnen elektriciteit gebruiken alle geïnterviewde docenten analogieën. Hierbij is het zo dat alle geïnterviewde docenten een andere analogie(ën) gebruikt. Het spectrum loopt van een enkele analogie gebruiken, tot het gebruik van vele analogieën naast en na elkaar. De afweging welke te gebruiken is voor elke docent op andere gronden is. Alle docenten beginnen met analogieën in de onderbouw. Niet alle docenten gebruiken analogieën in de bovenbouw. Voor één docent is de natuurkunde een grote analogie. Dat is op zich wel zo, maar daar kan je als docent niet veel mee. Het komt er dus eigenlijk op neer dat we analogieën gebruiken om een analogie uit te leggen

Subvraag 2: Welke risico's zijn verbonden aan de geïnventariseerde analogieën:

Uit de literatuur blijkt dat analogieën op verschillende manieren tot misconcepten kunnen leiden. Spiro is het meest uitgebreid en consistent in zijn indeling van oorzaken. De 'Spiro' lijst bleek na kleine aanpassing bruikbaar en compleet met betrekking tot analyse van analogieën binnen elektriciteit. De analyse laat duidelijk zien waar en hoe analogieën mank gaan ten opzichte van de natuurkunde. Deze informatie is direct bruikbaar voor natuurkunde docenten. Daarnaast blijft de randvoorwaarde dat analogie juist gebracht wordt.

Subvraag 3: Wat zijn de overwegingen om analogieën te gebruiken:

*a. Wat zijn de overwegingen van de docenten om analogieën in het algemeen te gebruiken.*

Uit de interviews blijkt dat alle docenten analogieën gebruiken, de een meer dan de ander. De achterliggende redenen om analogieën te gebruiken verschilt per docent, waarbij ze allemaal hebben nagedacht over het nut en de toepasbaarheid van analogieën. Voor alle docenten zijn analogieën een middel om de leerlingen zich iets bij de natuurkunde fenomenen voor te laten stellen. Al is het zo dat een aantal de voorkeur geeft aan demonstratie, pas als deze niet voldoet, gebruiken ze analogieën.

Subvraag 3: Wat zijn de overwegingen om analogieën te gebruiken:

*b. Op grond van welke specifieke argumenten wordt gekozen voor de toegepaste analogieën.*

Wat opvalt is dat de afwegingen van de docenten gebaseerd zijn op de ervaring en voorkeur van de docent. Het gebruik van een specifieke analogie ligt vaak al vast en is alleen soms ad-hoc gebaseerd op een vraag van de leerlingen die op dat moment in de klas zitten. Daarnaast gebruikt de ene docent zijn (enige) analogie gestructureerd en komt er vaak op terug. De andere docent is meer oppervlakkig in het gebruik van de (meerdere) analogie(en). De docenten die

analogie gestructureerd gebruiken, zijn van mening dat de leerlingen baat hebben bij hun aanpak.

Een beeld lijkt te ontstaan dat de docenten van mening zijn dat voor een analogie om goed te werken, het van belang is dat hij goed uitgedacht moet worden en er op moet worden teruggekomen. Juist door er op een structurele manier mee om te gaan lijkt het voor de leerlingen iets toe te voegen. Als ze alleen gebruikt worden om iets kort te introduceren lijkt het slechts voor enkele leerlingen te helpen, en zal het bij sommige leerlingen zelfs leiden tot verwarring.

Subvraag 4: Hoe wordt omgegaan met risico's en problemen van analogieën:

*a. Wat doet de docent als een analogie vastloopt.*

De interviews laten zien dat alle docenten zich bewust zijn dat en waar analogieën spaak lopen en vinden dat je er dan niet verder mee moet gaan. Er is in de interviews geen analogie ter sprake is gekomen, waarbij de docent te ver doorgaat, naar onze mening. De docenten verschillen erin hoe ze omgaan met het spaak lopen van de analogie, en het wel of niet aangeven van de beperkingen van de analogie.

Het is niet uit de interviews op te maken of het wel of niet aangeven van de beperkingen uiteindelijk een verschil uitmaakt in de leeropbrengst van leerlingen.

Het lijkt ons dat bewust en gestructureerd introduceren en blijven gebruiken van analogieën inclusief een planning voor wat te doen als je aan de grenzen van die analogie bent aangekomen helpt bij het beperken van problemen met het gebruiken van analogieën in de les.

Uit de interviews komt naar voren dat docenten weinig tot geen overleg hebben over de analogieën die ze gebruiken, ook niet tussen onder- en bovenbouw. Docenten nemen een analogie over van elkaar als ze deze sterk vinden, en ze weten ook wat er in de andere klassen besproken wordt, maar er is geen eenduidige verhaal dat aan de leerlingen verteld wordt gedurende het opbouwen van de kennis in de doorlopende leerweg.

Subvraag 4: Hoe wordt omgegaan met risico's en problemen van analogieën:

*b. Worden meerdere analogieën tegelijk gebruikt*

Uit de interviews komt naar voren dat er twee strategieën zijn bij de geïnterviewde docenten. De meeste docenten gebruiken één (voorkeurs)analogie en zijn terughoudend in het gebruiken van meerdere analogieën na(ast) elkaar. Om dit te bereiken ontwikkelen zij zelf een complete analogie. Twee docenten gebruiken wel analogieën naast elkaar. Dit zijn ook de docenten die de analogieën oppervlakkiger gebruiken.

Subvraag 4: Hoe wordt omgegaan met risico's en problemen van analogieën:

*c. Welke problemen hebben leerlingen met de gebruikte analogieën.*

Uit interviews is niet veel af te leiden over ontstaan van misconcepten. Docenten lijken er niet veel aandacht voor te hebben. Hiervoor is nodig om leerlingen te interviewen / observeren en specifiek te testen naar het ontstaan van misconcepten door analogieën.

De vraagstelling in de interviews was niet altijd expliciet met betrekking tot misconcepten. Toch lijkt het erop dat docenten weinig of niet bewust meenemen dat er misconcepten kunnen ontstaan. Geen enkele docent test hierop. Docenten zijn zich wel bewust van het feit dat analogieën moeten aansluiten bij de belevingswereld van de leerlingen wil de analogie effectief zijn.



Ons onderzoek heeft zich gericht op het verkennen van de beschikbare analogieën en de beperkingen van deze analogieën. Om meer specifieke en hardere aanbevelingen dan de onderstaande te kunnen doen over het gebruik van analogieën is meer onderzoek nodig.

Subvraag1: Welke analogieën zijn bekend:

Docenten zouden zich op de hoogte moeten houden van de gebruikte analogieën voor alle onderwerpen waarover ze les geven. Analogieën zijn niet zonder risico, maar dat betekent niet dat ze niet hun nut hebben binnen een constructivistisch opgebouwde lessenserie. Het is eigenlijk raar dat er binnen de leraaropleiding niet meer aandacht is aan welke analogieën er precies zijn, zelfs bij het didactiek deel gaat nog relatief veel aandacht naar vakinhoudelijke kennis, terwijl kennis van analogieën nu juist een heel duidelijk voorbeeld is van vakdidactische kennis.

Subvraag 2: Welke risico's zijn verbonden aan de geïnterpreteerde analogieën:

Het dient aanbeveling dat docenten hun analogie leggen langs de aangepaste Spiro lat en beseffen waar hun analogie mank gaat en op welk aspect. Het staat toe om dit beter aan te geven in de lessen. Docenten kunnen daarnaast de huidige lijst gebruiken om bewust een keuze te maken uit een analogie die past bij hun les, hun manier van lesgeven en de leerlingen.

Subvraag 3: Wat zijn de overwegingen om analogieën te gebruiken:

Voor docenten lijkt het aan te raden om analogieën doordacht te gebruiken (bewuste keuze en duidelijk aangeven dat het een truc is) en structureel (als oplossingsstrategie en vaak op terug komen. Een andere optie is om te kiezen voor een analogie die alles uitlegt. Oppervlakkig gebruik van analogieën lijkt tot verwarring te leiden.

Docenten kunnen onderling overleggen en elkaars analogie gebruik in de lessen verbeteren / aanvullen. Het lijkt ons in ieder geval nuttig dat ze van elkaar weten welke analogieën ze gebruikt hebben. In een volgende leerjaar kan hier dan makkelijker op worden terug gegrepen.

Subvraag 4: Hoe wordt omgegaan met risico's en problemen van analogieën:

Maak onderwijs met behulp van analogieën een onderdeel van de docentenopleiding of nascholing en maak zo docenten bewust van de kracht en gevaren achter analogieën.

Introduceer de aangepaste Spiro analyse als een gereedschap om kritisch naar een analogie te kijken.

Ga geregeld na hoe de leerlingen de analogieën ervaren en of het hun begrip ten goede komt. Ga na of misconcepten ontstaan juist daar waar de analogie mank gaat.

Dit onderzoek is het begin van een hele serie mogelijk onderzoeken naar het gebruik van analogieën in het natuurkunde onderwijs. Bij dit onderzoek hebben wij in kaart gebracht welke analogieën er gebruikt worden om elektrische schakelingen uit te leggen. Vervolgens hebben we gekeken naar aspecten van die analogieën die mogelijk tot problemen bij leerlingen kunnen leiden. Hieronder komen suggesties voor verder onderzoek gebaseerd op onze bevindingen.

Subvraag 1: Welke analogieën zijn bekend:

Een enquête met gerichte vragen kan gehouden worden onder een grote groep natuurkunde docenten om nog meer analogieën te achterhalen. De enquête kan dan het huidige onderzoek bevestigen / aanvullen.

Subvraag 2: Welke risico's zijn verbonden aan de geïnventariseerde analogieën:

Spiro geeft niet alleen een lijst met aspecten van analogieën die tot problemen kunnen leiden, zijn artikel gaat iets verder en legt ook een link met het soort van misconcepten waar elke categorie van onjuiste aspecten tot kan leiden.

Een vervolgonderzoek zou zich kunnen richten op misconcepten die ontstaan door het gebruik van bepaalde analogieën. Als er verschillende groepen worden gevonden waarvan de docent een andere analogie gebruikt, kan gekeken worden of specifieke misconcepten bij bepaalde analogieën vaker voor komen dan bij andere analogieën. Dit kan dan weer aan de lijst van Spiro worden gekoppeld.

Subvraag 3: Wat zijn de overwegingen om analogieën te gebruiken:

Aan hand van bovengenoemde enquête kan ook gekeken worden welke analogieën het meest worden gebruikt en hoeveel docenten daadwerkelijk analogieën gebruiken.

De huidige interviews voldoen voor verkennend onderzoek, maar vraagstelling en doorvragen kan scherper om nog meer uit te interviews te halen. Een diepte interview onder een groter aantal docenten geeft beter en kwantitatiever inzicht in de afwegingen die docenten maken. Het zal lastig zijn om deze afwegingen op een juiste manier te achterhalen in een enquête.

Subvraag 4: Hoe wordt omgegaan met risico's en problemen van analogieën:

Op basis van theorie is in kaart gebracht welke aspecten van een analogie mogelijk kunnen leiden tot een misconception. Een onderzoek zou gericht kunnen onderzoeken of dit ook daadwerkelijk gebeurt, op wat voor manier, en bij hoeveel leerlingen.

Een beter gebruik van de analogieën in de lessen kan de kwaliteit van het onderwijs vergroten, hetgeen tot uiting komt in meer conceptuele kennis bij de leerlingen. Hieronder is duidelijk aangegeven wat kan worden verstaan onder 'verbeteren kwaliteit onderwijs' en hoe deze term kan worden geoperationaliseerd.

➤ **Tabel 2: Uitwerking van de term 'Kwaliteit onderwijs verbeteren' in dimensies en indicatoren**

Term	Dimensies	Indicatoren
Kwaliteit onderwijs verbeteren  Definitie:  Verbeteren van het aanleren van concepten bij leerlingen  Of  Leerlingen verkrijgen een grotere conceptuele kennis.	Kennen	Leerling kan het nieuw concept noemen
		Leerling kan het nieuwe concept herkennen
		Leerling kent het verschil tussen het nieuwe concept en de gebruikte analogie
	Toepassen	Leerling kan het nieuwe concept toepassen in een bekende situatie
		Leerling kan het nieuwe concept toepassen in een onbekende situatie

## LITERATUURLIJST

---

- Brookes, D., 2006, The role of language in learning
- David Brookes, 2003, The Role of Metaphor in Scientific Thought and Physics Education, Rutgers University, (ppt or poster)
- Brown DE, Clement J (1989). Overcoming misconceptions via analogical reasoning: Abstract transfer versus explanatory model construction, *Instructional Science* 18, 237-261.
- Dupin JJ, Joshua S (1989). Analogies and “Modelling analogies” in teaching. Some exam-ples in basic electricity, *Science Education*, 73, 207-224.
- Gentner, D (1983) Structure-mapping: A theoretical framework for analogy. *Cognitive Science*, 7:155-170.
- Glynn SM (1991). Explaining Science concepts: A teaching-with-analogical model. In S. Glynn, R. Yeany and B. Britton (Eds.), *The Psychology of Learning Science* (pp. 219-240) (Hillsdale, N. J., Erlbaum).
- Lakoff, G (1993). *The Contemporary Theory of Metaphor*. In A. Ortony (Ed.), *Metaphor and Thought*, Second Edition. New York: Cambridge University Press.
- Spiro R.J., Feltovich P.J., Coulton R.L., Anderson D.K., 1988 Multiple analogies for complex concepts: Antidotes for analogy-induced misconceptions in advanced knowledge acquisition. Technical report 439. Center for the study of reading.
- Simanek, D.E., 2012, <http://www.lhup.edu/~dsimanek/scenario/analogy.htm>, visited April 13, 2013.
- Treagust, D.F., Duit, R., Joslin, P., Lindauer, I., 1992 Science teachers’use of analogies: observation from classroom practice, *International Journal of Science Education*, vol 14, No 4., 413-422.
- Ugur, G., Dilber, R., Senpolat, Y., Duzgun, B., 2012, The Effects of Analogy on Students' Understanding of Direct Current Circuits and Attitudes towards Physics Lessons, *EUROPEAN JOURNAL OF EDUCATIONAL RESEARCH*, Vol. 1, No. 3, 211-223
- Zeitoun HH (1984). Teaching Scientific Analogies: a proposed model, *Research in Science and Tech-nology Education* 2,107-125.

### **Fase 1: Gebruik van en ervaring met analogieën**

De docent is voornamelijk aan het woord.

In dit gedeelte sturen wij weinig en gebruiken we open vragen.

*“Korte inleiding: Wij doen een verkennend onderzoek naar het gebruik van analogieën in het Nederlandse natuurkunde onderwijs. In dat kader willen we je graag een aantal vragen stellen. De vragen zijn open en wij zullen als interviewers zo min mogelijk aan het woord zijn. Het onderwerp dat wij gekozen hebben is elektriciteit. Het betreft zowel onderwijs in onder en bovenbouw.”*

Eerst aantal korte algemene vragen:

-aantal jaren les ervaring:

-les ervaring in klassen inclusief leerniveau: bijv. 2v, 5h

Welke analogieën ken je binnen het onderwerp elektriciteit?

Kun je elk kort toelichten?

Welke analogieën gebruik je zelf in je les?

Waarom gebruik je specifiek deze?

Wanneer gebruik je deze? (welke klas, bepaalde situatie(s), type leerlingen, leerniveau, etc.)

Wat zijn je ervaringen met het gebruiken van deze analogie in de les?

Welke afwegingen maak je voordat je besluit een analogie in de les te gebruiken?

Welke beperkingen ervaar je met betrekking tot het gebruik van analogieën?

Welke voordelen?

Waarom gebruik je bepaalde analogieën die je noemde niet in je les?

Wat zijn je ervaringen met het gebruiken van analogieën in het algemeen in de les?

Heb je ervaren dat sommige analogieën beter / slechter werken? Wanneer, hoe, enig idee waarom?

Zijn er analogieën die je vroeger gebruikte, maar nu niet meer?

Gebruik je meerdere analogieën tegelijk naast elkaar? Waarom (niet)? Beschrijf de ervaring.

Gebruik je analogieën na elkaar? Waarom (niet)? Beschrijf de ervaring.

Welke analogieën observeer je bij de leerlingen (wellicht ook vanuit eerdere klassen)

Welke analogieën leven bij leerlingen?

Welke spontane analogieën observeer je bij de leerlingen?

## **Fase 2: Verdere ervaring, kennis, mening met betrekking tot analogieën**

In deze fase is het doel om inzicht te krijgen over aanvullende kennis, ervaring en meningen van de docent met betrekking tot analogieën en eventueel (gekoppeld aan) misconcepten.

Het is belangrijk om duidelijk aan te geven of de informatie een mening, feit, kennis, ervaring, op basis van onderzoek, intuïtie, etc. betreft.

Wanneer je een analogie gebruikt in de les, hoe observeer je dan dat hij het leren bevordert?

Een analogie is per definitie een benadering van de werkelijkheid en gaat ergens scheef met de natuurkundige 'waarheid'. Hoe ga je hier mee om? En naar de leerlingen toe?

Heb je, of iemand bij je op school, ooit onderzocht of het gebruik van de analogieën verschil uitmaakte in het leerproces bij leerlingen?

Welke analogieën gebruiken je collega's? Merk jij dit als je de leerlingen in latere jaren lesgeeft? Hoe?

Wat vind je van volgende analogie? (mits in fase 1 niet besproken)

Zal de analogie effectief werken in de klas? Leg uit.

Zal je hem zelf gebruiken? Waarom (niet)?

- kabouters met rugtassen vol gereedschap
- rivier voor weerstanden
- waterstroming voor stroomkring
- enkele en dubbele deuren voor weerstand
- verschil in weerstanden tussen metalen (gladde en ruwe buis met water)
- weerstand in een draad (dunne en dikke buis met water)
- fietswiel (energie ingebracht op een punt is meteen op elk punt van het wiel)
- fietsketting, trein met veel treinstellen
- geluidsgolven (elektrische energie heeft elektronen nodig die langzamer bewegen dan de energie zelf, waar geluid deeltjes nodig heeft die ook langzamer bewegen dan geluidssnelheid)

APPENDIX II – VERBATIM INTERVIEW A

Nou goedemorgen we doen onderzoek naar het gebruik van analogieën en metaforen in het natuurkundeonderwijs daar wou ik graag wat vragen over stellen.	<i>Ok</i>
Eerst even voor het onderzoek een aantal persoonlijke vragen. Wat is je naam	<i>Mijn naam is Docent A</i>
Je geeft ook les aan welke klassen?	<i>Ehhh MAVO, HAVO en VWO en 3 mavo, 4 mavo, 4 havo 4 VWO, 5 havo en dan heb ik ze allemaal wel gehad.</i>
En hoe lang geef je al les?	<i>Dit is eh... Drie jaar, vier jaar zo'n beetje, ja</i>
Eehm, ja is onderzoek richt zich voornamelijk op het gebruik van analogieën in het onderwijs over elektrische schakelingen. Gebruik je daar zelf ook analogieën in als je dat uitlegt of...	<i>Ja ik probeer het wel..maar niet altijd even vaak zal ik maar zeggen,</i>
Niet altijd even vaak	<i>Nee meestal in het begin over spanning en stroom aan de hand van waterreservoir of stromend water, dat soort zaken. Bijvoorbeeld. Dat doe ik niet.. Dat pas ik niet altijd toe gedurende de hele periode. Meer voor de eerste beeldvorming.</i>
Eerste beeldvorming en daarna ga je vaak over naar gewoon..	<i>Nou ja &lt;&lt;onverstaanbaar&gt;&gt;</i>
Stroom en spanning	<i>...ja precies.</i>
Heb je het idee dat die analogieën de leerlingen helpen om het te begrijpen?	<i>Nou, niet bij allemaal, sommige zijn daar heel....die kunnen het zichzelf echt voorstellen als je zeg maar praat over een stuwmeer dat vol zit met water dat de hoogte, het niveau, iets zegt over de spanning die er staat en de waterstroom iets zegt over de stroming door de leidingen anderen hebben daar meer moeite mee. Dan probeer ik wel iets anders te vinden daar omtrent maar dat is ..eehh.. Ze hebben daar in het begin wel moeite mee met spanning en stroom, dat is een heel vaag begrip vaak voor ze</i>
Heb je het idee dat het ze wel helemaal duidelijk is hoe water zich gedraagt?	<i>Ook niet altijd denk ik zelfs, dan ga ik wel eens heel gewoon naar de stortbak van het toilet dat is dan heel praktisch voor ze, dat ze van thuis kennen dat is dan meestal wat meer een eyeopener. Zo van "oh.. OHH Ja' ja</i>
Ja... Is er een speciale reden dat je die analogieën verlaat, zeg maar, als	<i>Nou ik kom er wel op terug maar niet zo net als in het begin omdat ik een gegeven moment ook wel denk dat ook</i>

<p>je wat verder in het hoofdstuk bent? En er niet op terugkomt?</p>	<p><i>moeten leren.. om .. het zeg maar toepassen van die natuurkundige begrippen en inzichten dan alleen maar steeds maar de analogieën te gebruiken. Dat is wel leuk in het begin om ze te laten wennen en oefenen. Dat ze een beetje snappen 'wat is het' maar daarna vind ik ook dat ze moeten omschakelen naar dat ze weten dat je stroom hebt. Dat ze dat begrijpen, als ze misschien in hun hoofd nog die slag maken dat vind ik prima maar ik ga dat niet constant meer voor de... voor de groep zelf halen.</i></p>
<p>Even nadenken Gebruik je ook andere analogieën dan alleen dat water?</p>	<p><i>Nou dat meestal, en vooral dat laatste wat ik net zei over dat met die toiletpot en dat reservoir omdat ze dat gewoon ook echt beleven, daar hebben ze ook mee te maken. Dat denk ik dat... tenminste dat blijkt dat ze dat dan..ehh.. dat snappen ze dan weer wel. Ze zien ook waar het water heen gaat, als je op het knopje drukt dan komt het eruit en hoe minder water hoe minder snel het eruit komt, dat is voor hun... net als een kraan die je open of dicht draait.. Dat is iets waar ze veel mee te maken hebben dus dat gebruik ik gewoon heel veel. .. en ja... die keuze heb ik daaromtrent gemaakt</i></p>
<p>Dus je vindt het belangrijk dat ze het herkennen?</p>	<p><i>Ja! Ik denk dat dat belangrijk is, ik denk dat als ik iets nieuws introduceer, dat probeer ik te koppelen aan iets wat ze al eigenlijk al weten, ja als ik de kraan opendraai dan gaat het veel harder het water stromen.</i></p>
<p>Ja.</p>	<p><i>En hoe dan de stroomsterkte zich precies gedraagt kunnen we later wel uitweiden, maar dat vind ik dan belangrijk om het te koppelen aan iets wat ze al kennen. Zodat ze een beetje weten wat er gebeurt Dat lukt niet altijd trouwens.</i></p>
<p>Nee natuurlijke niet... uhhmm.. Even nadenken, is er bij jou ook een verschil in hoe je het in 4 havo of 5 havo en bijvoorbeeld 2 havo geeft?</p>	<p><i>Ja nou heb ik toevallig dit jaar geen tweede klassen maar wel derde klassen dan. Eehhmm.. Ik gebruik wel vaak daar dezelfde analogieën moet ik zeggen. Dan op een gegeven moment ook als je wat controlevragen stelt, dan leg je ook uit met zo'n waterstroom, met zo'n rivier zeg maar. Dat dat bij alle niveaus eigenlijk wel landt en natuurlijk soms heb je ook analogieën die bij de ene klas beter werken dan bij de andere, ik denk toch dat dit er zo'n eentje is die bij allemaal wel vatbaar is omdat ze er ook allemaal wel eens mee te maken hebben gehad. En daarbuiten... even kijken naar iets anders, kan ik nog een ander voorbeeld verzinnen? Dan pas je het wel eens aan ook op het soort niveau wat je voor je hebt zitten omdat voor een havo/vwo leerling eigenlijk al op een abstract niveau misschien logisch is zie je een mavo leerling soms toch niet gelijk evident. Dat is een beetje zoeken altijd hoor soms, ik kan dat niet echt altijd gelijk oplossen, maar dat merk je altijd wel aan de interactie met de groep.</i></p>
<p>Heb je ook het idee dat sommige van de problemen bij kinderen juist</p>	<p><i>Nou dat zou soms nog wel eens kunnen ja. Hey wacht hij geeft daar een hele andere uitleg aan dan ik had verwacht</i></p>



komen door de analogieën?	<i>en dat is dan soms door een voor hun heel erg logische stap aan de hand van eigenlijk wel... ja als je het een misconception mag noemen, in ieder geval zie je dingen gebeuren waar ze eigenlijk een verklaring voor hebben verzonnen die eigenlijk niet blijkt te kloppen. Dat dat dan door die analogie ja eigenlijk haast wordt versterkt. Ja dat moet je dan op dat moment, ja ik kan ook niet echt een standaard oplossing geven. Dat is meestal een beetje ad hoc Nou ja dan doe ik het op die manier.</i>
Ja	<i>Dat is dan misschien een beetje wat bij mij altijd speelt, ik ga dan heel snel op zoek naar een ander voorbeeld wat ik erbij probeer te halen om het één en ander toe te lichten.</i>
Ja... Ik wil ..eehhhm.. even een aantal analogieën langslopen, met vraag of je ze kent, of je ze gebruikt en wat je er van vindt.  We hebben het natuurlijk over die met het water gehad... <i>Ja..</i> Die ken je, die gebruik je, die vindt je op zich bruikbaar..	<i>ja.</i>
Ehhmm.. Ken je het voorbeeld van de kaboutertjes met de rugtasjes met energie?	<i>Nou ik gebruik hem met vrachtwagentjes met de energie in de laadbak, ja die ken ik wel ja en die gebruik ik ook wel eens maar dat is dan echt zo'n voorbeeld dat je kan gebruiken bij een 3 mavo of een 2 mavo meer dan in 4 havo of 5 havo.. dat vind ik een beetje te... ja het is wel heel kinderachtig misschien, maar het werkt uiteindelijk wel ja.. ik ken ze wel ja op zich wel een goede</i>
Ben je bekend met de met de met de met de analogie van de van de van het fietswiel.	<i>Nee?</i>
Waarbij mensen dus.. ja het wiel is de stroomkring .. <i>ja</i> Waarbij alles in de stroomkring zeg maar gelijk begint te draaien.	<i>Ohhh okay.</i>
Kracht uitoefenen op het wiel is dan de spanningsbron <i>ja</i> en als je ergens weerstand uitoefent dan ontstaat daar warmte	<i>oh ja Nee die ken ik niet maar die klinkt ook wel heel erg tastbaar. Voor die leerlingen, daar zijn ze ook mee gewend. Een wiel dat draait etc.</i>
Ja.	<i>Ik denk wel dat ik die kan gebruiken ja</i>
Ja.... Dan wou ik het heel even hier bij laten.	<i>Okay, nou heb je nog meer te vragen dan weet je me te vinden.</i>







Okay, goedemorgen, ik zal een korte inleiding dan, we doen een verkennend onderzoek naar het gebruik van analogieën in het Nederlands natuurkundeonderwijs in dat kader willen we je graag een aantal vragen stellen. De vragen zijn open en ik wil zo min mogelijk aan het woord zijn, en dat jij verteld. Het onderwerp dat we hebben gekozen is elektriciteit en we hebben het zowel over onderwijs in de onderbouw als in de bovenbouw. We beginnen even kort met wat vragen, wat is je naam?	<i>Docent B</i>
en hoeveel jaren heb je al leservaring	<i>Eh 17 jaar</i>
Okay, 17 jaar en in welke klassen heb je voornamelijk ervaring in het geven van natuurkunde.	<i>Ehh VMBO 2,3 en 4 en havo 2 en 3.</i>
En welke analogieën ken je binnen het onderwerp elektriciteit?	<i>Eeehhmmm van een riviertje om zo maar te zeggen, waar water door stroomt. Van een batterij, van een meertje dan een bepaalde hoogte heeft... even kijken... mensen die door een bepaalde doorgang moeten ehhh ja, dat zijn de belangrijkste die ik zelf gebruik.</i>
Zijn er nog een paar die je wel kent maar niet zelf gebruikt?	<i>Ehhhh,, nee..... Ik zit even te denken.. Ehh nee ja van een spons, waar water in zit voor een als analogie van een batterij. Nee verder eigenlijk niet</i>
Die analogieën die je eerste noemde gebruik je ook allemaal zelf in de les?	<i>Ja</i>
En waarom gebruik je specifiek deze analogieën?	<i>Ehh.. ja, om het beeldend te maken om leerlingen visueel iets voor te toveren wat overeenkomt met wat er gebeurt in een&lt;&lt; draad [?]&gt;&gt;</i>
En wanneer gebruik je ze? Bij het introduceren of de hele tijd?	<i>Ik gebruik ze eigenlijk wel doorlopend, ja.</i>
Dus je grijpt daar steeds op terug?	<i>Ja... als ik bijvoorbeeld parallel schakelingen uitleg, leg ik dat ook uit als een rivier die zich vertakt en als je serie uitlegt dan leg je uit dat er twee obstakels liggen in de rivier en dat ze beide weerstand geven en dat het water beide weerstand ook ondervindt en dat je ook</i>

	<<onverstaanbaar>>
En wat zijn je ervaringen met analogieën? Komen ze goed aan?	<i>Ehhh.. Ja dan zou je het eerst zonder moeten proberen natuurlijk.</i>
Ja	<i>Ik vermoed dat het wel duidelijker wordt voor die kinderen, dat veel van die kinderen ook zelf teruggrijpen in hun taalgebruik op die ..ehh.. analogie.</i>
Even kijken, even in het algemeen voor je besluit om een analogie te gebruiken welke afweging maak je dan?	<i>Ehhh.. Ja hij moet kloppen, hij mag natuurlijk niet op belangrijke onderdelen afwijken van wat er in het natuurkunde onderwerp speelt... Hij moet dicht bij de belevingswereld van de kinderen staan dus hij moet wel... het moet wel iets zijn, hij moet wel verhelderend werken. Waar ze zich aan kunnen relateren. Ja en.. als je iets echt zichtbaar kunt maken met een practicum, dan verdient dat mijn voorkeur Liever een demonstratiepracticum dan eehhh... dus het moet iets zijn wat moeilijk te demonstreren is, iet was moeilijk zichtbaar te maken is.</i>
Enneh.. welke voordelen en beperkingen ervaar je bij het gebruiken van analogieën?	<i>Het voordeel is natuurlijk eh.. dat je je leerlingen, je leerlingen een soort kapstok geeft waaraan ze nieuwe begrippen kunnen ophangen. En welke beperkingen...ehhe... Ja je moet natuurlijk oppassen dat.. er zit altijd wel haken en ogen aan een analogie.. Ik bedoel eehhh.. als ik bijvoorbeeld wisselstroom zou willen gaan uitleggen aan de hand van een rivierteje wordt dat natuurlijk een beetje moeizaam. Dus dat is een beetje de beperking, een analogie gaat altijd op een bepaald punt mank.</i>
Waarom gebruik je die analogie van die spons niet, je zegt die ken ik wel maar ik gebruik hem niet..	<i>Ja gewoon om mezelf te beperken .. ik wil een eenduidige verhaal houden Enneh... dan wil ik niet teveel dingen, dus ik wil... ik kies één ding en dat hou ik vol om zo te zeggen... eh... ja</i>
En heb je ook ervaren dat sommige analogieën, misschien niet alleen bij elektriciteit, beter of slechter werken en heb je daar een verklaring voor?	<i>Hmmmm.. even denken.. wacht..... Nee ik zou het zo niet .. nou wat ik wel, we zijn nu met druk bezig en die stap van <math>N/m^2</math> naar <math>N/cm^2</math>, dat dat Newton per vierkante meter een grotere waarde is dat krijg je ze heel moeilijk uitgelegd en dus dan kun je wel zeggen een vierkante meter is heel groot dus daar passen dan heel veel dwergen op, en als ik dan een heel klein postzegeltje heb, hoeveel dwergen passen daar dan op. Daar passen maar heel weinig dwergen op, als daar bijvoorbeeld tien dwergen op zo'n klein postzegeltje zitten dan moeten er wel verschrikkelijk veel op een</i>

	<i>vierkante meter zitten. Kijk dat is iets dat blijft een moeizaam verhaal altijd. Want ze hebben toch heel erg het idee, een centimeter is klein en een meter is groot</i>
Ja..	<i>En dat, dat blijft toch overheersen</i>
Even denken, nog even een andere vraag, zijn er ook analogieën die je vroeger wel gebruikte maar .. eeh.. waar je mee bent gestopt omdat ze een probleem opleverde?  Of om een andere reden.	<i>Uuhmm  Uhhmm, nee, nee... het is wel zo dat ik laten we zeggen, maar dat geldt niet alleen voor analogieën maar ook voor voorbeelden dat ik me probeer te beperken in het aantal verschillende voorbeelden dat ik geef, dus ik probeer goede voorbeelden te bespreken ennuh daar ook vervolgens weer op terug te komen. Dus ik probeer het aantal analogieën en ook voorbeelden om die redenen te beperken voor de duidelijkheid.</i>
Je gebruikt om die reden ook niet meerdere analogieën naast elkaar. <i>Juist.</i> Wel na elkaar? Heb je wel eens gehad dat je bij sommige onderwerpen, bijvoorbeeld elektriciteit, je het introduceert met de ene analogie en dan om het verder te verduidelijken misschien doorgaat met een andere?	<i>Nee nee... dat probeer ik te voorkomen.</i>
Probeer je te voorkomen, precies. Eehmm.. observeer je ook analogieën bij leerlingen die ze misschien vanuit eerdere klassen hebben meegekregen, die je niet zelf gebruikt. Waarvan je zegt, ze komen daarmee bij mij? Hier of bij je vorige school.	<i>Nee niet echt.</i>
Observeer je wel eens spontane analogieën? Dat een leerling zegt "ohhh. Het werk ongeveer zo als dat en dat"? Of komt dat ook weinig voor?	<i>Ja... zelden, zelden. Je het gebeurt wel eens, je hebt wel dat ze, laten we zeggen dat wanneer je een onderwerp introduceert dat ze dat kennen via een hobby of weet ik veel wat, dat ze zeggen "oohhh.. zit dat zo.." Dat heb je wel. Maar dat is dan meer het herkennen van een principe dan een analogie.</i>
Eh ja.  De tweede fase van het interview gaat over een aantal analogieën die wij verzameld hebben. Die willen we zelf ook langs de meetlat leggen, als het	<i>Ehm ja, dat is altijd een moeilijk verhaal.. ik was.. in het verleden heb ik wel gehad dat bij het introduceren van een analogie gelijk aangaf waar die mank ging, maar dat bleek niet zo'n sterke zet te zijn. Dan gingen leerlingen zich daar toch vaak op fixeren, datgene wat</i>

<p>ware, maar we willen ook even weten wat gevoelsmatig, intuïtief en vanuit je ervaring je idee is over zo'n analogie, zeg maar. Even een klein introducerend stukje, een analogie is, zoals je zei, natuurlijk per definitie een benadering van de werkelijkheid heh? Het is nooit het hele verhaal, het gaat altijd ergens scheef, hoe ga je daarmee om als leerlingen daar tegenaan lopen? Naar je leerlingen toe? Zeg maar dat ze iets verder doordenken en dan ergens tegenaan lopen waar die analogie scheef gaat.</p>	<p><i>niet goed ging. Dussuh mochten ze het ontdekken dan.. dan..geef ik het ook gewoon aan en als je, naar mate je het onderwerp verder bespreekt op het punt komt waar die niet klopt, ja dat moment moet je dat natuurlijk wel expliciet benoemen ..Ja.. Dat de analogie daar niet meer opgaat</i></p>
<p>Nee precies.</p> <p>Ehhhmm. Even zien hoor.. heb... spreek je met collega's over analogieën wil je ze op elkaar laten aansluiten? Of gaat het allemaal een beetje... ja...ben je daar best wel autonoom in.</p>	<p><i>Ja wij spreken best wel veel ..eeh... met elkaar maar je hebt wel vrijheid van handelen daar in. Maar we hebben het vaak over veel inhoudelijke zaken. Analogie komt daar ook wel eens in voor. Heh? Dat van springende leerlingen wat jij deed bij temperatuur ..ja.. Dat eh.. dat vond ik wel een hele aardige daar had ik zo zelf nog niet ehh.. daar had ik zelf nog niet opgekomen om dat zo te doen.</i></p>
<p>Één klein dingetje, vraagje, je bent hier natuurlijk nieuw op school, maar heb je ooit een collega gehad die heeft onderzocht of gebruik maken van analogieën verschil uitmaakt in het leerproces van leerlingen?</p>	<p><i>Nee.</i></p>
<p>Voor zover jij weet?</p>	<p><i>Nee.. nee, nee.</i></p>
<p>Wat ik al zei, ik wou nog even een aantal analogieën langs ehh.. vraag is een beetje, in jouw inschatting, denk je dat het een effectieve analogie is om te gebruiken in de klas en zou je hem zelf gebruiken. En waarom etc..</p> <p>Kabouters met rugtassen vol gereedschap, weet niet of je er mee bekend bent, met die analogie?, of vrachtwagentjes met energie, dus dat er vrachtwagens of kabouters rondlopen.. of rijden, die bij elke weerstand een deel van hun lading achterlaten, heh. Deel van hun energie of deel van hun</p>	<p><i>Nee.. die zou ik zelf niet gebruiken.</i></p>



gereedschap... Om ook te kijken naar een elektrische stroomkring, om te kijken hoe dat werkt?  Ken je die analogie?	
Waarom zou je hem niet gebruiken?	<i>Ja.. ehh.. ik zeg al, omdat die van water , die vind ik vrij helder.. vrij eenduidig, dus ik wil er liever geen tweede naast, dat is gewoon de belangrijkste reden eigenlijk.</i>
En, nog een vraag, de enkele en dubbele deuren voor weerstand? Bij een enkele deur heb ik een bepaalde weerstand, als ik twee deuren naast elkaar open doe dan heb ik een kleinere weerstand, twee achter elkaar dan heb ik een grotere weerstand.	<i>Ja, die gebruik ik wel ja.</i>
Analogie van een fietswiel, ik weet niet of je die kent? Het idee van het fietswiel, het mooie van de analogie van het fietswiel is dat als je ergens in de stroomkring energie toevoert dat dan de hele stroomkring in beweging komt en dat als je ergens weerstand uitoefent dat dan daar de warmte ontstaat, maar dat de hele stroomkring aan snelheid inlevert.	<i>Oh.. da's wel een mooie.</i>
En zou je hem gebruiken:	<i>Ja die zou ik zeker gebruiken ja, want dat is wel een lastig concept bij de leerlingen. Dat stroom bijvoorbeeld ook plotseling van richting kan veranderen.</i>
Ja... in dezelfde trend bijna, de analogie van de fietsketting of heel veel treintjes in een baan die allemaal aan elkaar vast zitten. Die dus alleen maar kunnen bewegen als alles beweegt, gebruik je die wel?	<i>Nee ook niet.</i>
Misschien iets meer een bovenbouw analogie, maar de analogie met geluidsgolven. In principe de bewegende deeltjes die zelf langzamer bewegen dan de energie die wordt doorgegeven. Dat de energie in een stroomkring eigenlijk met de snelheid van het licht wordt	<i>Nee ik geloof dat dat het onderbouw alleen maar...</i>

doorgegeven, terwijl de elektronen zelf met een eindige snelheid bewegen?	
Te ver gaat?	<i>Ja.. het lastiger maakt.</i>
Ja, ze hebben nog niet echt een idee van geluidsgolven. Nou bedankt voor het interview dit was het.	

APPENDIX II – VERBATIM INTERVIEW C

<p>Toelichting, één van de laatste vakken die ik moet doen voor Delft is methoden van onderzoek. Daar moeten we, we doen het in een drietal, een onderzoek opstellen en uitvoeren. Eind juni moeten we daar een verslag van inleveren. We hebben er voor gekozen om het te houden over analogieën. Analogieën worden in het algemeen als heel positief ervaren, als effectief in de klas, maar je gaf het al aan, er zitten ook nog wat gevaren aan vast. Dus wat we eigenlijk willen doen, is een aantal docenten, ik probeer hier jou en Steven, te interviewen: welke analogieën pas je toe, welke pas je bewust niet toe, waarom pas je ze bewust niet toe. Dat soort zaken. Om het niet te breed te trekken, want je kunt op alle onderwerpen analogieën toepassen, spitsen wij het toe op het onderwerp elektriciteit.</p>	<p><i>Dat is heel verstandig</i></p>
<p>Dat is heel verstandig. Ik ken zelf ook wel wat analogieën, maar ??? en wat zijn de nadelen daarvan. Dus mijn eerste vraag aan je is, welke analogieën gebruik je, voor welke klas. Is dat havo of vwo</p>	<p><i>Ik begin al met de analogie in het begin van tweede, derde klas wanneer ze met elektriciteit in aanraking komen. Dan zeg ik altijd waar komt het woord elektron vandaan. Dat weten ze ook wel. Iets met wrijving. Dus ik vraag waar het vandaan komt. Dat kennen ze wel, maar ik zeg dan: 'hoe stel je dat dan voor en elektron, want in de natuurkunde moet je je iets voorstellen?' En de analogie die vaak wordt gebruikt is het watermodel of het mannetje met de rugzak. Dat soort dingen. Wat ik doe, ik zeg ik stel het me als volgt voor. Het is een veertje, een elektron is een veertje. Dan ga ik zo staan en dan zeg ik: 'dit is een elektron' (heeft een grote slappe veer bij zich waar hij een transversale trilling met een halve golflengte op de veer laat zien). Als ik nu dit doe is het een ander deeltje (hij brengt de veer in een andere transversale trilling), maar een elektron is dit. Wat maakt het dan interessant. Het is geen balletje, maar</i></p>

	<p><i>een ding met een trilling. Deze trilling heeft in dit geval één buikje. De analogie is in dit geval dat het een golfkarakter heeft. Deze elektronen zijn heel klein en ze zitten op één plekje. Als ze in rust zijn is het zo (laat weer de oorspronkelijke trilling in de veer zien). En dan bewegen ze een beetje rond de kern (maakt met de trillende veer een cirkelbeweging). Dan is dit een elektron. Als ik ze nu ga verplaatsen. Ik ga een elektron wegwrijven of ik stop er eentje bij, dat kan makkelijk, dan worden ze gelijk, ze krijgen meer energie op zich. Dus ze gaan harder trillen, maar het blijft dezelfde vorm (laat de veer met een grotere uitwijking trillen). Hoe meer trilling, hoe meer bergjes, hoe meer volt. En dan zeg ik: 'het elektron zijn allemaal van die veertjes. Als ze dan op een plek zijn waar ze allemaal staan te trappelen om te bewegen, staan ze allemaal opgewonden, letterlijk opgewonden te trappelen met een heel hoog trillingsgehalte en dan gaan ze door een draadje heen en komen op een plek waar ze weer nul zijn. En de energie die ze hebben raken ze die kwijt.' Dan ga ik er aan voorbij dat ze dat kwantummechanisch in één stapje doen, dat ze alles kwijt zijn, alle energie kwijt zijn. Dan zeg ik dat ze alle energie kwijt zijn en die wordt gebruikt. Dat wordt warmte of iets anders. Dan heb ik gelijk het begrip volt te pakken, dat volt de energie is op een elektron. Zo doe ik het.</i></p>
<p>Ja want inderdaad je praat over elektron en legt de link naar volt en niet eens de link naar ampère.</p>	<p><i>Nee, en de ampère die ik later zal zeggen Je kunt je voorstellen, ze staan met zijn allen te trappelen, want ze willen graag naar hun plek van rust en dan moeten ze door een gaatje heen en dan krijg ik dus dat het begrip dat er stroom komt. Dat is de hoeveelheid elektronen die zijn energie moet afgeven. Dat dat bepalend is.</i></p>
<p>Dus eigenlijk gebruik je de analogie om in een latere fase ampère uit te leggen.</p>	<p><i>Ja en dat kom dan, dan gebruik ik poortjes. Ik zet in de klas stoelen naast elkaar heel smal, daar kan ik moeilijk in en dan ben ik mijn energie dan daar allemaal kwijt.</i></p>
<p>Het poortje is in feite de weerstand.</p>	<p><i>Ja</i></p>
<p>En de stroom is meerdere elektronen.</p>	<p><i>Meer van deze veertjes, meer van deze trillende dingentjes door een draadje heen. Op de plek waar ze dan terecht komen zijn ze in rust. In rust betekent we dat ze een trilling hebben.</i></p>
<p>Dan heb je van plus naar min zeg maar, die beweging. De spanningsbron kun je die daar ook nog mee uitleggen?</p>	<p><i>Ja, de spanningsbron die ik uitleg. Dat kan ik doen door middel van wrijving. Zodra ik een plek heb waar ik een tekort of te veel elektronen heb, ik kan ze dus wegpoetsen, staan ze ogenblikkelijk, krijgen ze automatisch, dat kun je niet voorkomen, je kunt ze geen energie mee geven. Ze zijn dus, ze willen, ze zijn opgewonden en ze moeten terug naar hun rustplek. Ze zijn op een plek, op plus of min, dat doet er niet toe. In ieder geval zijn ze daar dus in overschot of in tekort, maar dat doet er niet zo veel toe. Ze zijn op die plek niet meer rustig. Ze willen terug naar de rusttoestand.</i></p>

Die snap ik en dat betekent, je begint hier. Hier raken ze opgewonden en ze gaan het kringetje door en daarna komen hier terecht. Een de spanningsbron betekent in feite in sluit het kringetje. Dus uiteindelijk komen ze dan weer hier, door de spanningsbron, en dan zijn ze weer opgewonden. Zo leg je de spanningsbron uit	<i>Ja, dus dat de spanningsbron niets anders is dan het verplaatsen van de elektronen zodanig dat ze niet meer in rust zijn, dat ze opgewonden zijn. Het lijkt een beetje op de mannetjes met het rugzakje-model, maar het voordeel is nu dat de spanning, de energie op het elektron zit. Die zit er op, hij trilt harder.</i>
Het mannetje met de rugzak is het mannetje dat een elektron in zijn rugzak heeft en dan net kringetje door loopt.	<i>Dit geeft dan een steentje af. Dat model wordt vaak gebruikt.</i>
Ja, ik ken het dan met een muntje, met geld in het rugzakje en dan komen ze bij een weerstand en moeten ze wat geld inleveren. Als er dan nog een weerstand achter zit, dan	<i>Dan moet die het geld verdelen, ja</i>
Het voordeel en daarom gebruik je deze is dat de energie van het elektron wordt vanzelf minder ...	<i>Hij geeft het af, ik zeg daar meestal bij als ik iets later ben. Zo van, hij geeft het in één keer af, maar zijn buurman kan dat bij wijze van spreken bij de volgende doen. Je weet zeker dat alle elektronen aan het einde van de rit in rust zijn. Dat weet je zeker zijn of in rust, zeg maar een basisspanning voor het gemak.</i>
Die snap ik. Ik kende hem trouwens niet en dat vind ik wel leuk. Ik heb een lijntje lopen naar mijn weerstand. De energie verliest die bij de weerstand. Raken de leerlingen niet in de war dat ze in dat lijntje al energie verliezen	<i>Dan zeg ik er bij, in wezen doen ze dat ook in het draadje, maar de meeste energie op de plek waar ze het moeilijkst door heen gaan. Dan raken ze, dan doe ik zo altijd (slaat met de trillende veer tegen zijn neus), dan raken ze energie kwijt aan dat ding. De draad is zo breed, daar kun je makkelijk door heen bewegen, daar verliezen ze niet veel energie. Vaak aan de wand, maar de meeste zullen er zonder energieverlies door heen bewegen.</i>
Het is heel duidelijk. Volgens mij kun je daar de hele basis mee uitleggen.	<i>En weet je wat ook een voordeel is, hier staan ze (gaat buiten beeld staan) dan en als ik een parallelschakeling heb, dan staan ze allemaal zo en als ik dan een klein beetje verderop ben, dan zijn ze op dat punt, hebben ze al een beetje minder. Dus de spanning is voor alle elektronen hetzelfde. Alleen een heleboel zullen voor het grote pad kiezen. Alleen de</i>

	<i>stroomsterkte kun je verdelen. Dan is het model van mannetjes en vrouwtjes die voor een deur staan wel te begrijpen. Dat ze allemaal dezelfde spanning hebben.</i>
De spanning is de uitwijking. Dus bij parallelschakeling zeg je: 'spanning blijft gelijk', alleen het aantal ampères is gelijk aan het aantal elektronen. Dus het elektron bij parallel blijft op dezelfde energie zitten.	<i>Ze verliezen dus even veel energie, als ze botsen tenminste, alleen er zullen dus weinig elektronen het smalste pad kiezen, maar die verliezen daar wel hun energie. Precies dezelfde energie die ze verliezen als op het ruime pad.</i>
Ja, ze verliezen dezelfde energie afhankelijk van de weerstand die daar dan in zit. In principe is dat wel hetzelfde. Ik snap hem. Je gaf net ook al aan, mensen die door een deur gaan. Die gebruik je ook die analogie?	<i>Ja, Ik gebruik deze analogie, de deur als buisje en als ze door het buisje gaan, dan botsen ze, degene die aan de wand zitten geven hun energie af en dan gaan ze in rust door. Dan verliezen ze daar hun energie.</i>
De deur ook als weerstand.	<i>Ja, de deur het buisje, een heel dun buisje, een dunne deur, daar heb ik dus weinig elektronen, maar ze botsen wel snel. Ze hebben dus wel spanningsverlies.</i>
Ja, ik ken ook, ik weet niet of je die kent, de analogie waarbij zeg maar: 'ik heb hier een klaslokaal, ik heb een gang, er lopen allemaal mensen in de gang. Dat zijn de elektronen. Uiteindelijk moeten ze door die deur.	<i>Die gebruik ik ook ja</i>
Je kunt een smalle deur hebben. Maar je ook vier brede deuren hebben die uitklappen.	<i>Precies</i>
Daar heb je dus je weerstand.	<i>Zo doe ik het ook. Het deurengedachte gebruik ik ook.</i>
Dat is dus een aparte analogie. Uit die buis, die gebruikte je en daar kwam deze uit.	<i>Ja en dan vertel ik dat onderweg, hier voor tel ik deze dingetje (wijst weer op de veer), aan het einde. Die kun je tellen en halverwege kunnen ze dus nog door een deur heen. Als de deur dicht is, kunnen ze daar niet doorheen.</i>

Gebruik je bij die basis. We hebben er nu eigenlijk al drie die je gebruikt. Gebruik je er meer bij het basis-gedeelte?	<i>Nee, de deur gebruik is dus, of de gangetjes, de buisjes. Dat zijn eigenlijk allemaal dezelfde variant he? Die gebruik ik, ik gebruik dit type en dan als analogie gebruik ik de buis ook als soortelijke weerstand. Dan geef ik aan, jullie mogen zelf kiezen, en dat is dan eigenlijk weer het mannetjesgedachte, stel dat deze deeltjes, deze mannetjes door een heel smal buisje moeten kruipen, dan kost dat veel moeite. Hoer kleiner het oppervlakte, hoe meer tegenwerking er is. Dan zeg ik ook: 'hoe kleiner het oppervlakte, hoe groter de weerstand. En daarna, als ik een heel grote buis heb, het is omgekeerd evenredig. Als je door een buis moet, twee precies dezelfde buizen en de ene buis is een kilometer en de ander is één meter, waar heb je dan de meeste weerstand. Je moet het meeste kruipen door een heel lange buis natuurlijk. Dan zeg ik: de soort stof. Als ik één buis met zacht rubber bekleed en de ander met spijker, dan is de buis met spijkers lastiger kruipen dan een buis met rubber.</i>
Ja, het buizen-deurenmodel. In combinatie met de veren.	<i>Ja, want ik zeg dan : 'ze botsen tegen de wand en de spijkers zullen dat tegenwerken.'</i>
Ik vind het wel mooi dat je de combinatie gebruikt.	<i>Dus ik gebruik de botsing van deze trillende dingetjes tegen de wand als energieverlies. Als de wand, zeg maar heel erg aan deze dingetjes trekt, plakt, knipt, pint, dan heb je heel veel weerstand.</i>
Dus op die manier met die veer en de buizen kun je...	<i>Het meeste wel uitleggen.</i>
De deur is alleen maar een alternatief voor de buizen.	<i>Ja.</i>
En het mannetje met de rugzak is eigenlijk een alternatief voor de veer, maar die vindt je minder	<i>Die vind ik minder, omdat. Wat ik daarvan minder vind, is dat ze er niet bij stil staan dat. Deze analogie geeft al een klein beetje de kwantumtoestand aan. Dat zeg ik niet bewust natuurlijk. Maar dan zeg ik wel: 'het is een trilling die zijn energieverlies'. Energie al als een trilling, als een wat algemener begrip dan steentjes in een rugzak. Want steentjes, energie is iets dat vaag is. Je zou zelfs, als de analogie gaan begrijpen, dit is dan minder energie dan dit (eerst trillen met een kleine amplitude, daarna sneller trillen met een grotere amplitude). Maar het enige, ik heb een verschil in toestand.</i>
We hadden het net even over de parallelschakeling. Die kun je ook goed met water, de hydraulische analogie uitleggen.	<i>Die gebruik ik nooit.</i>
Die gebruik je niet	<i>Nee, die gebruik ik nooit. Heb ik wel gebruikt, maar ik heb geleerd dat veel mensen de watervallen toch niet zo voor ogen hebben. Een</i>

	<i>waterval. Als een waterval in twee stapjes gaat en de ander gaat er in één keer langs, die leeft niet zo bij de kinderen. Ze hebben toch waarschijnlijk te weinig watervallen gezien.</i>
Jij doet hem inderdaad in de vorm van een waterval.	<i>Zo heb ik hem dus gedaan, maar ik doe hem nooit meer. Vroeger wel.</i>
Maar om uiteindelijk een stroom te houden, moet je de stroomkring gesloten houden.	<i>De pomp</i>
De pomp, gebruik je die daarbij ook?	<i>De pomp is voor mij een plek waardoor ik door een andere omstandigheid de elektronen van energie voorzie. Dus op pomp. Ik ga ze opwinden. Ik geef ze energie. Ik zorg dat ze op een plek zitten waar er tekort of te veel aan elektronen is. Er is altijd namelijk een spanningsverschil, want anders heb ik geen energie.</i>
Klopt maar in principe bij een waterval is dat het hoogteverschil. Wil je de kring gesloten houden ..	<i>Dan moet je pompen. Het model werkt op zich voor de pomp. Het hoogteverschil is het aantal volts.</i>
Potentiaalverschil	<i>Potentiaalverschil.</i>
Een generator die als lampje fungeert.	<i>Ja, maar wat ik jammer van die analogie vind, van het watervalmodel, is dat de snelheid van water wel degelijk verandert tijdens de val. Er is bij waterdruppels. Het zou best kunnen zijn. Dat gebeurt bij een waterval, en dan moet je heel diep gaan in de theorie, dat je ook waterdruppels hebt die omhoog gaan in een waterval. Dus ja, ik vind het een beetje. Turbulente stromen wordt het wat lastiger daarmee. Een waterval is eigenlijk een turbulente stroming.</i>
Ja, snappen leerlingen überhaupt ...	<i>ne</i>
Een analogie moet aansluiten bij de leerlingen	<i>Ja, een waterval sluit wel aan bij leerlingen. Dat heb ik wel gemerkt, maar ik vind hem zelf niet bevredigend. Dus wordt ik zelf af en toe een beetje, nou zit ik iets te vertellen dat ik eigenlijk niet waar kan maken. En ik heb hier nog nooit iets gedacht van, als ik nou dieper op de zaak in ga. Stel dat ik dit met een kwantummechanisch model ga bedenken, dan klopt die nog steeds, want er zit energie op die trilling, er is energie op die elektronen. Het elektron is geen balletje. Het is een dingetje met een energietoestand. En als die anders trilt, is het geen elektron meer maar een positron bijvoorbeeld</i>



Is dat überhaupt een heel belangrijk criterium Stel nu dat je deze analogie niet zou hebben gehad, de wateranalogie werkt tot op zekere hoogte ook	<i>De wateranalogie werkt goed.</i>
Er zitten wat haakjes aan vast, maar die zitten dan een stuk dieper. Zou dat dan een argument kunnen zijn om de wateranalogie niet te gebruiken?	<i>Nee, dan zou ik de wateranalogie wel gebruiken. Als ik deze niet had, dan zou ik hem wel gebruiken. Ik heb hem ook gebruikt, dus in die zin is het mannetje met de rugzak of de waterval. Dan is de waterval nog zelfs iets leuker, omdat die het hoogteverschil aangeeft.</i>
Zeker ook in parallelschakelingen, kunnen je die wateranalogie heel mooi zichtbaar maken. Vind je de wateranalogie dan niet makkelijker, of vind je die analogie toch makkelijker?	<i>Ik vind de parallelschakeling met deze makkelijker, want ik kan het letterlijk zelf voor doen. Ik kan zelf voor de klas staan en ik zet twee strepen neer. Dan kan ik twee gangetjes maken. Dan kan ik mezelf als voorbeeld nemen, want die veer hou ik dan wel vast. Hier heb ik veel energie, dat ding staat nog steeds te trillen. Daar is het minder. Het is wel voor allebei de gangetje hetzelfde verschil (doet het voor). Dus als ik hier sta (gaat staan). Ik heb hier twee gangetjes, dit pad en dat pad. Dit pad is al een lastige. Dit is de energie hier en de energie daar is zo (loopt buiten beeld). Voor allebei hetzelfde. Dus als ik hier sta te wiebelen, ben ik hier mijn energie kwijt. Alleen zullen hier heel veel van deze deeltjes heen gaan. Een paar zullen zeggen: 'nou ik pak een ander pad. Het verschil blijft hetzelfde. Het verschil in hoogte blijft hier en daar hetzelfde.</i>
Stel, je staat hier en je komt daar vandaan. Je kan zo hier naar toe en je kan zo (niet zichtbaar op beelden)	<i>Nou is het zo, als ik hier ben, heb ik deze energie. Zeg maar 1 m. Het watermodel. Hier heb ik deze. Als ik dit doe. Dus er zullen heel veel deeltjes zijn die dus dit doen en een paar deeltjes zullen hier staan.</i>
Die komen daar uit en die hebben dezelfde energie	<i>Er zullen weinig deeltjes dat pad kiezen</i>
Maar wat hier door heen gaat, dat wordt hier bepaald door de weerstand.	<i>Ja, door de deur</i>
Door de deur, maar die bepalen niet het energieverlies, maar het aantal elektronen	<i>Het aantal elektronen/ Als hier honderd deeltjes botsen, heb je honderd keer deze energie, honderd keer dit padje. Hier heb ik maar tien keer de energie. Dus hier heb ik honderd deeltjes die hun energie kwijt raken en daar heb ik maar tien deeltjes</i>
Dus het padje zelf geeft aan de breedte en daarmee	<i>Ja, zo doe ik dat.</i>

bepaal je het aantal elektronen.	
En als je dan verder komt, als je dan de basis hebt en verder komt, 3 havo of 4 have, 3 vwo, grijp je dan nog steeds terug op deze analogie	<i>Ja, dan gebruik ik vaak nog deze analogie. Als ik ze gehad heb, als ik ze gehad heb.</i>
Het is vaak terug grijpen op dezelfde soort redeneringen.	<i>Je weet wat ik nu gezegd heb, je weet dat de meeste energie verloren gaat in de grootste weerstand. Dus als ik een serieschakeling heb, zal de meeste spanning, de meeste energie, de meeste volts verloren gaan in het smalste pad en de minste energie gaat zitten in het brede pad. Ik heb dus minder spanningsverlies, minder energieverlies.</i>
Hij is wat mij betreft helemaal helder. Een inkoppertje bijna, maar je ziet dus duidelijk wel het voordeel in van de analogie.	<i>Ja, les 1 van didactiek. Ik vind dat kinderen zich moeten voorstellen. Ze moeten zich iets voorstellen. Het probleem is dat elke voorstelling mank gaat. Als je er heel diep op in gaat, gaat het mis, maar je moet je iets voorstellen en dat is, dat heb ik voor mezelf altijd gevonden, het wordt pas erg als ik me niets kan voorstellen. Dan houdt het eigenlijk op. Waarom is dat nu eigenlijk zo lastig? Omdat elke voorstelling eigenlijk een verkeerde voorstelling van zaken is.</i>
Leg dat maar eens uit	<i>Ja, wiskundig is het een apetruc. Hij beschrijft niet eens zo veel. Dus het moeilijke is, als je niet iets kunt voorstellen. Dus ik zelf heb ook een behoefte aan een analogie.</i>
Ik wil even terug naar die hydraulische. Want je zegt er zit iets in. Dat zit redelijk diep. Maar als je zegt: 'ik heb een analogie en daar komt iets uit waarvan de leerlingen zien dat het niet kan kloppen'. Dat zouden ze misschien kunnen zien, laat ik het maar zo zeggen. Hoe corrigeer je dat? Doe je dat gelijk?	<i>Dat is lastig hoor. Ik gebruik dan ook weer een truc op dat moment. Ik zeg dan: 'je weet wel het zijn geen, noem maar iets, waterdruppels, dat zijn het dus niet. In de praktijk blijkt en dan zeg ik wat er aan de hand is.</i>
Dan ga je het echt uitleggen?	<i>Nou uitleggen. Het is zo voor te stellen en je weet, bijvoorbeeld de stroomsnelheid, daar worden zelfs in de boeken fouten mee gemaakt, de stroomsnelheid in het watermodel in een smal stukje, wordt die nou groter of kleiner?</i>
Die wordt groter.	<i>Maar als ik naar een kring kijk, de hele stroom. Ik weet niet wat waar is. Ik weet niet of de elektronen in het brede stuik langzamer bewegen dan in</i>

	<i>een smal stuk. Ik weet het niet. Volgens mij bewegen ze even snel.</i>
Dat is inderdaad een mankement dat er bij zit.	<i>Daar worden in de boeken fouten mee gemaakt. De stroomsnelheid is voor mij overal hetzelfde, de bewegingssnelheid van de elektronen, maakt dat weet ik niet eens zeker. Want ze kunnen het niet meten. Die is overal hetzelfde in een kring.</i>
De stroom is hetzelfde, , maar de elektronen zelf bewegen natuurlijk veel langzamer	<i>Veel langzamer. En volgens mij is het zo dat de bewegingssnelheid van de elektronen in de hele kring, overal hetzelfde is. Daar zit gelijk een manco en als ze daar mee komen, want in een waterkraan is het wel degelijk dat waterdeeltjes die ergens door een smal stukje gaan, dan bewegen ze sneller.</i>
Klopt, dan zit daar dus een verschil.  Ben je je ook bewust dat bepaald taalgebruik tot fouten kan leiden. Ik noem bijvoorbeeld stroomverbruik. Thuis zeggen we ieder apparaat gebruikt stroom, iets wat natuurkundig gezien...	<i>Fout is.</i>
Ga je daar bewust mee om.	<i>Ik probeer er bewust mee om te gaan. Ik zal, als de leerlingen zeggen: 'wat is de stroomopstopping'. Dan zeg ik: 'wat zeg je nou? Dat roep ik dan wel elke keer bewust. Maar ik maak mezelf wel eens schuldig aan 'stroomverbruik' of laat ik het zo zeggen 'gebruik'. Ik ben me er wel bewust van.</i>
Ken je de analogie, mensen die het watermodel gebruiken, die zeggen als je water gaat pompen, dan zie je het water op gang komen. Dan zie je een echte stroom. Bij een stroomkring, zodra je de spanning gaat aansluiten, zie je de stroom door de hele kring gaan. Om dat uit te leggen wordt wel een gebruik gemaakt van de ...	<i>Balletjes, knikkertjes</i>
Die ken ik niet.	<i>Dan heb je een buis, een lange slang. Die vul ik helemaal met knikkers.</i>
Dan ga je de eerste duwen	<i>Dan stop ik er aan het begin 1 knikkertje in, dan komt er aan het eind automatisch 1 knikkertje uit.. Dat is het knikkermodel. Dan weten we dus,</i>

	<i>het is een onsamendrukbaar gebeuren. De buis is al vol met elektronen, is al vol met knikkertjes. Ik doe hier iets in, dan kot er daar een knikkertje uit. Dat is de analogie die ik daarvoor gebruik.</i>
Ik ken ook de analogie van een fietswiel. Als ik het wiel rond draai, draait het helemaal. Ken je die?	<i>Nee, die ken ik niet. Het knikkertjesmodel ken ik wel. Dat wordt vaak in de bovenbouw gezegd. Dat de bewegingssnelheid van de elektronen laag is, mm's per uur geloof ik, heel laag in ieder geval. Hoe komt het dan toch dat ik direct, al zou ik op kilometers afstand staan, dat er stroom is. Dan gebruik ik het knikkertjesmodel.</i>
Er zijn modellen die z`eggen dat als een analogie mank loopt, de beste manier om dat gelijk weg te nemen is niet zo zeer een correcte uitleg geven, maar een tweede analogie er over heen.	<i>Ik heb het net verteld hè? Ik gebruik het watermodel, de deurtjes. Ik gebruik verschillende analogieën om het aan te geven. Dan heb ik een voorkeur voor de deuren en het watermodel, voor het hoogteverschil.</i>
Heb je het idee dat je bij lagere klassen meer analogieën gebruikt dan bij hogere klassen?	<i>Ja. In de hogere klassen hebben ze het vaak in de lagere klassen al gehad. Dan grijp ik terug op het model dat ze gehad hebben. Dan zeg ik: 'weet je nog wel!'</i>
Maar dat is als ze een analogie al kennen, maar als je een nieuw onderwerp zou beginnen in een hogere klas, zou je dan ook met een analogie beginnen.	<i>Ja, dan zeg ik spanning. Je kunt het ook laten zien met je gezichtsuitdrukking. Kijk SPANNING (kijkt geconcentreerd) en in rust (kijkt ontspannen). Spanning-stroom en dan kun je dus met je gezichtsuitdrukking als woord gebruiken. Ik sta onder spanning.</i>
Heb je het idee dat de effectiviteit van analogieën bij lage en hoge klassen...Stel dat kwantummechanica gaat doen, daar kun je ook een aantal analogieën bij gebruiken. Denk je dat er bij lage en hoge klassen verschil in effectiviteit zal zijn.	<i>Ik denk het niet nee (heel stellig). Ik denk: 'zeker niet'. Dat stukje hoort er zeker bij. Alleen je moet dan zelf gaan zoeken. Deze heb ik dus paraat. Die gebruik ik dus heel veel en anders ga ik ze zoeken. Je kunt zo ook letterlijk bij profielwerkstukken geen analogie, maar een analogon. Dus dat je bij metingen een variabele gebruikt die de analogie weergeeft. Die kun je ook goed gebruiken. Dus dan pak je een meting die in principe, waar je iets aan meet die ook aangeeft wat in de praktijk met een ander ding gebeurt. Dat heet dus een analogon. Het is een meetovereenkomst.</i>
Ik snap wat je bedoeld. Wij richten ons meer op metafoor/analogie, een echte beeldspraak.	<i>Dat kun je dus ook in de bovenbouw gebruiken. Een analogon is dus waar je kunt meten aan een vergelijkbaar ding. Een voorbeeld dat me te binnen schiet is de 'dipping bird', die ken je misschien wel, de 'dipping bird'. Dat is een glazen dingetje, eentje. Die heeft een snaveltje met een viltje of iets dergelijks, waarop water verdampt. Als die met zijn bekkie in het water komt, gaat het verdampen, dan gaat het verdampende spul, het zal iets van tetra zijn of iets dat heel snel verdampt. Je hebt verschil in dampspanning. Dat gaat dan naar boven toe, want je wordt daar kouder, dus het wordt</i>

	<p><i>omhoog gezogen. Dan krijg je een verandering van zwaartepunt. Zwaartepunt komt boven zijn kantelpunt en val om. En dan stoot die weer terug. Het analogon is een metalen staaf, waarbij je het gewicht de eerste keer steeds omhoog plaats, waarbij de trilsnelheid gaat veranderen (beweegt zijn vinger heen en weer) naarmate het zwaartepunt naar boven gaat. Dus dat zwaartepunt ga je naar boven brengen en dan is er een steeds langzamere zwiep. Tot het moment dat het zwaartepunt te hoog is, dan slaat het om. Dan kun je dus een meting gebruiken als analogie voor iets dat ... Dat is een analogon en die zijn wat complexer. Als je daar goed mee omgaat zijn ze erg leuk om te doen. Dan kun je zelf meten. Dan kun je dus het gewichtje verplaatsen. Dan moeten zij iets doen, meten en dan komen ze op een verandering van eigenschap en dan zeg je: 'dat is in dat ding hetzelfde als daar'. Hier meet je het, daar is het wat spontaan gebeurt.</i></p>
<p>Volgens mij heb ik mijn vragen kunnen stellen. Ik dank u zeer. Ik heb nu weer les.</p>	

APPENDIX II – VERBATIM INTERVIEW D

<p>Een korte toelichting. Wij moeten een onderzoek doen. Een onderzoek van onderwijs. Een project dat ongeveer een half jaar duurt. Dat doe ik samen met twee anderen en het onderwerp is analogieën. Analogieën worden als heel effectief gezien, maar er zitten ook risico's aan vast. We willen weten welke analogieën worden toegepast, waarom kies je voor de een wel en voor de andere niet. Dat soort keuzes. Om het niet te breed te kiezen, je kunt natuurlijk heel veel analogieën toepassen, beperken we het tot het gebied van de elektriciteit. Dus de vraag aan jou is, op het gebied van elektriciteit, welke analogieën pas je toe.</p>	<p><i>Nou, laten we eerst eens met de stroomkring beginnen. Daarvoor heb ik verschillende varianten uitgetprobeerd of eigenlijk twee heb ik er uitgetprobeerd. Waar ik mee ben begonnen en die wel blijft hangen en die wel leuk is, dat is het verhaal van een bakkerij als spanningsbron en een bakkersjongen die de broodjes gaat rondbrengen. Ik weet niet of ik hem verder moet uitleggen, maar ik denk dat je de essentie kunt invullen. En dan dat er huisjes en straatjes bij horen en dat soort dingen.</i></p>
<p>En de straatjes zijn de weerstanden en de huisjes ... (ik wordt onderbroken)</p>	<p><i>De huisjes zijn de lampjes of de weerstanden en de straatjes zijn of parallel of uh de huisjes worden aan die straatjes gebouwd of er worden meer straatjes gebouwd en meer huisjes.</i></p>
<p>Hoie leg je dan op die manier uit het verschil tussen serie en parallelschakeling?</p>	<p><i>Bij serieschakeling heb de huisjes zeg maar op een rijtje staan, heb je rijtjeshuizen en kun je een rondje fietsen en dan wordt de energie eigenlijk bij elk huisje netjes verdeeld. Als je nou bij elk huisje evenveel mensen hebt wonen.</i></p>
<p>En hij geeft overal een brood af</p>	<p><i>Ja, hij geeft overal één brood af. En het andere is natuurlijk, als de eerste bewoner zeg 'ik wil geen mensen naast me', moet je een nieuw straatje aanleggen. Dan krijg je dus een T-splitsing en een nieuwe loop. Dan moet je dus twee bakkersjongens op uit sturen. Want ja, anders wordt het beetje ineffectief hè.</i></p>
<p>Ja het is een heldere.</p>	<p><i>Ja, dat is kort door de bocht één analogie. Ik ga hem dit jaar waarschijnlijk niet met gewoon bakkersjongens doen, maar</i></p>

	<i>waarschijnlijk met kabouters.</i>
Met de rugzak.	<p><i>Met de rugzakjes, maar ook wel met een bakkerij. Het fijne van kaboutertjes is, die dragen een puntmuts en dan kun je gelijk verklaren waarom het zo prikt aan je vingers als je een batterij houdt.</i></p> <p><i>Maar dat is minder serieuzere analogie. En een andere analogie die ik ook wel eens gebruikt, maar ik vind deze wel erg leuk want die andere staat vaak in de methodes zo, is degene die ze zelf ook al vaak verzinnen is die met een waterleiding. Maar ik heb wel eens het idee dat deze beter blijft hangen, omdat het verhaal wat grappiger is.</i></p>
	<i>Nou dat over de stroom kring denk ik.</i>
Ja, het is puur het feit dat je een gesloten kring nodig hebt	<i>Ja</i>
Prima, die snap ik	
Waarom gebruik je de waterleiding bijvoorbeeld niet. Vind je die minder?	<p><i>Ik vind zelf het verhaal van de bakkersjongen of die straks eventueel met de kabouters ga doen, daar zit een meer komische ondertoon in, zeg maar ook een beetje giechelen. Hij is aan de andere kant een beetje ouderwets. Waar wordt tegenwoordig nog brood rond gebracht. Ja in een aantal landelijke streken, maar hier al lang niet meer.</i></p> <p><i>Ik denk ook, ze kunnen zich allemaal voorstellen hoe het zit op een fietsje met wat brood en die mand en zo. Wat dat betreft staat een waterleiding dan misschien wel iets dichter bij een stroomkring, aan de ene kant, omdat je leidingen hebt in plaats van draadjes. Dat is wel duidelijk. Maar het is wat dat betreft ook, ja ze begrijpen het ook wel met water dat kan lopen, een rondje loopt, maar die andere, zeker met de humoristische ondertoon zal toch wat leuker zijn.</i></p>
In een draadje op zich heb je natuurlijk ook al een weerstand. Dat zit daar dan wat minder in.	<i>Ja weerstand zit daar inderdaad niet in, maar als ik over elektriciteit begin en dat ga ik na de vakantie ook doen, dan ik begin altijd eerst met de stroomkring en daarna het lampje en daarna ga ik pas uitleggen van weerstand. Dat is meestal een apart onderdeel en daar gebruik ik inderdaad wel een andere analogie voor. Dat kun je met die staat trouwens eigenlijk ook een beetje uitleggen, want je kunt uitleggen dat gewoon een geasfalteerde weg toch iets fijner fietst dan een modderweg. Een modderweg geeft dan meer weerstand. Weerstand geef ik ook vaak aan met als je een tuinslang hebt, doe ik altijd maar. Je knijpt het dicht, dan is het zo dat het er moeilijker door heen gaat.</i>
Je kunt ook bij dezelfde spanning een grotere stroom hebben. Dat leg je uit aan de hand van meer bezorgers die	<i>Ja, dat moet ik deze vakantie even voorbereiden. Nee, meer broden per bezorger.</i>

dan rondlopen.	
Ok, meer broden.	<i>Meer broden en het aantal bezorgers is de stroomsterkte. Want als je het parallel doet, verdubbelt in principe de stroomsterkte, maar niet de spanning. Je hebt dus meer bezorgers nodig, maar per bezorger heb je nog evenveel brood. En heb je het in serie zet, dan moet je de bezorger meer broden mee geven, maar het kan nog steeds met één bezorger.</i>
Ja	<i>Maar als ik daar mee begint, moet ik dat altijd even goed nakijken. En natuurlijk, zoals met deze analogie, houdt ergens wel een keer op.</i>
In feite zijn de bezorgers de elektronen.	<i>Ja en de broden zijn de energie die ze mee dragen.</i>
Precies	<i>En dat is ook je spanning natuurlijk, want spanning is een vorm van energieverschil, potentiaalverschil.</i>
De weerstand zeg je, doe je nog een keer apart in een aparte analogie.	<i>Ja vaak met een tuinslang of dat soort dingen en als ik het verhaal van de bakkerij vertel, kan ik ook met de modderweg en geasfalteerde weg gaan werken. Maar in dit geval is het gewoon, ze snappen ook dat als water door zo'n buis laat stromen (geeft met zijn handen afmetingen van een buis aan), dat het makkelijker gaat dan door een pijpje, waarmee je direct...het is natuurlijk hetzelfde idee.</i>
Ja, maar nu hebben we het over een pure weerstand, maar een lampje. Wat is dat in de analogie van de bakkerij.	<i>Daar gaat het al ..., wat ik al zegt, een analogie heeft maar een beperkte ding. Een lampje, een bakkerij geeft zijn brood af en daardoor kunnen de mensen eten, die hebben ook energie nodig. Dat zou je nog een beetje..., maar dat zou ik eigenlijk een beetje ver afdrijven.</i>
Dat wordt lastig met die analogie	<i>Ja ze weten een lampje heeft energie nodig, dat zijn die broden, net als mensen eten, zeg maar. Dat is allemaal wat verder afgeleid. Dat is natuurlijk met weerstand ook, dan genereert dat ook warmte. Daar verlies je ook energie. Dat kun je met de bakkerij ook minder goed doen. Een lampje zal beter weerstand meenemen.</i>
Als je dat soort haken en beperkingen ziet, probeer je dat dan.. Nou neem de tuinslang, bij de weerstand ga je naar de tuinslang, dan probeer je een andere analogie toe te passen. Is dat de manier waarop je het altijd probeert, met een andere analogie oplossen.	<i>Nee, ik vertel vooraf vaak aan het verhaal ook duidelijk dat ik een analogie ga gebruiken, maar dat het zo zijn beperkingen heeft. En ik probeer wel tijdens het verhaal duidelijk te stellen dat het niet hetzelfde is. Dat het verhaal tot op zekere hoogte klopt, als we dan ook echt verder gaan en als ze een beetje snappen wat spanning en stroomsterkte is, dat ze dan de analogie achter zich moeten laten.</i>



Dus van concreet ga je naar abstract	
Dit is vooral voor het eerste jaar. Als je verder naar de bovenbouw gaat, gebruik je dan nog andere analogieën. Val je dan terug op dezelfde analogieën.	<i>In principe in de bovenbouw gebruik ik die eigenlijk niet meer. Er ook een beetje van uit gaande dat ze elektriciteit in de onderbouw gewoon degelijk hebben voorbereid. En zeker ook omdat ze op havo en vwo het niveauverschil vrijwel nihil is. Legt er een beetje aan hoe ver je in de onderbouw gaat. Ze krijgen niet zo heel veel nieuws. En je hebt in de bovenbouw toch vaak al "betere" leerlingen, dus die zijn het abstracte al meer gewend (moet ook wel een beetje om die opmerking lachen). Dat hoop je dan altijd, maar degene die het echt niet kunnen, zitten er niet meer bij.</i>
Het lampje hebben we gehad. Warmteverlies leg je gewoon uit.	<i>Ja, warmteverlies met een soort lekkende kraan. Bij een bakkerij ken je het verlies ook uitleggen met broodkruimels. Maar wat betreft deze analogie, ik gebruik dat om het onderwerp een beetje op te starten op een vrij luchtige manier. En met stroomsterkte en spanning zo een soort beeld genereert en heel veel meer doe ik er niet mee. Dan ga je, het wordt ook een beetje zoeken: hoe kan ik nou dit ook nog in de analogie stoppen in plaats van ... Je kunt de analogie bijna als doel stellen in plaats van als middel. Het is gewoon een middel en niet een doel. Dus als je middel op een gegeven moment niet meer toereikend is, dan moet je iets anders proberen.</i>
Helemaal mee eens. Je bent in ieder geval wel bewust bezig met de beperkingen.	<i>Ja, zoals ik al zei, ik gebruik het vooral om het onderwerp op te starten. En daarna stoppen we daarmee. Kijk als ze een sommetje moeten gaan maken, gaan ze niet bakkersjongens en fietsjes tellen. An gaat het toch wel om ampères en volts. s</i>
Ja dat klopt. Dus eigenlijk hebben we jouw analogieën gehad, de manier waarop je er mee omgaat.	<i>Ja</i>
Dan stoppen we er mee. Dank je wel	

APPENDIX II – VERBATIM INTERVIEW E

<p>Wij doen een onderzoek naar analogieën en hoe analogieën gebruikt worden in het onderwijs. Een van de stappen die we in het onderzoek nemen is docenten interviewen om te vragen welke analogieën ze gebruiken en de manier waarop. Wij hebben daar een protocol ervoor geschreven en willen jou als proefkonijn gebruiken voordat we naar de echte docenten gaan.</p> <p>Jij zult de meeste tijd aan het woord zijn. Wij stellen open vragen.</p> <p>Kun je vertellen wat je ervaring is.</p>	<p><i>Dit is mijn 37e jaar als docent. De eerste 19 jaar als scheikunde docent en de 18 jaar erna als natuurkunde docent. Ik heb voornamelijk in de bovenbouw gewerkt. In mijn jaren als scheikunde docent ook wel in de onderbouw. Bij natuurkunde heb ik wel eens een 2e of 3e klas gegeven als het zo uitkwam maar dat was zelden.</i></p> <p><i>Ik heb maar 2 jaar echt alleen maar les gegeven. Daarnaast had ik andere functies gehad: 10 jaar decaan, conrector, beta- coördinator, roostermaker. Mijn lestaak was tussen de 12-16 uur. Op vwo bovenbouw.</i></p>
<p>Het interview is gerelateerd aan je natuurkunde ervaring. We beperken ons tot elektriciteit Gebruik je analogieën tijdens de les?</p>	<p><i>Ja, bij elektriciteit zeker.</i></p>
<p>Kun je voorbeelden noemen?</p>	<p><i>Het stromende water is een heel bekend voorbeeld dat je in de onderbouw kunt gebruiken. Heel veel methodes gebruiken die ook. En in de bovenbouw, als je er eenmaal mee bezig bent, kun je ook heel goed de kruiwagen of rugzakjes gebruiken met daarin de elektronen die allemaal energie bij zich hebben. Wat gebeurt er dan als ze door een lampje gaan. Verdwijnen de elektronen dan of gebeurt er iets anders? Nou dat soort analogieën gebruik je dan. De kruiwagentjes met daarin de knikkertjes is natuurlijk bij elektriciteitstransport en bij energie transport goed bruikbaar.</i></p>
<p>Je maakt onderscheid tussen onderbouw en onderbouw. Waarop baseer je dat verschil? Waarom?</p>	<p><i>In de onderbouw hebben ze het water verhaal al gekregen met de radiatoren en de buizen. Waarmee je serie en parallel kunt uitleggen. Dus dat is de basis die ze in de bovenbouw gaan gebruiken. En nu ga je meer in op wat is Volt, wat is Coulomb, wat is Ampère</i></p>

	<p><i>En als je dat hebt gedaan dan ga je dus die andere analogie gebruiken. Omdat, ja is mijn ervaring, werkt gewoon beter uiteindelijk.</i></p> <p><i>Als ze gewoon moeten weten: in een serieschakeling staan twee lampjes ieder op 6V staan en dus heb je een batterij van 12V nodig, dat gaat goed met die analogie. En als je een parallel schakeling maakt en ze allebei op 12V staan en dat mijn weerstand dan weer lager wordt, en er dus meer elektronen doorheen fietsen etc., dat gaat heel goed met die karretjes, of rugzakjes.</i></p>
In 3e klas leg je ook al parallelschakeling uit en dat kan prima met die waterstromen.	<p><i>Ja, in derde klas legt mijn collega dat uit met de water analogie, omdat je daar ook minder rekent. In de bovenbouw komt er meer rekenwerk bij kijken en ingewikkeldere schakelingen waaraan gerekend wordt. Heel vaak stuiten ze op 'hoe was het nou met de volt ook al weer'. 'er gaat drie volt doorheen. Als je dan kan duidelijk maken met die rugzakjes of karretjes dat dat dus de verkeerde opmerking is, die soms tot volstrekt de verkeerde ideeën leiden, dan heb je een hoop gewonnen.</i></p>
Hoe leg jij aan leerlingen uit dat 'het gaat er niet doorheen' maar 'erover heen' hoe doe je dat?	<p><i>Nou er komt bij zo een energie afnemend apparaat, komt een kruiwagen aan en in die kruiwagen liggen voor mij part pakketjes energie en dan ga je uitleggen we weten, zo een pakketje is een aantal elektronen, en dan kunnen ze zich heel goed voorstellen dat als er door het lampje gegaan is dat de energie in het lampje is gaan zitten en dus zit dat niet meer in de elektronen Dus de elektronen hebben de energie overgedragen aan het lampje. En dus komen ze zonder energie aan de andere kant van het lampje er weer uit. Dus terug in de batterij krijgen ze daar weer energie terug. En dan gaan ze weer opstap met die kruiwagentjes of rugzakjes. En dat loopt, heb ik gemerkt.</i></p>
In de bovenbouw rekenen ze meer. Hoe maak je de vertaalslag van de analogie naar het rekenwerk?	<p><i>Nou, als ze in die schakelingen zitten, laat ik ze voortdurend alles erbij schrijven. Dus ze moeten altijd een tekening maken en alles wat ze uitgerekend hebben moeten ze van ons erbij schrijven. Niet alleen het sommetje. Dus je hebt het schema getekend met ledje erin en weerstand en wat al niet meer. Ik heb nu uitgerekend hoeveel volt er is op deze plek, schrijf het er maar bij. En dan vervolgens in het seriedeel: hier staat 6 V, daar 3V, en de batterij is 12V, dus nog 3V ergens anders. Het gaat fout, het klopt niet, kun je dan terug analyseren. En dat loopt</i></p>
Heb je ook het idee dat behalve het rekenwerk, de leerlingen ook het concept elektriciteit, stroom, spanning e.d. erdoor gaan begrijpen?	<p><i>Ik denk het wel. In ieder geval dat ik terugkijk is dat ze het voor zich zien. Het zijn beelddenkers en die zien dan ook voor zich pakketjes gaan: daar gaat een zwikkie doorheen, daar gaat een zwikkie doorheen en als ze eruit zijn, zijn ze hun energie kwijt, of niet, omdat verderop nog meer afgeleverd moet worden. En dat zien ze dan ook. En ja hoe weten die elektronen dat? Dat is natuurlijk altijd de vraag. De elektronen weten het niet, maar het gebeurt. Zie het als gegeven. Oke, we zien het als gegeven.</i></p> <p><i>En dat is ook vaak, fenomenen. Jongens het is zo. En dan kan je proberen te verklaren waarom het zo is.</i></p>

Accepteren leerlingen dit?	<p><i>Ja. Ik zeg dan maak er gebruik van dat iets is zoals je het ziet gebeuren. Er is een model gemaakt en dat werkt. Laat maar iets vallen. Ook Newton kwam er niet uit. Het model <math>F_z = mg</math> werkt.</i></p> <p><i>Ik leer ze heel veel accepteren, dat je iets ziet, daar is een model bij gebouwd en dat werkt en dus gebruik het. Of het de werkelijkheid beschrijft is een tweede.</i></p>
Geef je ook duidelijk de beperkingen aan?	<i>Ja, dat doen we heel vaak.</i>
Ik neem aan dat dat voor een vwo leerling makkelijk te accepteren is dan voor een havo leerling?	<i>Nee, een havo leerling accepteert het sneller. Goed het zal wel. Een vwo leerling: "ja maar meneer hoe kan dat nou, ze staan hier in serie en als je een lampje neerzet raken die elektronen hun hele energie kwijt en zet je er een tweede achter, dan houden ze nog wat energie over voor de ander. Hoe kan dat nou?" Ga maar zoeken, probeer maar te achterhalen. Leuk onderzoekje, probeer maar.</i>
Zijn dat soort vragen voor jou een reden om de analogie niet te gebruiken omdat ze dus kennelijk een vraag oproepen?	<i>Nee. Die vraag vind ik leuk. Kom maar op. Als iemand vragen stelt over dit soort modellen dan ben ik daar blij mee.</i>
En als de vraag komt over een gedeelte waar de analogie niet past?	<i>Dan moet je het uitleggen vind ik. Of je geeft een opdracht: volgende les wil ik horen wat jullie allemaal gevonden hebben. Dan maak je er een expert opdrachtje van. Dat doe ik regelmatig. Mijn leerlingen vinden dit ook wel leuk om mij te vertellen wat ze gevonden hebben.</i>
Je gebruikt die analogie in de onderbouw en die in de bovenbouw. Is het ook altijd zo, of maak je ook wel een bewust een keuze om het niet te gebruiken?	<p><i>Soms schakel je weer terug naar het water. Dan komen die karretjes niet over, of die kruiwagentjes.</i></p> <p><i>Dan koppel je even terug. Weet je nog in de onderbouw, van het water? Dan kwam er zo een dikke pijp aan met warm water, dat ging naar die radiator en naar die radiator. Dat water moest zich verdelen, weet je nog? O ja, dat is waar. En dan kwam het samen. Was het nou meer of minder water? Even veel.</i></p>
Heb jij het idee dat als je een later komt dat die analogie is blijven hangen en dat het daardoor de stof beter is begrepen?	<i>Ja, als ik kijk naar de resultaten bij het hoofdstuk elektriciteit in de 5e, dan scoren ze daar altijd hele goede cijfers voor.</i>
Ze hebben dus echt meer kennis gekregen en niet alleen maar een trucje	<i>Het is een pittige toets van elektriciteit en stromen en die wordt over het algemeen best goed gescoord. Dus ik denk dat ze het onderwerp goed te</i>

geleerd	<i>pakken hebben.</i>
Heb jij het idee dat het beter begrepen wordt door de analogie of als ik het op een andere manier zou uitleggen dan zou het ook werken.	<i>Misschien is er een hele andere analogie die ook goed werkt. Ik heb er een paar jaar geleden gebruikt. Jeetje, die weet ik niet meer.</i>
Ken jij nog andere analogieën?	<i>Daar zit ik nu aan te denken. Het is dan een leerling die jou triggered. Die komt met een vraag. En dan is het o ja laat ik het een zo proberen. Heel vaak zijn het leerlingen die jou triggeren op analogieën.</i>
Ze komen dan met spontane denkbeelden of situaties?	<i>Ja. En dan ga je daarop verder en probeer je daar iets bij te verzinnen. Het is dan improviseren. Ja, dat doe je heel vaak.</i>
Je zegt dat gebeurt heel vaak.	<i>Ja, als er zo een vraag komt. Het water verhaal komt niet over, de kruiwagentjes zijn niet duidelijk, maar in hun vraag zit iets, waardoor je getriggered wordt.</i>
Het is dan niet zo dat je zo een spontane analogie onthoud en een jaar later gaat gebruiken.	<i>Nee, nee. Want op een of andere manier denk ik dat het water en de rugzakjes aan elkaar gekoppeld die lopen heel goed. En de leerlingen zeggen ook: ik snap hem.</i>
Is de koppeling tussen de twee analogieën belangrijk?	<i>Het zou zomaar kunnen. Ik heb er geen onderzoek naar gedaan. Op basis van ervaring denk ik dat het goed is. In de bovenbouw als het vastloopt kun je weer teruggrijpen op het water. Ik denk dat ze het in elkaar gekoppeld het goed doen.</i>
Je improviseert en het kan zijn dat je niet de consequenties kan overzien en dat je iets vertelt dat uiteindelijk spaak loopt. Overweeg je dat van te voren of zeg je nee de spontane analogie is belangrijk om mee verder te gaan.	<i>Het is op een moment dat die andere twee niet werken. De vraag loopt heel snel in je hoofd rond en dan ga je toch beginnen. En dan hoop je dat het goed gaat en meestal gaat het goed, omdat je zoveel ervaring hebt en zoveel dingen bij je hebt.</i>  <i>Oh, wacht even. Toen ben ik teruggeschakeld naar elektrolyse op de een of andere manier. Ze hadden bij scheikunde elektrolyse gehad. En hoe ging dat toen? Nou ja. In ieder geval kwamen we terug bij elektrolyse en redox reacties. En daar konden we mee aan de slag.</i>
Herken je in de vragen van de leerlingen dat ze de analogieën gebruiken?	<i>Ja ja, een deel van de leerlingen gebruikt het voortdurend, heel bewust om zichzelf voortdurend te helpen bij het oplossen van de vraagstukken. Omdat ze helemaal niet abstract zijn. Me het model, de analogie, kunnen ze het wel oplossen.</i>
Kunnen de leerlingen de analogie wel zelf vertalen	<i>Ja, daarom moeten ze het er iedere keer bijschrijven. Ze gebruiken de</i>

naar volt, en stroom.	<i>analogie om te rekenen en het antwoord schrijven ze in de schakeling.</i>
Hoe leg je in jouw analogie een weerstand uit en een lamp? Als je naar water analogie kijkt?	<i>Voor weerstand gaan we weer terug naar metalen, naar atoomstapeling. Over elektronen die zwakgebonden zijn en sterkgebonden zijn. Dan kom je heel er op het grensvlak van Na en scheikunde. Dan sta ik elektronen aan de ene kant erin te duwen en die komen er aan de andere kan weer uit. Wanneer gaat dat nou makkelijk en wanneer gaat dat nou moeilijk? En met water hetzelfde: een dunne pijp en een dikke pijp. Maar bij een buis heb je dun of dik en die zijn glad van binnen. En bij draden heb je, je hebt een dikke of een dunne draad en dan heb je nog een variabele. Moet ik heel hard duwen omdat de kanaaltjes heel dun zijn, en die elektronen worden alsmaar vastgehouden. Of minder hard etc.</i>
Een vergelijkbaar voorbeeld: mensen lopen door een gang en moeten allemaal door een deur.	<i>Maar wat je dan hebt is een draad waar in eens een knik in zit. Voor homogene draad van dezelfde dikte is mensen in een gang die door dezelfde deur gaan is dan niet reëel. Voor stroom door een homogene draad dan moet je denk ik de bindingen in een metaal rooster naar boven halen en dat hebben ze bij scheikunde al gehad.</i>
Zie jij de metaal roosters als een analogie?	<i>Nee, dat is geen analogie.</i>
Zien de leerlingen dit als een analogie?	<i>Ik denk het niet, want ze zien dat ze dat bij scheikunde hebben gehad als een model wat werkt en natuurkunde gaat er mee verder. Dat is een koppeling waarvan je gebruik maakt in Na. Daarom doe ik elektriciteit pas in de 5e.</i>
Dat duwen noem je dat een analogie?	<i>Ja, ik sta iets te doen. Hoe komt dat nou dat duwen? Wat is de drijvende kracht en waar komt die vandaan? En dan kom je weer terug bij het model.</i>
In het begin noem je twee analogieën Nu al pratende noem je er meer.	<i>Ja dat zei ik. In een les komt het gewoon los. Je hebt niet alles op papier staan.</i>
Hoe bewust denk jij na over het gebruik van analogieën?	<i>Heel bewust. Ja. Bij elk hoofdstuk heb je een aantal analogieën ter beschikking. In de loop der tijd ontwikkel je er meer naar aanleiding van vragen.</i>
Zijn er ook analogieën die je laat vallen omdat je merkt dat het leidt tot bepaalde misvattingen bij leerlingen?	<i>Ik heb geen idee. Vast wel. Het kan haast niet anders. Bij scheikunde weet ik er nog wel een paar.</i>
Je weegt dus af of je een analogie wel of niet gebruikt.	<i>Oh, ik gebruik er meestal niet een. Zoals bij elektriciteit gebruik ik er</i>

Wat zijn je afwegingen?	<i>twee.</i>
Gebruik je ook wel eens in een les op een bepaald onderwerp meerdere analogieën tegelijk: zo van deze stopt hier en dan gebruik ik een ander om dat uit te leggen	<i>Als ik zo terugkijk, dan heb je bij elk ingewikkeld onderwerp wel twee. En dan pak je er een, je favoriet, waarvan je denkt dat je leerlingen er het meest aan hebben. Maar soms moet je terug naar de andere.</i>
Denk je dat het feit dat je meerdere analogieën hebt het leerlingen helpt om te zien dat het een analogie is en niet precies hetzelfde.	<i>Dat roep je natuurlijk voortdurend. Jongens, dit is alleen maar om jullie een beeld proberen te geven van. Het is niet een wat we een model mogen noemen. Het is een analogie. Ik benadruk dit. Het is een truc, een ezelsbruggetje</i>  <i>Als je dat niet roept en niet voldoende duidelijk maakt, dan gaan ze de analogie geloven. Daar moet je mee oppassen.</i>  <i>Je hebt een favoriet en een back-up.</i>
Als je favoriet werkt dan ga je over op je back-up. Is het zo dat je ze aanvullend op elkaar gebruikt?	<i>Nee je gebruikt er maar een tegelijk, om geen verwarring te zaaien. En de paar die dan extra de ander nodig hebben, die neem je apart. Want als een bepaalde analogie werkt dan is het soms verkeerd om er een tweede analogie tegenaan te zetten. Leerlingen raken in de war. In Systematische gebruiken ze twee analogieën naast elkaar.: orgelpijpen en snaren Door er een iets anders te geven, en leerlingen te laten tekenen is het welk duidelijk.</i>  <i>Heel vaak is een analogie is een tekening maken en dat verduidelijkt.</i>
Je zei dat je bij scheikunde een analogie had laten vallen. Is dat om je daar de theorie niet mee kan uitleggen of ontstaan er misconcepten, of sluit hij niet aan belevingswereld van de leerlingen of ..wat is de reden?	<i>Meestal is het de belevingswereld. Als je het vast kan knopen waardoor ze iets beter zien. Dus je probeert analogieën met voorbeelden uit het dagelijks leven te vinden.</i>
Heb je gehoord over andere analogieën via netwerk, collega's etc.?	<i>Ik heb binnen elektriciteit nooit andere gehoord.</i>
Fietswiel.  Zowel het water als de kruiwagentjes leggen niet uit dat alles tegelijk in beweging	<i>Die ken ik niet.</i>  <i>Maar ik moet zeggen dat ik het opduwen gebruik in mijn analogie. Dus je duwt voortdurend door. Dus dat misconcept is er bij mij niet.</i>

gaat.	<i>Ik vind het wel een ingewikkelde hoor voor die kinderen.</i>
Fietsketting	<i>Die ken ik wel.</i>
Roltrap, stroom gaat door de batterij	<i>Wel een mooie, de roltrap. Bij scheikunde hebben ze al gehad hoe een batterij werkt en dus hoeft deze analogie niet bij mij</i>
Analogie met leerlingen in een klas met twee deuren. Waarbij je de weerstand verlaagt zodra je de tweede deur openzet.	<i>Dus dat is bij parallel schakelingen. Deze ken ik wel. Ik gebruik deze niet om aan te geven dat er twee verschillende weerstanden zijn bij twee verschillende metalen. Dan moet je weer teruggrijpen op de scheikunde. Wel analogie water door een ruwe en gladde buis in de onderbouw.</i>



APPENDIX II – VERBATIM INTERVIEW F

<p>Wij doen een onderzoek naar analogieën en hoe analogieën gebruikt worden in het onderwijs. Een van de stappen die we in het onderzoek nemen is docenten interviewen om te vragen welke analogieën ze gebruiken en de manier waarop. Jij zult de meeste tijd aan het woord zijn. Wij stellen open vragen.</p> <p>Kun je vertellen wat je ervaring is.</p>	<p><i>Ik heb een jaar in 3e (Nederlands) Na gegeven, drie jaar in de 2e TTO onderwijs en nu twee jaar op de internationale school Physics. Daarnaast geef ik al meer dan 10 jaar scheikunde les in onderbouw.</i></p>
<p>Het interview is gerelateerd aan je natuurkunde ervaring. We beperken ons tot elektriciteit. Welke analogieën gebruik je tijdens de les?</p>	<p><i>Nee. Ik zit er over na te denken, maar ik praat gewoon over elektronen, en spanning en parallel. Maar wel met weerstanden dan heb ik het wel dat je inderdaad door een drukke menigte moet of een rustig stukje, dat soort dingen. En ik gebruik ook de weg van de minste weerstand, net zoals mensen zijn, Maar dan houdt het wel op, denk ik.</i></p>
<p>Dus jij gebruikt alleen analogieën voor weerstanden. Is er dan een speciale reden waarom je het daar doet en niet zonder analogie doet?</p>	<p><i>Ja, omdat ze zich het wel beter voor kunnen stellen, heb ik het idee. Omdat ze dan voor zich zien hoe het daar van binnen aan het werk gaat. En je weet zelf ook wel dat als je door een drukke menigte gaat dan je dan langzamer bent en het kost je meer energie.</i></p> <p><i>Als er een splitsing is en je moet kiezen 'het gaat moeilijk' of 'het gaat makkelijk' dan pak je de makkelijke weg. Maar voor de rest gebruik ik geen analogieën. Ik pak het heel natuurkundig aan.</i></p>
<p>Ken je voorbeelden binnen de natuurkunde die je zou kunnen gebruiken?</p>	<p><i>Nee. Scheikunde is natuurlijk mijn vak. In natuurkunde onderwijs ik zoals het is.</i></p>
<p>Is het dan omdat je onbekend bent dat je geen analogieën gebruikt? Of omdat de leerlingen het helemaal niet nodig hebben. Het verwacht ze als ik het gebruik.</p>	<p><i>Dat ook niet. Maar ik heb het idee dat het wel gaat zonder analogieën. Het komt gewoon over. Tenminste ik hoop het. Het blijkt uit proefwerken dat het overkomt.</i></p> <p><i>Ik ken geen analogieën binnen Na. Het komt denk ik, want het is niet echt mijn vak. Ik probeer het zo goed mogelijk te geven en op het moment dat het niet lukt, dan ja, ga ik wel allerlei dingen erbij zoeken, maar dan is</i></p>

	<i>het wel echt zoeken.</i>
En dan doe je dat alleen als je bij een leerling of de klas merkt ze kunnen er niet bij, dan ga je	<i>Dan probeer ik het anders te gaan uitleggen. Kun jij analogieën noemen? Want ik kan er zelf niet bedenken.</i>
Zo is er een analogie met een fabriek waaruit auto's komen ....	
En een analogie met water en hoogteverschil ..	
En elektronen kun je zien als kabouters met kruiwagens. ....	<i>Ik vertel wel van de batterij dat dat niet vanzelf gaat en dat het niet zomaar gaat lopen. Maar niet gekoppeld aan een analogie, kabouters of zoiets.  Ik vind het wel grappig om ze te horen.</i>
Denk jij dat zo een analogie de leerlingen zal helpen of verwarren	<i>Ik denk dat het heel erg aan de leerling ligt en dat het voor sommige verhelderend werkt en dat de meer wetenschappelijke leerlingen die blokken het, die weten het zo wel. Die hebben dat niet nodig. En of het ze nou verwacht? Ik denk dat ze het voor zichzelf gewoon afblokken zeg maar.</i>
Als je kijkt naar je analogie met weerstanden: de drukke straat. Zie je dan ook dat leerlingen moeite hebben met terug te gaan naar de elektriciteit en juist in die straat blijven hangen en delen, concepten daarvan plakken op de weerstand?	<i>Dat weet ik niet. Op de havo zeg maar gaan ze toch veel meer met die regels aan de slag en dan wordt het echt rekenwerk. Dus dan laten ze de analogie weer los. Ze gebruikten het alleen om te snappen. Ze volgen dan de regels en vervallen daar in tijdens het rekenwerk. Waar ze erg veel moeite mee hebben.  De proefwerken zijn ook meer op het rekenwerk dan concepten en dus laten ze het gewoon los, volgens mij. Het was nuttig om te snappen en nu niet meer. En als ze het goed kunnen uitrekenen, dan vinden ze ook dat ze het snappen.</i>
Wat weet je over het analogie gebruik van jouw collega's?	<i>Dat weet ik ook niet. Nee, dat weet ik echt niet. Ik heb elektriciteit' ook niet veel behandeld.</i>
Welke spontane analogieën zie je bij leerlingen? Is dit niet zo als ....	<i>Nee</i>
Zou jij de analogieën die ik genoemd heb gaan gebruiken	<i>Ik denk het wel, toch zeker die met het water, die vind ik heel goed te begrijpen voor hun. En die fabriek met vrachtwagentjes vind ik ook wel</i>

in de toekomst?	<i>grappig. Ik moet wel nadenken hoe ik hem precies ga uitleggen.</i>
Zeg jij ook tegen de leerlingen waar een analogie spaak loopt?	<p><i>Hhm, nee, Ik denk dat ik het uitleg als een extraatje en dan gaan we weer verder, ja dat denk ik wel. Ik kom er wel op terug, want zoals in scheikunde bouwt alles op natuurlijk. Het is meer een hulpmiddel als het niet valt. En dan kunnen we er later altijd nog eens naar terug grijpen. Tuurlijk. Want dat helpt ze wel denk ik.</i></p> <p><i>En hoe pak jij dat dan aan met de vrachtwagentjes en weten wat je afzet bij ieder huis? Je moet er echt goed over nadenken. Anders krijg je verwarring en vragen. Het roept dan wel vragen op en ze gaan er wel over nadenken. Goh.</i></p> <p><i>Binnen scheikunde gebruik ik polymeren bijvoorbeeld het rijgen van een ketting met kralen. Binnen scheikunde gebruik ik wel steeds analogieën.</i></p> <p><i>Het zijn beide moeilijke vakken om te geven he.</i></p>

APPENDIX II – VERBATIM INTERVIEW G

<p>Wij doen een onderzoek naar analogieën en hoe analogieën gebruikt worden in het onderwijs. Een van de stappen die we in het onderzoek nemen is docenten interviewen om te vragen welke analogieën ze gebruiken en de manier waarop. Jij zult de meeste tijd aan het woord zijn. Wij stellen open vragen.</p> <p>Kun je vertellen wat je ervaring is.</p>	<p><i>Ik heb vijftien jaar leservaring waarvan 7 jaar bovenbouw en 15 jaar onderbouw. Ik geef havo en vwo les, onder en bovenbouw.</i></p>
<p>Het interview is gerelateerd aan je natuurkunde ervaring. We beperken ons tot elektriciteit. Welke analogieën gebruik je tijdens de les?</p>	<p><i>Ik gebruik water, kabouters met kruiwagens die dan de elektronen voorstellen en de spanning is dan wat er in die kruiwagens zit. Vrachtwagentjes om het idee helder te krijgen. Ik koppel energie vaak aan bewegingsenergie. Ik heb een paar keer gebruikt, maar dan word het te complex, met parallel dat ik over een supermarkt sprak en het aantal kassa's naast elkaar praat. Maar meestal raak ik ze dan kwijt, terwijl ik het een leuke parallel vond en was dan de enige die ervan stond te genieten. Verder probeer je wel eens te praten over het lichaam, dat je een hart als pomp en het bloed door de aderen en dan heb je ook splitsingen, en dan komt het ook terug en gaat het door de nieren. Dan heb je wel een bepaalde basis nodig en dus gebruik ik dat pas verder op. In de bovenbouw, maar ook in de 3e klas aan het eind, van goh misschien vind je dit geen leuk onderwerp, maar degene die een andere kant op willen, dit is waar je het ook gebruikt en dan zie je wel eens wat ogen opengaan 'oh dan kan ik het daar ook gebruiken, niet letterlijk dat je zo rekent, maar wel dat je de logica op meerdere plekken kunt gebruiken.</i></p> <p><i>En verder wordt vaak het verkeer gebruikt voor de weerstand van een draad: de smalle brug die dan voor weerstand zorgt. Deze gebruik ik zelf ook.</i></p> <p><i>Dit zijn de analogieën als ik ze zo moet noemen.</i></p>
<p>Het zijn er best veel die je gebruikt.</p>	<p><i>Ja. Meestal begin je dus met autootjes met wat erin en aan het eind komen de andere voorbeelden naar voren.</i></p>
<p>Ik kan me voorstellen dat als je het hebt over autootjes die</p>	<p><i>Wat ik meestal dan teken is een schakeling met twee lampen, en een batterij en dan daarnaast een knullige fabriek en daar komen</i></p>

in het verkeer rond gaan ..	<i>vrachtwagentjes uit en de lampen worden veranderd in huizen en dat zijn dan de afnemers. En dat is dan eigenlijk de parallel die je daarin probeert te trekken.</i>
Er komen dan wel auto's uit de huizen aan de achterkant.	<i>De auto's rijden er langs, want dat zijn de fabrieksbusjes en die hebben dus na het eerste huisje minder goederen of zand erin zitten en ze gaan dus leeg terug. De analogie daarin is dus dat je ziet dat de stroom blijft, maar dat wat de stroom rondbrengt dat dat weggaat en later kun je daar ook vermogen aan koppelen omdat dat spanning keer stroom is. Dus hoeveel krijg je nu per keer en als je nu veel auto's komen, dan krijg je dus meer. En ook als er meer in de auto's zit. Een andere stomme analogie is dat bij vermogen ik gebruik hoeveel boterhammen kun je eten in een uur. Hoeveel kun je in een bepaalde tijdseenheid opnemen, dus energie</i>
Als eerste noemde je water. Kun je die kort uitleggen?	<p><i>Je begint vaak met een waterval. Ja, je moet ergens beginnen. En dan heb je een sloot en die sloot kan splitsen en met name als je over weerstanden praat, kun je ook zeggen dat die sloot smaller of breder is en waar stroomt het water dan sneller of minder snel doorheen. En dat de totale stroming bepaald wordt door als er ergens een obstakel zit, dan gaat het ervoor niet sneller stromen, maar daarachter ook niet, dus dan praat je al snel over stroom. En stroming gebruik je ook om die reden om stroom te vertalen om dat het daar een beetje vandaan komt. Wat moeilijker is is om het hoogteverschil aan te geven en dat doe je dan door de waterval, om aan te geven dat is een hoogte verschil en hoe hoger, hoe harder het valt en daarom noemen we het spanningsverschil. Maar dat is een lastige om echt te pakken, om te duiden wat daar dan gebeurt.</i></p> <p><i>Analogieën zijn heel leuk aan een kant. Ik heb ook wel eens gedaan: ik doe geen enkele analogie en ik zeg gewoon dit is het en dat is het en dan ga je erdoor en pas aan het eind ga je iets doen. Ik doe het niet meer, terwijl niet mijn ervaring is dat dat negatiever was. Vaak was het wat..., want die analogieën geven ook verwarring. Want 'het was toch water?' of 'wat is het nu?' Dus je praat over elektronen, dan over water, dan over kabouters. Sommige leerlingen hebben dan "waar gaat het nu vandaag over?" Je kunt het dus ook loslaten.</i></p> <p><i>Als je het juist helemaal niet doet, dus gewoon basisbegrippen zonder dat daar kennis aan vast zit en daarna pas een koppeling er aanlegt is niet minder of beter en voor een bepaalde groep juist fijner. Het ligt ook aan de leerstrategie van leerlingen.</i></p> <p><i>Omdat ik het zelf fijn vind om het maar ergens over te hebben omdat anders.. Het is voor mij heel vervelend om te zeggen "stroom is I en is het aantal ampère, elektronen per seconde". Het is te droog voor mij. Soms zie je wel dat mensen ermee kunnen rekenen en vervolgens zeggen ik snap het niet, want ik kan me geen elektron voorstellen. Hoe gaat die dan door die draad? Ik zie ze toch niet? Er zijn dus mensen die keurig alles kunnen oplossen en beantwoorden en die geven aan "ik snap er helemaal</i></p>

	<p><i>niets van, want ik snap de analogie niet of ik snap niet wat stroom nu is. Ik heb er geen beeld bij". Het wordt vaak gezegd dat het meisjes zijn, maar het zijn leerlingen die compleet van de hoed en de rand willen weten voordat ze zeggen "en nu kan ik er ook mee knutselen". Terwijl als je ze dat van ze afpakt, dus als droge stof, dan maak je er een soort grammatica van Frans van, daarvan snapt ook niemand waar het over gaat, maar je kunt er wel mee de stappen doen.</i></p>
<p>Dus voor jou is de analogie de jus en zodat mensen zich er een beeld bij kunnen vormen.</p>	<p><i>Ja, en die noodzaak is er bij een deel van de groep. En die is er zeker bij mij. Maar zonder is niet minder en dat kan soms ook heel geruststellend zijn omdat je dan daarna zegt nou je hebt bijvoorbeeld de situatie met die weg en de supermarkt en daar kan ik de zaken ook gebruiken. Ik heb zelf ooit het idee met warmte uitleg gehad: boor een gaatje in de muur en hoe moet ik nou die weerstandswaarde van die muur interpreteren en dat je dan in een keer de overeenkomsten ziet. Dat is pas als je het systeem kent.</i></p>
<p>Je kan dus niet alle analogieën in het begin gebruiken?</p>	<p><i>Nee, je bouwt op. Je begint vaak met stroom en op het moment dat je bij serie en parallel aankomt dan begin je over autootjes te praten en op het moment dan het tekenen van de schakeling aan bod komt, met de elementen, dan is het vaak de fabriek met de autootjes. Die kun je naast elkaar tekenen. Want bij water zou je ergens een verdampend wolkje moeten tekenen, wat ergens weer neerregent. Dat maakt het lastig omdat je dan geen duidelijke kring hebt.</i></p>
<p>Als je naar die analogie met die autootjes kijkt en de fabriek zet zijn deuren open en die auto's gaan rijden, dan is de auto niet meteen bij de lamp en het lampje gaat wel meteen aan. Wat doe je dan? Als de analogie niet toereikend is.</p>	<p><i>Wat ik daarbij, en dat is ook weer een andere analogie. Dan praat ik over een regenbuis gevuld met knikkers en dat is dan de stroomdraad en op het moment dat je dan links een knikker erin stopt dan valt er op dat moment gelijk een knikker aan de rechterkant uit. Dus die koppeling maak je dan en dan kun je ook meteen, dat heb ik ooit wel eens verteld maar dan ga je dan teveel informatie geven dat die stroomsnelheid van die deeltjes is absurd laag, cm's per dag. Maar omdat ze zo ramvol zitten, het moment dat ik er een in duw op dat moment valt er een uit. En dat is een analogie. En dat gaat niet met die auto's want meestal teken ik er maar twee. Ze moeten dus eigenlijk kop-staart zitten. De vervolgstap daarover is dat en dat is de echt fundamenteel goede vraag is "ja maar hoe weet dat autootjes nou dat er zo twee of drie (huizen) komen." Nou er zit een vrachtbriefje bij dus ik ga twee huizen. "Ja maar hoe weet het elektron dat nu?"</i></p> <p><i>En dan krijg je een andere analogie. Stel nu je staat in de file, en hij gaat de hoek om dus je weet niet wat er aan de hand is, maar elke keer kun je 8 meter naar voren, en weer 10 min stil en dan weer 8 meter naar voren, dan weet je gewoon er is een stoplicht. Dus de informatie komt wel jouw</i></p>

	<p><i>kant op.</i></p> <p><i>Andere analogie. Stroom gaat van plus naar min en elektronen van min naar plus. En dat is raar. Dan wordt er vaak gezegd 'er was ooit een fout geweest en die hebben ze laten bestaan'. En dat is natuurlijk onzin. Want de energie gaat van plus naar min en die neemt af in die richting. Wat ik dan vaak probeer als analogie te geven. Er staat een rij mensen voor een pinautomaat en dan een persoon pint en de rij gaat naar voren. Als iedereen, de echte mensen iedere keer naar voren stapt, wat loopt er dan naar achter? Dan is het heel stil en dan komt er uiteindelijk een iemand of je moet het zelf zeggen: het gat gaat naar achter. Je hebt zelf elektronica gedaan, halfgeleiders dus je weet wat gaten doen. Dus dat wat er niet is, beweegt dan de andere kant op. Dus het maakt niet uit dat die elektronen, want die zijn min, en min de andere kant op, min en min is plus en dat geeft wat rust, omdat anders verwacht dat begrip. Je zou kunnen zeggen, laat idee elektronen weg en praat alleen over de stroom. Dus er zit bij dit onderwerp wel heel veel historisch materiaal, waarvan je zegt is alles nodig om alles te kunnen beantwoorden.</i></p>
Het wordt op ene gegeven moment behoorlijk complex en er komen vragen waar die analogieën geen antwoord op hebben.	<i>Dat is ook een nadeel van een analogie.</i>
Geef jij duidelijk aan dat analogieën niet meer passen?	<i>Ja, soms wel en soms ook niet.</i>
Is daar een bewuste keuze voor?	<p><i>Ja, omdat je, en ik heb er nu geen voorbeeld van, maar dan stop je ergens omdat je weet 'zo meteen gaat dit spaak lopen', omdat je dan met je analogie eigenlijk vastloopt. Want dan zegt iemand ik snap dit niet in de analogie en dan ga je alles over die autootjes zitten uitleggen terwijl dat niet het doel is. Het doel is dat je met de analogie snapt dat de stroom blijft en de spanning afneemt. Stel nou dat die auto verkeerd rijdt en dat zijn hele logische vragen en die kap je wel af omdat je anders degene die de vraag stelt een helder antwoord geeft, maar de vier ernaast zijn het weer helemaal kwijt, en ben je weer bij begin, dus kap je af.</i></p> <p><i>Eigenlijk is natuurkunde alleen maar analogieën die spaak lopen. Je krijgt versimpelingen. Daarom is quantum mechanica lastig en relativiteitstheorie lastig, daar stoppen de analogieën een beetje. En dan vinden we het vreemd. Eigenlijk leg je alleen maar dingen uit die je al weet. Je bouwt voort kennis en op het moment dat het compleet nieuwe is dan, wat moet je dan.</i></p>
Zoals jij zegt, sommige leerlingen snappen het en sommige leerlingen willen heel veel weten over de	<i>Die misconcepten doe ik weinig mee, omdat ik het niet erg vind als ze een tijd bestaan in de 3e, 4e, of 5e klas. Wat je ziet is dat het eigenlijk een tijdelijk instrument is dat mensen nodig hebben en dat uiteindelijk of wegzakt, of dat mensen gewoon dat als hun houvast houden. Dat ze in v6</i>

<p>analogie. Hoe vaak jij ervoor zorgt dat zij niet teveel gericht zijn op de analogie of dingen foutief terugkoppelen vanuit analogie naar elektriciteit en foute aannames nemen.</p>	<p><i>nog steeds denken en dan kruipen die dingetjes daar zo en die hebben dan iets bij. Het doel is dat die persoon gewoon het complexe probleem kan oplossen en als hij daar ene tussenstap voor nodig heeft, dat vind ik niet zo een probleem, want de symbolen I en U zijn ook op zich een analogie en een simplificatie van de werkelijkheid. Dat vind ik niet eens zo storend. Zelf heb ik ook dingen waarvan ik dacht dat ik ze snapte en ze pas begreep toen ik stond les te geven. En dat heeft bijna iedereen. Nu sta ik het drie keer uit te leggen, ik zeg hetzelfde, maar mijn begrip erbij is een hele andere geworden. Eerst was het een lege term en nu heb ik hem ingevuld. En dat die kwartjes niet vallen in mijn les, maar veel later, en dat mensen hun hele leven spanning en stroom met kabouters en kruiwagens voorstellen, als het in de communicatie helpt.</i></p>
<p>Ook als ze dingen foutief uit de analogie gaan halen?</p>	<p><i>Daar heb ik direct niet zo een ervaring mee. Het gebeurt wel. Ik test bijna nooit "wat gebeurt er met de stroom als.." Meestal is het in de vorm van een berekening. En als iemand daar een idee bij heeft gehad, maar vervolgens daar in zijn berekening keurig op uitkomt, dan weet ik niet welke ideeën erachter zaten. Als iemand een rekenfout valt, dan valt het me op.</i></p> <p><i>Er zijn leerlingen die dus bij mij een 9 halen, en er eigenlijk niets van begrijpen, alleen de analogie gewoon kunnen volgen en die toepassen en plakken op de wiskundige analogie en daarmee op een getal uitkomen wat wij ervaren als juist. Dit is wel heel omzichtig uitgelegd. Dus van eiland naar eiland, maar niet de rechtstreekse weg.</i></p>
<p>Jij noemt nu de wiskunde modellen als analogie. Is dat hoe jij het zelf ziet?</p>	<p><i>Ja. Dat is hoe ik nu tegen het vak aankijk, omdat tot 1500 heb je eigenlijk dat alles in de verhalenruimte werd gedaan. Die verhalen van Archimedes zijn geen van allen gebeurd. Ze zijn een soort sprookjes om, bepaalde mensen, iemand van 50 of ouder kan zo het hele verhaal vertellen en snapt dan dichtheid. Dat je in bad gaat zitten en dat je dan niet het hele bad tot de rand hoeft te vullen. Maar het is eigenlijk ene natuurkunde lesje in een verhaal. Nu wordt het uitgelegd met een berekening. Ik verwacht dat over een jaar of 6-7 dat we niet meer met taal werken, maar dat we met beelden gaan werken. Dus met animaties en dat iemand een animatie moet kunnen volgen. En dan kun je verder komen. Dus taal en ook wiskunde is een analogie. Een tijdelijk obstakel om tot snappen / begrip te komen.</i></p>
<p>Je hebt een heel arsenaal aan analogieën. Maak je bewuste keuzes wanneer je welke gebruikt?</p>	<p><i>Nee, niet in de vorm van "ik heb van te voren bedacht dat". Je begint een onderwerp en je merkt dat iets niet loopt en dan pak ik de voor mij op dat moment logische analogie die ik paraat heb. En dan kan het voorkomen dat ik achteraf denk, o nee ik had eigenlijk een andere analogie beter kunnen pakken want de volgende les wil ik dat doen. Dus ik heb een paar die ik gewoon gebruik, maar die van het menselijk lichaam die gebruik ik niet vaak. Vaak is het stromend water of de autootjes, of mensen in een straat, winkelend publiek. Het hangt soms af van wat naar boven komt en die gebruik je dan. Die buis met de knikkers komt niet altijd voor omdat er niet altijd naar gevraagd wordt. Als de</i></p>



	<p><i>vraag er niet is en het leeft niet, dan ga je niet iets extra's erin zetten wat niet tot meerwaarde leidt.</i></p> <p><i>Het klinkt als slechte voorbereiding, maar ik pak gewoon wat op dat moment te binnenschiet. En bij drie parallel klassen gebeurt het dus dat je op drie verschillende analogieën uitkomt. Op het moment dat je in de 4e klas begint dan begin ik vaak met een tekening heel droog van een stroomkring en zeg 'misschien heb je ooit over kabouters allerlei verhalen gehoord' en dan zie je de mensen lachen en dan weet je die zit erin en dan hoef je daar ook niet meer over te hebben en ga je meer naar de stof toe. Dan laat je hem eerst weg en begin je met herhaling. Het is een onderwerp dat in 2e, 3e, 4e, en dan 6e weer terug komt.</i></p> <p><i>Er wordt helaas minder aan historische context aan gedaan, wie is Volta etc.</i></p> <p><i>Als je bij v5 het elektrisch veld begint kun je spanning beter uitleggen. Het is in 3 en 4 een begrip. Pas met E-veld kun je er meer over zeggen. Het is ene soort arbeid, een soort energie. Voor de meeste leerlingen een lastig begrip en daar heb ik weinig analogieën voor. Behalve de bal die de helling oprolt, maar dan kijken ze je aan, want dat vonden ze al geen leuk onderwerp.</i></p>
Je moet dus wel opletten welke analogie je neemt. Zoals ook bij de kassa's.	<i>Ja, leerlingen kennen dit kennelijk niet uit eigen ervaring. Daardoor is het lastig.</i>
Heb je wel eens analogieën die je bij leerlingen ontdekt?	<p><i>Ja. Ik heb geen voorbeeld. Soms komen ze met voorbeelden van een docent die ze eerder hadden. Daar had ik veel aan, omdat je weet dat die werkt. Daar had ik kabouters met kruiwagens vandaan.</i></p> <p><i>Soms komen leerlingen wel met 'o werkt dat net als ...?' en soms vragen ze dingen die niet kloppen dus dan zit er een misconception.</i></p>
Zijn er analogieën die je nooit zou gebruiken?	<i>Ja, omdat ze niet kloppen.</i>
Dus dat is jouw maatstaf?	<p><i>Ja. Wat ik vaak vertel is dat Volta en Ampère snaptten er ook niets van en Coulomb. Dat is altijd leuk om te zeggen en heb je aandacht. Toen was het heel populair om stromingsleer te hebben, zeker in Nederland. Hoeveel water gaat er door een kanaal, en dan kan je kanaaltjes graven en daar waren ze in 1800 ook heel bedrijvig in en daarom hebben zij het ook stroom genoemd. En daarom spreken ze ook van serie en parallel. Het is een grote analogie, want zij snaptten het niet. En als natuurkundigen iets niet snappen, dan geven ze het gewoon een naam, zoals massa. Dit kan ik optillen, en da is lastiger op te tillen, dan noem ik dat een grotere massa. En zo ook met lading. Ik weet niet wat het is, maar het heeft wel effect. Laten we het dan maar lading noemen. Wat is dat dan? Het is een naam en daar houdt het begrip op. Als je vraagt leg</i></p>

	<p><i>uit wat is lading, dat is een hele stomme vraag, dan gaan leerlingen heel hard nadenken, terwijl ik het antwoord ook niet heb, want het is een naam en daar stop het. En we hebben de kleinst mogelijk lading en die noemen we e. Als je het vaak genoeg gebruikt, dan zegt het je iets, maar eigenlijk is het gewoon een beetje kolder.</i></p> <p><i>Massa en temperatuur zijn heel heldere begrippen voor leerlingen, totdat je erop in gaat.</i></p>
Ken je de fietsketting of een trein op een rails. Of een fietswiel.	<i>Nee.</i>
Geluidsgolven	<i>Die is wel leuk. Hij is langer goed. De energie verplaatst. Het is al wel abstract en dat kan in hogere klassen. Zij hebben het beeld. In huidige boeken staan de onderwerpen los van elkaar en dat is dan jammer. Want ze zien dwarsverbanden niet.</i>