

# “Meten, lij

Over domeinspecifieke

Leerlingen moeten zowel grafieken kunnen interpreteren als construeren. We zien vooral het interpreteren van grafieken terug in schoolboeken en eindexamens. Deze staan vol met grafieken. Het is de moeite waard te onderzoeken welke problemen leerlingen daarbij kunnen tegenkomen. Misschien krijgen we dan ook meer grip op de vraag hoe we ICT kunnen inzetten bij het interpreteren en construeren van grafieken.

## Grafieken en kwantitatieve gegevens

Met een grafiek<sup>1</sup> kunnen we patronen in verzamelingen van kwantitatieve gegevens *zichtbaar* maken. De redenen om dit te doen, kunnen verschillen. Eén reden is bijvoorbeeld om te kunnen zien óf en wat voor patroon er zit in een reeks meetgegevens. Een andere reden is om een door een verklaringsmodel voorspelde relatie tussen twee grootheden te laten zien. Door de twee soorten kwantitatieve gegevens in één Cartesiaans vlak uit te zetten, kunnen we zien of meetgegevens en verklaringsmodel met elkaar corresponderen (zie figuur 1). Dat lijkt eenvoudig, maar kan moeilijker zijn dan we denken. Wie kent niet de vraag van leerlingen of ze een rechte lijn door de meetpunten ‘mogen’ trekken of dat ze juist de punten met lijnen moeten verbinden. Blijkbaar is het verschil tussen empirische en theoretische kwantitatieve gegevens voor leerlingen niet zo duidelijk. Dat heeft te maken met twee struikelblokken in het biologieonderwijs. Ten eerste kunnen we niet alle biologische verklaringen onderbouwen met kwantitatieve gegevens. En ten tweede kunnen we niet zomaar zien wat er in een grafiek is afgebeeld. We moeten een grafiek *interpreteren*. We zullen wat dieper op deze twee struikelblokken ingaan.

## Verklaringen in de biologie en het biologieonderwijs<sup>2</sup>

Een causale verklaring is voorspellend. Juist daarom kunnen causale verklaringen experimenteel getoetst worden door de voorspelde waarden met de empirische waarden te vergelijken. Dergelijke experimen-

Grafieken nemen in het biologieonderwijs een voorname plaats in. Het is een middel waarmee een deel van de vakinhoud overgebracht wordt. Maar het lezen en interpreteren van grafieken is voor beginners veel moeilijker dan experts beseffen. Vooral het feit dat grafieken zowel gebruikt worden voor het weergeven van meetgegevens als voor verklaringsmodellen, levert problemen op.

# ntje trekken, klaar!"

expertise en het interpreteren van grafieken

Michiel van Eijck, Ton Ellermeijer, Martin Goedhart

teel toetsbare *proximale* verklaringen staan centraal in de fysisch-chemische onderzoekstraditie. Ze zeggen iets over *hoe* levensverschijnselen tot stand komen. Als we bijvoorbeeld een plant naar het licht toe zien groeien, kunnen we dat verklaren aan de hand van structuren en processen in die ene plant, zoals eiwitten, genen, hormonen en inductie. Proximale verklaringen hoeven niet noodzakelijkerwijs vooraf te gaan aan een meting. Het duurde bijvoorbeeld ruim veertig jaar voordat het typische patroon van een ECG kon worden verklaard.

Proximale verklaringen zijn in de biologie maar één kant van de medaille. Een ander type causale verklaring is de *ultieme* verklaring. Deze verklaringen zeggen iets over *waarom* bepaalde verschijnselen verlopen en zijn gebaseerd op historische reconstructies. In de biologie nemen ultieme verklaringen een centrale plaats in doordat de historische reconstructies samenhangen met de evolutietheorie. De evolutionaire verklaring voor het verschijnsel dat een plant naar het licht toe groeit heeft dus een heel ander karakter. Deze is kwalitatief en niet experimenteel toetsbaar. Ondanks dat een ultieme verklaring causaal is, is het vrij uitzonderlijk dat deze causaliteit zichtbaar gemaakt kan worden met het gebruik van een grafiek. Het veelvuldige en het ten aanzien van de causaliteit directe gebruik van grafieken komt bij het geven van ultieme verklaringen dan ook veel minder voor dan bij proximale verklaringen.

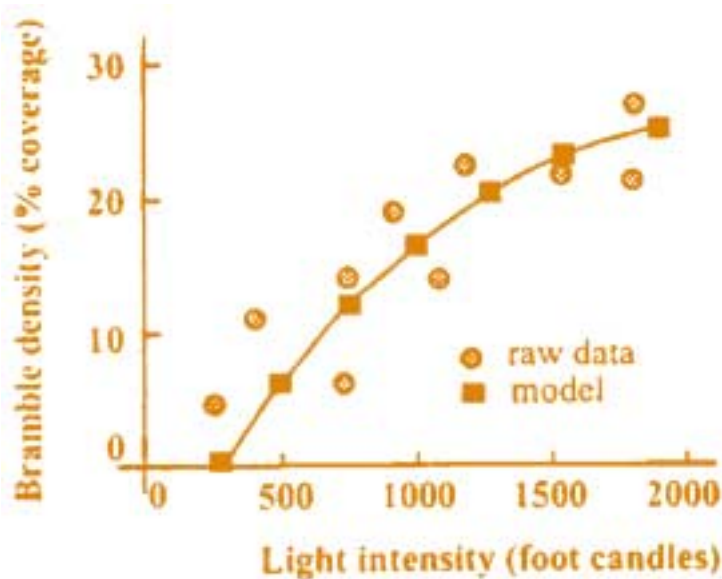
Uitzonderingen daargelaten worden grafieken vooral gebruikt bij het toekennen van betekenis aan proximale verklaringen en/of (eventueel toetsende) verzamelingen van kwantitatieve empirische gegevens. Een probleem is dat leerlingen neigen naar het geven van ultieme verklaringen (of daarop lijkende functionele of teleologische verklaringen) in plaats van proximale verklaringen voor levensverschijnselen. Zelfs wanneer leerlingen direct naar het *hoe* wordt gevraagd, stappen ze vaak spontaan over op het uitleggen van het *waarom*<sup>3</sup>.

Mogelijk hangt dit samen met het voor veel leerlin-

gen moeilijke kwantitatieve karakter van proximale verklaringen. Voor het biologieonderwijs is dit een serieus struikelblok. Want vooral bij het construeren en interpreteren van dergelijke 'lastige' verklaringen blijken grafieken krachtige hulpmiddelen te zijn.

## Grafieken in wetenschap en onderwijs

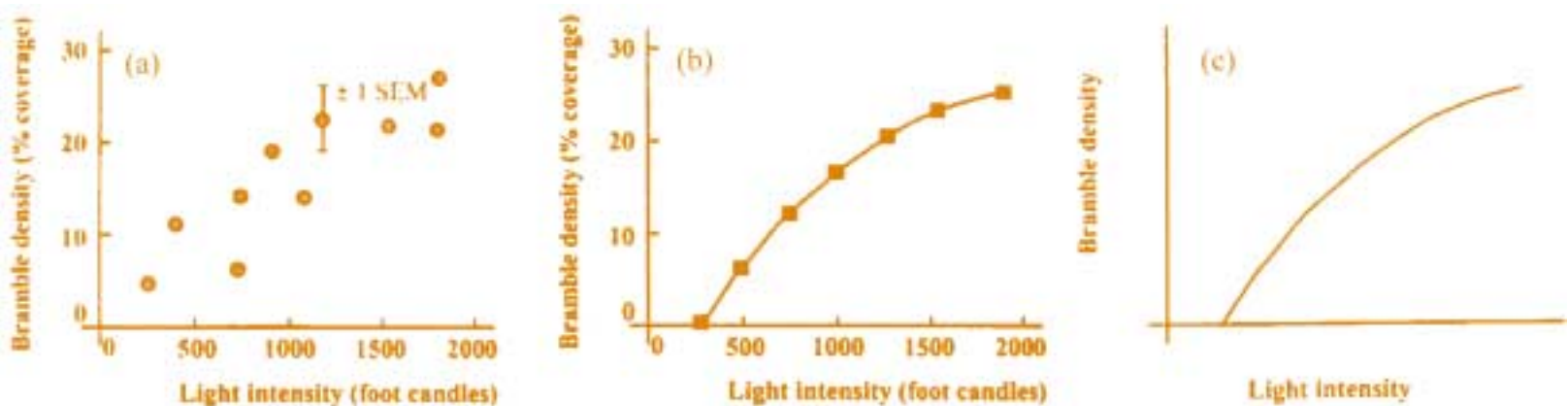
We zeiden zojuist dat grafieken krachtige hulpmiddelen zijn bij het toekennen van betekenis aan proximale verklaringen en/of (eventueel toetsende) verzamelingen van kwantitatieve empirische gegevens. Een tweede struikelblok met grafieken heeft te maken met de mate waarin het toekennen van deze betekenis ondersteund wordt door in biologieonderwijs gangbare grafieken. Een groep onderzoekers heeft dit onderzocht door grafieken in schoolboeken en wetenschappelijke tijdschriften met elkaar te vergelijken<sup>4</sup>.



Figuur 1

Empirische gegevens (raw data) en theoretische gegevens (model) uitgezet in één Cartesiaans vlak. In één oogopslag is te zien of meting en model met elkaar corresponderen

Figuur overgenomen uit Roth et al [1999], zie noot 4



Op basis van dit onderzoek kwamen ze tot een indeling van grafieken op grond van *graphing resources*. Dit zijn onderdelen van de grafiek, zoals assen, schalen, grootheden en eenheden en een legenda, waarmee een grafieklezer 'betekenis kan toekennen aan de lijn die de functionele relatie tussen grootheden weergeeft'. In de drie grafieken van figuur 2 is te zien hoe door een afname van *graphing resources* de ruimte voor verschillende interpretaties steeds groter wordt. De grafieklezer moet in toenemende mate *domeinspecifieke expertise*<sup>5</sup> gebruiken om de grafiek op juiste wijze te kunnen interpreteren en te kunnen aangeven wat is gemeten en/of welk verklingsmodel de grafiek weergeeft. Uit het onderzoek aan de hand van deze indeling bleek dat juist grafieken in schoolboeken doorgaans weinig *graphing resources* bevatten. Met andere woorden, schoolboeken gaan *a priori* uit van domeinspecifieke expertise die de leerling moet hebben om grafieken te kunnen interpreteren. Maar waar moeten ze deze expertise dan vandaan halen? Juist, uit dezelfde grafieken. Dat is vragen om problemen!

### Problemen met grafieken in methoden en centrale examens

Door een gebrek aan *graphing resources* krijgen leerlingen een onsamenhangend beeld van zowel verklingsmodellen die met grafieken samenhangen als van de functie van grafieken in het tot stand komen van verklingsmodellen. We hebben deze hypothese getoetst door 48 vwo-leerlingen van drie verschillende scholen een reeks schriftelijke vragen over grafieken voor te leggen. Deze grafieken worden algemeen gebruikt bij het onderwerp *hart en bloedsomloop*, waarover de leerlingen in hetzelfde schooljaar nog les hadden gehad. Ze kenden de meeste grafieken dus al. Alhoewel, de resultaten

### Figuur 2

Eén bepaald verschijnsel, namelijk een verband tussen lichtintensiteit en dichtheid van braamstruiken, kan op verschillende manieren worden weergegeven met grafieken. In de reeks (a) tot en met (c) nemen de *graphing resources* af, waardoor het voor een lezer steeds moeilijker is het verschijnsel te reconstrueren waarop het verklingsmodel is gebaseerd

Figuur overgenomen uit Roth et al. [1999], zie noot 4

van het onderzoek laten zien dat *kennen* een relatief begrip is. We zullen hier enkele kenmerkende voorbeelden geven.

Het eerste voorbeeld gaat om een grafiek van een elektrocardiogram (ECG) uit *Nectar vwo bovenbouw biologie 2, deel 1* (figuur 3). Deze grafiek is afgeleid van de meting van potentiaalverschillen tussen verschillende delen van het lichaam gedurende de tijdsduur van een hartslag. Een aantal *graphing resources*, zoals assen, schalen, grootheden en eenheden, ontbreekt en de lijn is gestileerd. We hebben leerlingen gevraagd wat er is gemeten, dat wil zeggen,



31 Elektrocardiogram

### Figuur 3

Elektrocardiogram uit *Nectar vwo bovenbouw, biologie 2, deel 1*

grootheid	horizontale as		verticale as	
		tijd	38	potentiaal verschil
	geen antwoord of ?	6	spanning	6
			elektrische activiteit	17
			elektrische signalen	1
			druk	5
			stroom	4
			elektriciteit	3
			impulsen	1
			P, Q, R, S, T	1
			geen antwoord of ?	6
eenheid	ms	7	mV	4
	s	22	V	6
	MS	1	$\mu$ V	1
	tienden van seconden	1	$\Delta$ V	1
	geen antwoord of ?	16	Ma	1
			mA	4
			a	1
			A	1
			N	1
			joule of watt	1
		Pascal	1	
		kPa	1	
		geen antwoord of ?	21	

**Tabel 1**  
Antwoorden van leerlingen op de vraag welke grootheden en eenheden zijn gemeten bij figuur 3

welke grootheden en eenheden bij de assen horen te staan. Hun antwoorden lopen nogal uiteen (zie tabel 1). Dit weerspiegelt de interpretatieve ruimte die de grafiek toelaat.

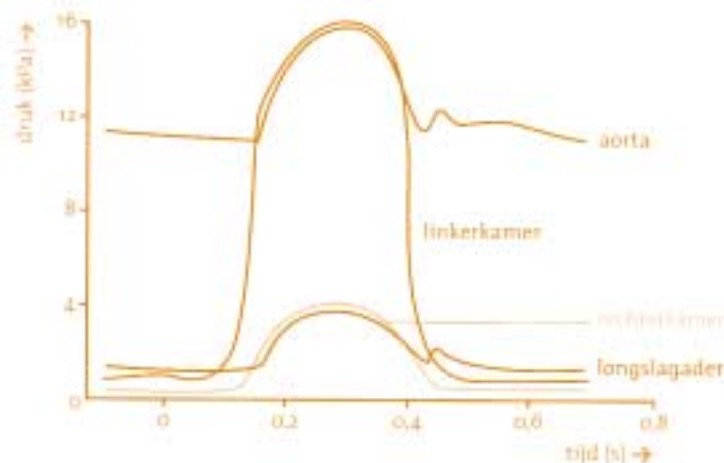
De meeste antwoorden liggen in de sfeer van elektriciteit en druk. Dit zijn grootheden die beide met het hart en de bloedsomloop te maken hebben. Gaan we alleen van de grafiek uit, dan zijn veel antwoorden van de leerlingen eigenlijk correct. Aan de grafiek is bijvoorbeeld niet te zien of er kV, V of mV wordt gemeten. Het is dus domeinspecifieke expertise waardoor we weten wat er gemeten is en op grond waarvan we mV boven V of kV prefereren. Een aantal leerlingen ontbreekt het aan deze domeinspecifieke expertise en ze grijpen (terecht) terug naar de tekst behorende bij de grafiek, waarin de grootheid 'elektrische activiteit' genoemd wordt. Kortom, ondanks dat de leerlingen de grafiek eerder hebben 'gehad', kunnen we er niet vanuit gaan dat het hun duidelijk is wat er precies gemeten is.

Het tweede voorbeeld gaat om het *Wiggers* diagram uit de methode *Biologie voor Jou vwo B2, deel 3* (figuur 4). Deze grafiek is een grafische voorstelling van een verklaringsmodel voor drukgerelateerde verschijnselen in en om het hart. De grafiek wordt gewoonlijk op één tijdas samen met een ECG en een grafiek van de harttonen afgebeeld. Daarmee wordt het verloop van de drie verschillende hartgerelateerde fysiologische grootheden (geluid, druk en spanning) getoond, waartussen Carl J. Wiggers (1883 - 1962) een verband aantoonde. In de methode wordt niet duidelijk gemaakt hoe en met welk doel deze grafiek tot stand is gekomen. De grafiek wordt gebruikt als een *gegeven* aan de hand waar-

van vragen worden gesteld. We hebben leerlingen over deze grafiek verschillende vragen gesteld om een idee te krijgen hoe samenhangend de informatie is, die ze uit een complexe grafiek als deze *kunnen* halen.

Als eerste hebben we leerlingen gevraagd aan te geven hoe een dergelijke grafiek tot stand is gekomen. De meeste leerlingen geven dan als antwoord dat de grafiek een meting is: "Gewoon: meten, lijntje trekken, klaar." Of ze geven spontaan een verklaring voor de patronen in de grafiek. Slechts een enkele leerling noemt de functie van een dergelijke grafiek als communicatiemiddel van een verklarings-

Afb. 43. Het drukverloop in de hartkamers en in de aorta en de longslagader vlak voorbij de halvemaanvormige kleppen.



**Figuur 4**  
Wiggers diagram uit *Biologie voor Jou vwo B2, deel 3*

model: "Men heeft jarenlang onderzoek gedaan aan het hart en een van de resultaten is deze grafiek." Hieruit blijkt dat de meeste leerlingen een onsamenhangend beeld hebben van de functie van dit soort grafieken. Het ontgaat hen dat deze grafiek iets laat zien dat meer is dan een meting alleen.

Als tweede hebben we leerlingen gevraagd *hoe* het komt dat de lijn van de aorta ver boven de lijn van de longslagader ligt. Hiermee wilden we te weten te komen of ze dan een *proximale* verklaringen geven en van welke kwaliteit deze is. De meeste leerlingen gaven een soort ultieme verklaring als antwoord. Ze gaven dan bijvoorbeeld aan dat de aorta het hele lichaam van bloed moet voorzien en dat daarvoor meer bloeddruk is vereist. Dit is op zich geen onjuiste verklaring, maar dit geeft aan *waarom* dat verschil in druk er is, in plaats *hoe* dat verschil in druk tot stand komt. Slechts enkele leerlingen waagden zich aan een proximale verklaring. De meeste leerlingen gaven dan niet het antwoord dat van een vwo-er verwacht mag worden, namelijk dat de (meer gespierde) linkerkamer meer kracht op het bloed uitoefent dan de rechterkamer. Uit veel antwoorden bleek daarentegen dat de verklaringsmodellen van leerlingen fysisch, chemisch of anatomisch gezien onsamenhangend zijn, zoals: "Het bloed is daar (in de longslagaders) nog heel erg zuurstofrijk" of "Omdat de longslagader aan het eind van de 'rit' zit."

Bij een grafiek als het Wiggers diagram hoort een complex, multicausaal proximaal verklaringmodel. Dat kan alleen goed overgebracht worden door grafiek en tekst goed op elkaar aan te laten sluiten en in de tekst in te gaan op de grootheden en eenhe-

den die in de grafiek zijn terug te vinden. In het voorbeeld dat we hier gaven, is dat allerm minst het geval. Het is dan ook niet verwonderlijk dat leerlingen terug grijpen op evolutionaire verklaringen modellen die niet *kwantitatief* van aard zijn. Leerlingen kunnen dan de patronen verhalend verklaren en hoeven niet in detail in te gaan op de weergegeven grootheden. Het is een uitstekende strategie om toch iets zinnigs te kunnen zeggen over een grafiek met weinig *graphing resources*.

Leerlingen *leren* niet alleen biologie aan de hand van problematische grafieken. Ze moeten ook grafieken kunnen interpreteren wanneer hun kennis *getoetst* wordt. Ook dit kan problematisch zijn. We hebben namelijk geconstateerd dat veel grafieken in de centrale examens onvoldoende graphing resources bevatten, uitgaande van de domeinspecifieke expertise die van een eindexamenkandidaat verwacht mag worden. Uiteraard komt dit het onderscheidend vermogen van de centrale examens ten goede, maar we vragen ons dan wel af wat voor onderscheid er dan tussen leerlingen wordt gemaakt. Want zelfs met voldoende domeinspecifieke expertise zijn sommige grafieken volstrekt onbegrijpelijk. Welke grootheid is er bijvoorbeeld op de horizontale as van de grafiek in figuur 5 uitgezet? Is het stroomafstand? Wat moeten we ons dan voorstellen bij de drukvariaties *in* de linkerhartkamer?

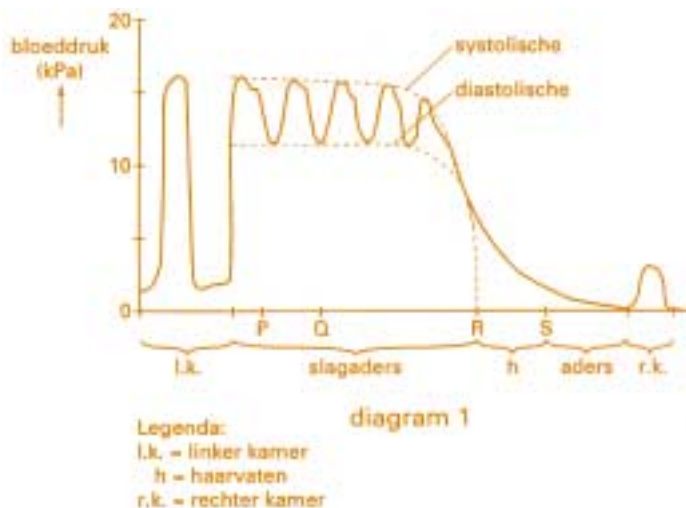
We denken bovendien dat de hier geschetste problematiek zich niet alleen beperkt tot grafieken. We hebben geteld hoeveel verschillende grootheden er in het curriculum van het vwo biologie genoemd worden en dat bleken er 140 te zijn. Deze grootheden zijn in schoolboeken niet alleen terug te vinden in grafieken, maar ook in tabellen en formules. Ook hier kunnen we ons afvragen hoe interpreteerbaar dergelijke *representaties* van verklaringmodellen en/of verzamelingen kwantitatieve gegevens voor leerlingen zijn.

### Gevolgen voor biologieonderwijs

We hebben geconstateerd dat sommige grafieken moeilijk te interpreteren zijn. Dit maakt het voor leerlingen moeilijk om de (toch al moeilijke) verklaringmodellen en de verschijnselen te construeren die erachter schuil gaan. Afgezien van het mogelijke gevolg dat leerlingen zo veel kennis niet opnemen, kan dit meer gevolgen hebben.

Eén variant van grafiekgebruik maakt de functie van grafieken alleen maar minder helder. In de huidige schoolboeken maken grafieken vaak deel uit van

**Figuur 5**  
Grafiek uit het  
centraal examen  
vwo biologie 1996  
(eerste tijdvak)





opdrachten. Er wordt dan de vraag gesteld een patroon in een grafiek te verklaren. Het interpreteren van moeilijk interpreteerbare grafieken is dan een onderdeel van een opdracht. We vragen ons af welk doel een dergelijke opdracht dan dient. Deze vraag is sinds de invoering van de tweede fase actueler dan ooit. Leerlingen werken namelijk zelfstandiger met methoden. En gezien het grote aantal grafieken in bijvoorbeeld het hoofdstuk 'hart en bloedsomloop' kan een docent niet alle grafieken bespreken met de leerlingen. Genoeg reden om aan te nemen dat dergelijke opdrachten kunnen leiden tot frustratie en teleurstelling.

Een ander gevolg is dat leerlingen niet leren inzien dat grafieken in hun schoolboek meestal niet tot stand komen aan de hand van één of enkele metingen. Gaan leerlingen dan zelf onderzoek doen, bijvoorbeeld bij het profielwerkstuk, dan kan dit veel frustratie teweeg brengen. Leerlingen krijgen namelijk uit hun metingen meestal helemaal niet zulke 'mooie', gestileerde grafieken. En bovendien kunnen ze aan hun grafieken van metingen niet zo veel wetenschappelijke betekenis toekennen als aan de grafieken in hun schoolboeken wordt toegekend (zoals bijvoorbeeld aan het Wiggers diagram).

Uit verschillende studies is gebleken dat leerlingen die hoog scoren in wiskunde doorgaans ook hoog scoren in biologie<sup>6</sup>. Dat is logisch. Biologie is tenslotte een bètavak. Maar er is geen reden om het voor leerlingen die niet zo sterk zijn in de bètavakken nog eens extra moeilijk te maken. Want dan heeft het vage gebruik van grafieken tot gevolg dat de zwakkere leerling van goede wil niet inziet waarom het vak biologie zo moeilijk is. En dat is erg demotiverend.

### Naar een samenhangende didactiek

De hier geschetste problematiek is volgens ons diepgeworteld in het biologieonderwijs. Het heeft te maken met de vaardigheid van biologen (en waarschijnlijk ook van biologiedocenten) om met gefragmenteerde en onvolledige informatie toch nog samenhangende kennis te kunnen construeren. En biologen kunnen onderling uitstekend communiceren met moeilijk leesbare en schetsmatige grafieken! Maar we kunnen niet van leerlingen verwachten dat zij dat ook al kunnen. Als we dan al een dergelijke vaagheid in de vakinhoud accepteren, dan moeten we leerlingen daar behoorlijk mee leren omgaan. We pleiten daarom voor een didactiek waarin grafieken op een samenhangende manier worden gebruikt.

Enige tijd geleden zijn we op het AMSTEL instituut begonnen aan het ontwerpen van een lessenserie als voorbeeld van een dergelijke didactiek. Om leerlingen op basis van grafieken complexe multicausale proximale verklaringen te laten construeren stellen we een aantal eisen onze lessenserie. Ten eerste willen we bereiken dat zowel de verklaringen als de te verklaren verschijnselen betekenis hebben voor leerlingen. Ten tweede moeten leerlingen de verklaringen kunnen construeren met gebruik van begrippen die ook betekenis voor ze hebben en die ze kunnen hanteren. En, ten derde, omdat proximale verklaringen en de begrippen waarmee leerlingen moeten werken, vaak kwantitatief van aard zijn, moeten leerlingen onderwezen worden in het kwantificeren van verschijnselen waarbij grafieken als communicatiemiddelen worden ingezet. Maar, ten vierde, dit kwantificeren moet daarbij geen doel op zich worden.

Om het onderwijs aan deze eisen te laten voldoen, hebben we geprobeerd in onze lessenserie een aantal strategieën te verenigen. Leerlingen ervaren bijvoorbeeld zelf verschijnselen en verkrijgen daaruit empirische gegevens door metingen aan de verschijnselen te doen. Daarbij benadrukken we de rol van grafieken als communicatiemiddelen. En om niet te verzanden in het meten als doel op zich, hebben we ervoor gekozen te meten aan hart en bloedsomloop met behulp van ICT. Binnen dit domein kunnen leerlingen bijvoorbeeld met *Coach* snel en eenvoudig empirische gegevens verkrijgen (denk bijvoorbeeld aan een ECG)<sup>7</sup>. Bovendien kunnen zowel de gemeten verschijnselen als de verklaringen betekenis voor leerlingen krijgen door te laten zien hoe en waarvoor ze worden toegepast in de geneeskunde. **n**

Inmiddels zijn we de lessenserie *Metan aan je hart* aan het uitproberen. We hopen dat dat zal bijdragen aan meer inzicht in het consistent omgaan met grafieken in het biologieonderwijs.

Met dank aan:

Lidy Bolsman (Montessori Lyceum Amsterdam)  
Hans Schoonheim (Barlaeus Gymnasium, Amsterdam)  
Vincent van der Spek (Amstel Lyceum, Amsterdam)

MICHEL VAN EIJCK, TON ELLERMEIJER EN MARTIN GOEDHART ZIJN WERKZAAM BIJ HET AMSTEL INSTITUUT VAN DE UNIVERSITEIT VAN AMSTERDAM. CORRESPONDENTIE OVER DIT ARTIKEL KAN VIA MEIJCK@SCIENCE.UVA.NL

### Noten

- 1 In dit artikel gaan we in het bijzonder in op de Cartesiaanse grafiek, dat wil zeggen de grafische voorstelling van de relatie tussen twee grootheden.
- 2 De in deze paragraaf sterk samengevatte wetenschapsfilosofie over verschillende soorten verklaringen in de biologie is gebaseerd op Mayr, E. (1997) *This is Biology, the science of the living world*. Cambridge, Massachusetts: Belknap Press.
- 3 Abrams, E., & Sutherland, S., and Cummins, C. (2001) The how's and why's of biological change: how learners neglect physical mechanisms in their search for meaning. *International Journal of Science Education* 23 (12): 1271-1281.
- 4 Roth, W.-M., Bowen, G. M., & McGinn, M. K. (1999) Differences in graph-related practices between high school biology textbooks and scientific ecology journals. *Journal of Research in Science Teaching*, 36 (9): 977-1019.
- 5 *Domeinspecifieke expertise* bestaat uit kennis, vaardigheid en ervaring die specifiek samenhangt met een bepaald domein van een schoolvak. Een voorbeeld van zo'n domein is het in dit artikel besproken domein *hart en bloedsomloop* van het schoolvak biologie.
- 6 Marsh, J.F. & Anderson, N.D. (1989) An assessment of the quantitative skills of students taking introductory college biology courses. *Journal of Research in Science Teaching* 26(9): 757-769.
- 7 Van Eijck, M.W., Goedhart, M., & Ellermeijer, T. (2002) *Metan aan hart en bloedsomloop met Coach... en dan?* *NVOX* 27, 1, 3-7.