

Gebruik geschiedenis bij het natuurkundeonderwijs!

R.J. Genseberger

Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht

Inleiding

In de natuurkundendidactiek van de laatste vijftig jaar, was het niet vanzelfsprekend om geschiedenis bij het natuurkunde onderwijs te gebruiken. Maar een enkele methode besteedde er wat meer aandacht aan, het bleef doorgaans bij het noemen van wat namen. Bijvoorbeeld dat Boyle in de 17^e eeuw de gaswet ontdekte.

Geschiedenis verdient echter veel meer aandacht in de didactiek dan het doorgaans krijgt. Het is mijn ervaring dat het een belangrijke rol kan spelen bij het aanpakken van twee grote problemen in het natuurkundeonderwijs:

- A. Weinig leerlingen zijn geïnteresseerd in natuurkunde**
- B. De begripsvorming van natuurkundige concepten**

Voor ik u mee neem naar mijn ervaringen met het gebruiken van geschiedenis in het natuurkundeonderwijs wil ik eerst kort stilstaan bij deze twee problemen.

A. Weinig leerlingen zijn geïnteresseerd in natuurkunde

Dit probleem heeft vele oorzaken. Enkele daarvan krijgen al sinds lang veel aandacht zoals: meer interesse opwekken voor beroepen waar bèta voor nodig is, meer uitgaan van toepassingen van wetenschap en techniek in het onderwijs.

Er is echter ook een oorzaak van de geringe interesse die weinig aandacht krijgt, maar waar we wel allemaal mee te maken hebben. Ik wil een citaat voorlezen van een leerling, Hilde, die goed beschrijft wat ik bedoel. Ze had een exact vakkenpakket gevolgd op het vwo, maar is daarna Nederlands gaan studeren. Ik citeer:

Toen ik besloot in de vierde exacte vakken te kiezen, deed ik dat zeker niet alleen om later een zo groot mogelijk keuzebereik voor vervolgstudies te krijgen. Ik koos ervoor omdat in de derde klas in mij een zeker vuurtje was aangewakkerd. Wij waren voor één moment die vroegste wetenschappers, die zichzelf vragen stelden en wilden weten hoe en vooral waarom. (...) De werkelijkheid bleek antwoorden te hebben, voldeed zelfs aan wetmatigheden en kon worden voorspeld! Wetenschap was leven; hoe kon je leven in een wereld die je niet begrijpt? Ik moest gewoon kiezen voor de exacte vakken, zo simpel was het.

Waarom laat ik dat nu allemaal in de steek? Er is één ding dat een grote rol heeft gespeeld in mijn keuze: ik ben vergeten hoe het is om vragen te stellen, mijn passie voor onderzoek is verdwenen. Hoe komt dit? (...) De volgorde veranderde in: formules, verklaringen (onderzoek sloegen we over) en uiteindelijk vragen maken. Als ik vroeg: "Waarom?" kreeg ik als antwoord: "Kijk maar, als je dit invult in de formule, dan komt er dat uit. Daarom." (...)

Nu is mijn liefde voor de wetenschap afgestompt. De verschijnselen die we probeerden te verklaren liggen niet alleen ver van onze leefwereld af, wat op zich geen probleem hoeft te zijn, maar worden ook zo voorgeschoteld dat je het gevoel krijgt: waar ben ik mee bezig? Is het dan zo gek dat weinig mensen kiezen voor exacte vervolgstudies?

Grote onderzoeken naar motivatie voor natuurkunde uit de jaren negentig bevestigden dat wat Hilde beschreef, een breed gedeeld gevoel is.

Veel leerlingen wendden zich af van natuurkunde omdat ze dat vak als afstandelijk ervaren, waar alleen maar zekerheden worden gebracht, waar geen plaats is voor hun vragen en voor discussie. Deze reden gold vooral voor meisjes.

B. Begripsvorming van natuurkundige concepten

Natuurkunde wordt als een moeilijk vak ervaren. Dat begint al vóór er gerekend moet worden. Een reden daarvoor is dat veel natuurkundige concepten contra-intuïtief zijn: ze komen niet overeen met wat we volgens onze dagelijkse ervaringen zouden verwachten. We kennen ze allemaal uit onze onderwijspraktijk:

- de wet van Newton zegt dat een voorwerp waar geen kracht op werkt altijd rechtdoor gaat, terwijl we uit eigen ervaring weten dat je altijd moet trappen om je fiets vooruit te krijgen;
- energie zou behouden zijn, terwijl we voortdurend energie verbruiken;
- onderscheid warmte en temperatuur
- ... en vele meer

Het is mijn ervaring dat de geschiedenis ons heel goed kan helpen bij het aanpakken van beide zojuist genoemde problemen.

Ooit zijn namelijk deze contra-intuïtieve ideeën door mensen bedacht, mensen die net als onze leerlingen in hun dagelijks leven iets anders meemaakten. De vraag is dan interessant hoe ze er op zijn gekomen, waarom ze die vreemde veronderstellingen gemaakt hebben.

Als we kijken naar hoe die mensen er op zijn gekomen, is het interessant te lezen wat ze zelf daarover opgeschreven hebben, niet alleen hun artikelen maar zeker zo interessant is hun briefwisseling. Wat we dan zien zijn meestal gepassioneerde mensen, die aan het worstelen waren met vragen die bij hen opgekomen waren en het interessant vonden om daar oplossingen voor te bedenken.

Juist daarvan heb ik veel geleerd voor mijn onderwijs, het heeft mij geholpen om dat steeds vaker zo in te richten dat leerlingen zich vragen bleven stellen en dat ik hen kon helpen daardoor basale natuurkundige concepten te gaan begrijpen. Dat lukte het beste als ze, samen met klasgenoten en mij, de gelegenheid kregen zelf hun vragen en oplossingen daarvoor te formuleren.

Energie

Als voorbeeld van hoe geschiedenis ons kan helpen bij het interesse opwekken van leerlingen en hen beter basale concepten te laten begrijpen, wil ik nu iets vertellen over mijn ervaringen met het energiebegrip.

Jaar in jaar uit was ik niet echt tevreden over hoe ik daar met mijn leerlingen aan werkte.

Uit de didactische onderzoeksliteratuur was me al bekend dat het wetenschappelijk energiebegrip een groot probleem is in het onderwijs. Leerlingen, studenten, maar ook afgestudeerden, blijken veelal niet het inzicht te hebben wat je gezien hun opleidingsniveau zou verwachten.

Een aantal jaren geleden ben ik vrij uitgebreid de historische ontwikkeling van het wetenschappelijk energiebegrip gaan bestuderen.

Een van de verrassingen die ik daarbij tegenkwam, was de buitengewoon belangrijke rol die het concept 'warmte' bij de ontwikkeling van het energiebegrip gespeeld heeft. Dit begrip is in het onderwijs steeds meer in de marge komen te staan. Bovendien wordt in bijna alle schoolboeken warmte als vanzelfsprekend 'energie' genoemd, zonder dat wordt behandeld waarom dat zo is. Het is me langzamerhand duidelijk geworden dat hier één van de oorzaken ligt van het slecht functioneren van het energiebegrip, tot aan universitaire bètastudenten toe.

We gaan nu eerst een paar facetten uit de ontwikkeling van het energiebegrip bekijken, met hier en daar een uitstapje naar wat we daarvan voor het onderwijs kunnen leren.

Warmte en temperatuur

Warmte en temperatuur zijn termen die zo tot het basale repertoire van de natuurkundedocent behoren, dat we ons bijna niet meer voor kunnen stellen dat het ook concepten zijn, die met veel moeite zijn ontwikkeld.

Laten we eerst eens kijken hoe de woorden warmte, warm, koud in onze 'dagelijks leven taal' gebruikt worden. We zeggen: ik heb het warm, hier is het koud, de soep is niet warm genoeg, hoe warm is het hier, hoe warm wordt het morgen, dit geeft me een warm gevoel, ik krijg hier de koude rillingen van, hij is een koude kikker, zij geeft warmte, dit zijn warme kleuren. De woorden warm, warmte, koud ... bestaan al duizenden jaren in onze taal, ze werden en worden nog steeds dagelijks gebruikt om basale lijfelijke ervaringen aan te duiden. Oorspronkelijk waren die begrippen uitsluitend subjectief, ze gaven gevoelens weer.

De ontwikkeling van de thermometer

De *thermoscoop* van Galilei uit 1593 was het eerste *instrument* waarmee vastgesteld kon worden of het warmer dan wel kouder was geworden.

In 1612 werd de thermoscoop in Nederland geïntroduceerd door Cornelis Drebbel.

Isaac Beeckman, rector van de Latijnse School in Dordrecht en vriend van Descartes, gebruikte vanaf 1628 de thermoscoop in zijn weerstation dat hij op de bovenste verdieping van zijn school had: het eerste weerstation van Nederland.

Ook de thermoscoop in het weerstation van Beeckman kon alleen maar registreren of het warmer dan wel kouder werd.

Het verder ontwikkelen van de thermoscoop tot een thermometer is een grote Europese onderneming geweest, waaraan gewerkt is aan Italiaanse universiteiten (Academia del Cimento), door Franse artsen (Jean Rey, Guillaume Amontons), door Scandinavische natuurwetenschappers (Ole Roemer, Anders Celsius, Linnaeus) en leden van de Royal Academy of Sciences (Robert Boyle, Robert Hooke, Christiaan Huygens). Belangrijke stappen hierin waren de ontwikkeling van de *gesloten vloeistofthermoscoop* en de vaststelling van twee 'eindpunten' (oorspronkelijk aangeduid met 'de hevigste winterkou' en de 'grootste zomerhitte'). (Conant I, p.120 e.v.)

Pas tegen het einde van de 17^e eeuw kwam het idee voor het vaststellen van een reproduceerbaar getal voor wat we nu temperatuur noemen. Het woord 'temperatuur' is afgeleid van 'temperament'. De vier temperamenten (melancholisch, sanguinisch, cholericus, flegmatisch) werden in die tijd algemeen gebruikt om personen te karakteriseren. Ze waren afkomstig uit de Griekse oudheid (Galenus) en verbonden met 'warm' en 'koud': een vurig iemand, een kille man, iemand met veel temperament. Het woord 'temperatuur' geeft dus nog steeds aan hoe sterk dit concept oorspronkelijk verbonden was met waarnemingen door het menselijk lichaam.

Nu er een thermometer was, betekende dat nog niet dat objectief de temperatuur kon worden gemeten. Het idee van twee vaste ijkpunten werd wel geaccepteerd, maar welke punten waren daarvoor geschikt? We kennen nog de verschillende thermometer schalen van Celsius, Fahrenheit en Réaumur. De discussie over de ijkpunten was niet triviaal, ze hing samen met de reproduceerbaarheid daarvan.

Het kookpunt van water bijvoorbeeld veranderde naargelang de dag en de plaats van de meting, bijvoorbeeld aan de voet van een berg of hogerop. Het concept 'luchtdruk' en de relatie met het koken van water moesten eerst ontdekt worden.

Verder heeft het nog lang ter discussie gestaan of het smeltpunt van ijs wel een 'vast punt' was. De bekende Leidse natuurkundige Musschenbroek was van mening dat verder naar het noorden, in IJsland of Groenland, de smeltemperatuur van ijs lager zou zijn dan hier in Nederland. Diverse expedities en jaren werk waren nodig voordat overtuigend aangetoond werd dat de smeltemperatuur van ijs in Nederland hetzelfde was als in IJsland en dus geschikt was als vast punt.

Pas omstreeks 1740 was er overeenstemming in de Europese wetenschappelijke wereld over de reproduceerbaarheid van die ijkpunten. Toen introduceerde Celsius ook zijn thermometer-schaal. Dat hij oorspronkelijk smeltend ijs 100° noemde en kokend water 0° , en dat de schaal die wij nu gebruiken een wijziging was door de plantkundige Linnaeus, is vergeleken met het geweldige werk dat eraan voorafging slechts een detail.

Pas door de invoering en acceptatie van die vaste punten was de thermoscoop een thermometer geworden. Het moderne concept 'temperatuur' kon vervolgens ontstaan, met een operationele definitie: *temperatuur is dat wat een thermometer meet*. Voor het eerst in de geschiedenis kon 'warm' of 'koud' met een betrouwbaar getal worden aangeduid.

Behoud van 'warmte'

Het was echter ook duidelijk dat de temperatuur niet alles beschreef wat met warm en warmte te maken had. Om een grote ketel water aan de kook te brengen, moest eenzelfde vuur immers langer branden dan bij een klein pannetje.

Een belangrijke stap in het onderscheiden van 'warmte' en 'temperatuur', is gezet door onze landgenoot Boerhaave (1668-1738). Hij was destijds de beroemdste arts in Europa, maar had ook op wetenschappelijk gebied een grote naam. Hij was een heel praktische man, in zijn ziekenhuis in Leiden stond hij op goede verzorging en hygiëne. Belangrijk daarbij was warm water, steeds moesten ketels water op het vuur staan. Dat inspireerde hem tot een theorie die verstrekkende gevolgen zou hebben. Hij formuleerde, geheel tegengesteld van wat iedereen ervoer, dat als warmte eenmaal geproduceerd is door bijvoorbeeld een vuur, ze altijd weer ergens terug te vinden is. Als het water weer is afgekoeld, veronderstelde Boerhaave dat de warmte, nog ergens te vinden moest zijn: in de kamer was het warmer geworden, of naar buiten door het raam. Boerhaave formuleerde voor het eerst **een behoudswet voor warmte**.

Pas door het formuleren van deze behoudswet, kon 'warmte' scherp gedefinieerd worden en werd in principe meetbaar. Er kon een *eenheid* afgesproken worden: de warmte die één kilogram water één graad Celsius in temperatuur doet stijgen, nemen we als eenheid van warmte: de *kilocalorie*. Als instrumenten om de 'hoeveelheid warmte' te meten die in een hoeveelheid water gestroomd was, waren enkel nodig de recent ontwikkelde thermometer en een balans.

De ontwikkeling van de thermometer, waarvoor sinds Galileo een kleine 150 jaar zijn nodig geweest, heeft dus geleid tot twee nieuwe concepten die helpen om de wereld te beschrijven en te onderzoeken: **temperatuur en warmte**.

Behoud van ‘vis viva’

Het energiebegrip is nog in geen velden of wegen te bekennen, wanneer Boerhaave zijn behoudswet formuleert.

Een andere belangrijke bouwsteen van het energiebegrip wordt, achteraf gezien, een concept dat alweer door Galilei als eerste is geformuleerd. Galilei experimenteerde met *slingers* en *kogels in goten*. In beide gevallen gold het bewegingen van kogels die hoogte in snelheid omzetten en weer omgekeerd. Ze kwamen steeds weer op hun oorspronkelijke plaats terug, mits de wrijving klein genoeg was. Galilei kwam tot de conclusie dat er bij die bewegingen ‘iets’ behouden moest zijn, hij noemde dat *vis viva*. (Later kreeg dat de naam ‘mechanische energie’). Ook hieraan hebben na hem nog vele wetenschappers gewerkt, o.a. David Bernouilli (1700 – 1782).

Galileo had zelf al geformuleerd dat zonder wrijving *vis viva* niet zou verdwijnen. Maar pas Rumford liet zien dat bij wrijving veel warmte wordt geproduceerd.

Er waren nu dus twee behoudswetten geformuleerd, met allebei een beperking, inclusief een bijbehorende grootheid en eenheid:

- Als warmte eenmaal ontstaan is, blijft ze behouden; de eenheid van warmte was de calorie
- *Vis viva* blijft behouden, mits er geen wrijving is. De eenheid van *vis viva* was de eenheid van arbeid: kracht \times weg (Nm).

Behoud Warmte en Behoud ‘vis viva’ gekoppeld

Pas nadat Rumford zich realiseerde dat *vis viva* door middel van wrijving in principe kon worden omgezet in warmte en een ruwe methode aangaf om dat te meten, lag de weg open om de twee behoudswetten met elkaar te koppelen.

Joule kreeg tenslotte het kunststuk voor elkaar om ook te **meten** hoeveel warmte door een bepaalde hoeveelheid *vis viva* kon worden ontwikkeld: het mechanisch warmte-equivalent. Hij ontwikkelde hiervoor het schoepenrad experiment, achteraf gezien misschien wel één van de belangrijkste experimenten uit de geschiedenis van de natuurkunde. Want door dit experiment konden de twee behoudswetten, met ieder zijn eigen beperking, worden vervangen door één behoudswet waarvoor die beperkingen niet golden. Er was ‘iets’ behouden, als er *vis viva* verdwenen was, kon uitgerekend worden hoeveel warmte daarmee was geproduceerd. Het ‘nieuwe dat behouden bleef’, kreeg een nieuwe naam: energie.

Als je die geschiedenis volgt, die ik hier slechts in zeer grote lijnen heb weergegeven, zie je goed hoezeer de twee componenten van energie verschillend zijn. Dat is ook een reden waarom het energiebegrip zo moeilijk is. Met *vis viva* kon bijvoorbeeld arbeid verricht worden, dat gebeurde in de tijd van Joule ook op grote schaal, vooral door middel van watermolens. *Vis viva* werd in het experiment van Joule in warmte omgezet, maar omgekeerd lukte dat niet. Het bestaan van de stoommachine, die warmte kon omzetten in arbeid, maakt het acceptabel om warmte en *vis viva* met elkaar te vergelijken, maar de verschillen bleven groot. Bijvoorbeeld *vis viva* kon helemaal omgezet worden in warmte, maar met de stoommachine lukte het maar voor minder dan 5 procent om warmte om te zetten in *vis viva*. Warmte kon daarom ook moeilijk *vis viva* genoemd worden, er moest een nieuwe naam bedacht worden voor datgene wat rekenkundig behouden bleef. Die naam werd dus ‘energie’ zoals we nu weten.

Wat de geschiedenis van het energiebegrip me leerde voor het onderwijs

Als je beseft wat de centrale plaats is van de begrippen warmte en temperatuur bij de fundering van het wetenschappelijk energiebegrip, is het duidelijk dat ze een zorgvuldige behandeling verdienen in het onderwijs. Een probleem daarbij is, zoals bij zoveel concepten, het verschil tussen de betekenis van de wetenschappelijke termen en het gebruik van overeenkomstige woorden in het dagelijks leven.

We zagen dat de natuurkundige betekenissen van de concepten *warmte en temperatuur* met veel moeite in het wetenschappelijk discours zijn ontstaan. Vanaf onze kindertijd leren we echter allemaal die woorden te gebruiken vanuit een verbinding met lichamelijke, subjectieve gevoelens. Het zijn nog steeds dezelfde woorden die duizenden jaren geleden ontstaan zijn, waarmee lichamelijke sensaties worden beschreven. Temperatuur is weliswaar een nieuw woord, maar er wordt nog steeds gezegd: ik heb het warm, hier is het warm, de radiator *is warm en geeft warmte*...

Hoe kunnen we nu de leerlingen begeleiden naar de natuurkundige betekenis van die termen, terwijl de oude betekenissen eveneens gehandhaafd moeten blijven, want die komen overeen met het dagelijks gebruik. De kennis van de geschiedenis van die begrippen heeft me geholpen om een leerlijn naar een beter warmte – temperatuur begrip op te zetten.

Ik geef hier nu slechts een paar voorbeelden daaruit. Een meer volledige uitwerking is te vinden in mijn lesbundel ‘Machines en Energie’.

In de klas was bij het werken aan het begrip ‘temperatuur’ de vraag bij leerlingen opgekomen: ‘We voelen dat het ijzer van de stoel kouder is dan het hout. De thermometer in het lokaal wijst een temperatuur 20° C is. Hebben die verschillende dingen dan toch een verschillende temperatuur?’

Om die vraag te beantwoorden kregen de leerlingen een collectie voorwerpen die al een tijdje in het lokaal stonden zoals: een stuk ijzer, een stuk hout, een stuk piepschuim, zand, zaagsel, suiker, modder, water in potjes. Ze zetten de voorwerpen eerst in een volgorde van koud naar warm, zoals ze dat met hun hand konden voelen. Vervolgens gingen ze met een thermometer van allemaal de temperatuur meten. Verbazing dat de temperatuur van alle voorwerpen dezelfde was als de temperatuur van het lokaal. Ze hadden eerst een vraag, het experiment gaf nu wel een antwoord maar leidde meteen weer tot een volgende vraag, die vanzelf bij veel leerlingen opkwam: ‘hoe kan dat nu?’

De kunst is nu, denk aan het citaat van de leerling in het begin, om daar als docent niet direct een antwoord op te geven, maar te proberen leerlingen daar zelf een verklaring voor te laten vinden.

Als hulp liet ik het volgende proefje doen. Iedereen kreeg een even grote houten en aluminium cilinder, met een gat waar juist een thermometer in past. ‘Hou in iedere hand een cilinder met thermometer vast en let op wat je ziet en voelt.’

In het begin voelt de aluminium cilinder koud aan, de houten voelt warmer aan. De thermometer staat in beide gelijk. Vervolgens zien ze de vloeistof in de thermometer in de aluminium cilinder stijgen, tevens voelt langzamerhand het aluminium minder koud aan. In de houten cilinder stijgt de thermometer veel langzamer.

Het was verrassend dat na dit experiment alle leerlingen zelf een prima verklaring voor het kouder aanvoelen van metalen gaven: je hand koelt af als je een metaal vasthoudt, de warmte gaat daar makkelijk in. Dat metaal koud aanvoelt, komt omdat je hand afkoelt als je dat metaal vastpakt. Met hout en zeker met piepschuim gebeurt dat niet.

Van de geschiedenis had ik geleerd *het gevoel* een belangrijke plaats bij dit onderwerp te geven, *niet alleen op het meten* af te gaan om inzicht te ontwikkelen. Wat dat inhoudt, hoe je anders naar experimenten gaat kijken, leert ook het bekende proefje waarbij je je handen achtereenvolgens in drie bakken water van verschillende temperatuur stopt. In de meeste boeken waarin dit experiment voorkomt, staat iets als: ‘Je gevoel voor warm en koud is niet erg betrouwbaar. Lauw water voelt heet aan als je koude vingers hebt, maar koud als je warme vingers hebt. Om precies te weten hoe het zit moet je een thermometer gebruiken.’

Een leerling wees me er echter op, dat de thermometer in feite precies hetzelfde doet als je handen: van de koude naar de lauwe bak gebracht stijgt hij, van de warme naar de lauwe daalt

hij. Je handen moet je niet vergelijken met een thermometer, maar met een thermoscoop. Ze registreren temperatuurverschillen en dat doen ze heel betrouwbaar, in ieder geval voldoende betrouwbaar om ons te helpen ons ingewikkelde lichaam op temperatuur te houden en te overleven.

Bij het ontwikkelen van dit alles was enige kennis van de geschiedenis zeker een hulp. Maar zeker zo belangrijk was het goed luisteren naar leerlingen, hen het woord geven, dat woord serieus nemen. En vooral: hun vragen niet meteen beantwoorden met mijn natuurkundige uitleg.

Behoudswetten

In het hele verhaal over de begrippen ‘temperatuur’ en ‘warmte’ is een belangrijk concept wat onderbelicht gebleven, namelijk het idee van een ‘behoudswet’.

Het is voor ons als natuurkundeleraars zo vanzelfsprekend, maar als we er even bij stilstaan zien we hoe contra-intuïtief dit idee is. Als we om ons heen kijken dan lijkt het er meer op dat alles verandert. Dat geldt ook voor onze leerlingen: ze zitten in een levensfase dat hun lichaam continu verandert, het weer is nooit hetzelfde, ouders scheiden, ze krijgen ruzie met wie ze eerst bevriend waren...

De geschiedenis kan ons ook weer leren dat behoudswetten niet zo vanzelfsprekend zijn.

We gaan nu eens terug naar de Griekse filosofen, die aan het begin stonden van de enorme bloei van de natuurwetenschap in het oude Griekenland.

Van Heraclitus (540 – 480 v. Chr.) is nog steeds de uitspraak bekend: ‘Panta Rhei’, alles stroomt, alles verandert. Dat is volgens hem het wezen van de natuur. Als we iets zien dat niet verandert, is dat gezichtsbedrog, of zijn we niet in staat om dat te zien. Met dit uitgangspunt zou natuurwetenschap onmogelijk zijn, die zoekt immers naar vaste patronen, naar regelmaat. Volgens Heraclitus is dat dus niet mogelijk. Een dergelijke stellige uitspraak lokte natuurlijk tegenspraak uit, ook in die tijd.

Volgens Parmenides, een tijdgenoot van Heraclitus, is juist alle verandering illusie, we moeten achter de veranderingen kijken om de ware aard van de natuur te vinden.

Als we met die ogen naar de vier elementen theorie uit het Oude Griekenland kijken, volgens welke alles opgebouwd is uit combinaties van vuur, aarde, water en lucht, zien we dat deze theorie een poging is om uit het dilemma te komen dat Heraclitus beschrijft, met de methode die Parmenides aanreikt. Achter alle veranderingen schuilt het wezen, dat onveranderlijk is. Het nadenken over dit soort tegenstrijdigheden heeft een belangrijke rol gespeeld bij de ontwikkeling van de natuurwetenschap in het oude Griekenland. Ik had daarover in mijn onderwijs wel eens wat verteld, vooral als anekdote over opvattingen over de natuur in vroegere tijden. Leerlingen namen dat voor kennisgeving aan. Veel meer mogelijkheden zag ik er ook niet in.

De vier elementen

Eén les waarin ik weer dat verhaal over de vier elementen vertelde in mijn vierde klas, is me altijd bijgebleven en heeft mijn onderwijspraktijk behoorlijk veranderd.

Ik wilde wel eens weten wat ze vonden van die vier-elementen theorie. Een meisje, Sonja, zei tot mijn verrassing: ik vind dat eigenlijk wel logisch, want als je een tak van een boom afbreekt komt er vocht uit, als je hem verbrandt wordt het vuur, de rook gaat de lucht in en er blijft as over. Dat zijn precies de vier elementen. Sommige jongens vonden dat maar onzin, ze zeiden: we weten nu toch dat alles opgebouwd is uit moleculen en atomen! Maar Sonja antwoordde: “dat zeggen jullie omdat jullie er van alles over gelezen hebben, maar als ik er zelf over nadenk vind ik die vier elementen heel logisch”.

Ik besloot toen om de leerlingen in groepjes van drie of vier met de volgende vraag aan het werk te zetten: “Probeer eens iets te bedenken, dat je niet kunt beschrijven met de vier elementen. Gebruik daarbij de manier van redeneren van Sonja, waarbij je alleen van je waarne-

mingen uitgaat en verder argumenten gebruikt. ‘Ik heb gelezen dat ...’ is geen argument.” De jongens morden wat, de meisjes vonden het wel een interessante opdracht. In het begin kostte het de groepjes wat moeite om op gang te komen, vooral door de jongens die hun zekerheden spuiden, doorgaans zonder echte argumenten. Langzamerhand werd er in de groepjes beter van waarnemingen uit gegaan en meer geargumenteed. Na enige tijd maakten we de balans op. Tot hun eigen verbazing waren alle groepjes tot de conclusie gekomen dat alle materiële dingen met de vier elementen beschreven konden worden. Als uitzondering noemden ze: vacuüm, gedachten, wetten. Andere klassen die ik later dezelfde vraag voorlegde, kwamen tot soortgelijke conclusies. Er was iets gebeurd in de klas: het vanzelfsprekende was minder vanzelfsprekend geworden, over ongewone dingen werd beter nagedacht. De sfeer was meer open-minded geworden.

Moleculen

Me leek dat het ook mogelijk moest zijn hen op een dergelijke manier inzicht te geven in het ontwikkelen van moderne molecuul- en atoommodellen.

De volgende les vertelde ik dat er in dezelfde tijd ook Grieken waren die andere opvattingen hadden over hoe de wereld in elkaar zat. Democritus veronderstelde dat alle materie uit bolletjes zou bestaan. Ik zette een klein schaalpje met ether in de klas, de ether verdampte snel en de leerlingen roken de kenmerkende geur. De vraag was natuurlijk of dit verschijnsel verklaard kon worden met de bolletjes theorie en wat daarbij dan aangenomen moest worden van die bolletjes.

Er kwamen levendige discussies, waarin de leerlingen heel goed in staat bleken om eigenschappen van de bolletjes te bedenken waarmee het verschijnsel verklaard kon worden. Daar gingen we zo enkele lessen mee door, met steeds andere experimenten. De leerlingen ervoeren zo aan den lijve hoe een theorie, in dit geval de molecuultheorie, ontwikkeld wordt. Uiteraard niet met de nuances en problemen zoals die in de historische ontwikkeling hebben plaatsgevonden, maar sterk vereenvoudigd in sessies die ook door mij gestuurd werden. Mijn kennis van de historie gebruikte ik weer om van te voren inzicht te krijgen in waar vragen en problemen zouden kunnen ontstaan en hoe ze opgelost zouden kunnen worden.

De leerlingen legden steeds de opgeworpen vragen, de discussies en de gevonden resultaten vast in persoonlijke verslagen, met tekst en tekening. Daarbij spoorde ik ze aan vooral de dynamiek van het gebeuren tot uitdrukking te brengen, zich minder af te vragen of het wel ‘goed’ was wat ze opschreven, maar de eigen gedachten en gezamenlijke discussies weer te geven. Net zo als vroegere wetenschappers deden als ze met hun nieuwe ideeën worstelden. Een brief aan een vriend geeft vaak een beter inzicht in het ontstaan van ideeën dan een officieel verslag in een tijdschrift.

Er ontstond zo in de klas langzamerhand een inzicht in wat een theorie is en hoe die ontstaat. De leerlingen ervoeren dat een theorie niet alleen praktisch nut heeft maar ook intellectueel genoeg scheidt. In deze lessen werd, op heel bescheiden schaal, wetenschap ervaren als een menselijke activiteit, waarin gezamenlijk voortgang wordt geboekt. Het maakte de natuurkunde persoonlijker, daardoor interessanter. Zeker voor de meisjes, maar ook voor de jongens.

Mening en Theorie

Er is nog een andere reden waarom het belangrijk is dat leerlingen inzicht krijgen in het ontstaan van wetenschappelijke theorieën. Ik vond het tamelijk schokkend om te horen dat in de Verenigde Staten meer dan de helft van de mensen de evolutietheorie afwijst en gelooft in het creationisme. Ik ben ervan overtuigd dat het afdoen van de evolutietheorie met als argument dat je ook een andere mening kunt hebben, voor een groot deel te wijten is aan de manier waarop onderwijs in de natuurwetenschappen wordt gegeven. Veel natuurwetenschappelijke

studieboeken presenteren theorieën op vergelijkbare manier als de geloofsdogma's die ik vroeger bij godsdienstles uit de catechismus moest leren: zo is het, de geleerden/priesters hebben het uitgezocht, leer dat nu maar.

Inzicht in het ontstaan van wetenschap, dat ook zelf eens op kleine schaal aan den lijve ervaren, geeft niet alleen meer plezier, maar vergroot ook het begrip en kan ons behoeden voor dogmatisch denken.

Afsluiting

U bent afgekomen op mijn lezing met de enigszins uitdagende titel: *Gebruik geschiedenis bij het natuurkundeonderwijs!*

Ik hoop dat ik u heb kunnen laten zien dat gebruiken van geschiedenis bij het natuurkundeonderwijs zowel de docent als de leerling veel kan opleveren. Ik vat samen:

- Geschiedenis kan de docent:
 - Inzicht geven in begripsproblemen leerlingen
 - Helpen om vragen van leerlingen op te roepen en de relevantie daarvan te zien
 - Helpen de lessen interessanter te maken
 - Meer plezier en inzicht in zijn vak geven
- Geschiedenis kan de leerling:
 - Wetenschap laten zien als menselijke activiteit
 - Helpen om concepten beter te begrijpen
 - Helpen dogmatisch denken te vermijden
 - Meer plezier in natuurkunde geven

Ik hoop dat u ook, net als ik, veel plezier van het gebruik van de geschiedenis bij uw onderwijs zult krijgen.

Korte Literatuurlijst

Er bestaat een zeer uitgebreide literatuur over geschiedenis van de natuurwetenschappen die inspiratie kan geven voor het science onderwijs. Ik geef hieronder slechts enkele titels, die kunnen weer de weg wijzen naar andere literatuur. Boeken die niet meer in de boekhandel verkrijgbaar zijn, zijn vaak voor weinig geld tweedehands te vinden via de site van ABE books: <http://www.abebooks.co.uk/>

Overzicht over gebruik geschiedenis in het onderwijs, veel literatuurverwijzingen:

Matthews, Michael R. (1994). *Science Teaching. The Role of History and Philosophy of Science*. Philosophy of Education Research Library. New York-London: Routledge

Wetenschappelijk tijdschrift, gewijd aan geschiedenis en onderwijs in de natuurwetenschap: Science & Education. (Springer)

Enkele belangrijke Nederlandse publicaties:

Dijksterhuis, E.J. (1950). *De mechanisering van het wereldbeeld*. Amsterdam: Meulenhoff. (Klassieker, nog steeds verkrijgbaar en in vele talen uitgebracht.)

Cohen, Floris (2010). *Isaac Newton en het ware weten*. Amsterdam: Bert Bakker.

Het boek over de geschiedenis van de begrippen 'temperatuur, warmte en energie' dat mij het meest heeft geïnspireerd:

Cardwell, D.S.L. (1971). *From Watt to Clausius. The rise of thermodynamics in the early industrial age*. London: Heinemann.

Enkele publicaties van de spreker, die inzicht geven in zijn ideeën over en praktijk van onderwijs met de rol van geschiedenis daar in:

Genseberger, R.J.(1989) Natuurhistorische oriëntatie, een gemeenschappelijk aanbod van scheikunde, biologie en natuurkunde voor 15-16 jarigen, *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*,7,p. 138-153

Genseberger, R.J.(1989) Het ontwikkelen van een modelbegrip bij leerlingen van 15-16 jaar, *Tijdschrift voor Didactiek der β -wetenschappen*,7,p.192-208

Genseberger, R.J. (1997). *Interessegeoriënteerd natuur- en scheikunde onderwijs. Een studie naar onderwijsontwikkeling op de Open Schoolgemeenschap Bijlmer*, Academisch proefschrift. Utrecht: CD β