

Twee kernexperimenten rond temperatuur en warmte

Ton van der Valk,

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht

Ineke Frederik,

Technische Universitaire Leraren Opleiding (TULO), TU Delft

"Hoe warm wordt het vandaag?"

"Toen ik de deur open deed, stroomde de kou me tegemoet"

"Wol is een warme stof"

"De kinderen vierden het nieuwe jaar met sterretjes van koudvuur".

Warm en koud, warmte en koude zijn woorden die in het dagelijks leven veelvuldig gebruikt worden. Ze duiden iets aan dat met voelen te maken heeft, met de aanwezigheid van vuur of ijs of met eigenschappen van stoffen.

Aan het begin van het natuurwetenschappelijk onderwijs wordt van leerlingen verwacht dat zij in plaats van warm en koud de begrippen *temperatuur* en *warmte* gaan gebruiken. De ervaring leert dat dat niet goed lukt. Tot aan het einde van het Voortgezet Onderwijs hebben leerlingen moeite met het onderscheid tussen die twee. Zelfs universitaire studenten in de (bèta-)vakken kunnen niet goed in eenvoudige woorden aangeven wat het verschil tussen *temperatuur* en *warmte* is en waarom nodig is onderscheid te maken.

In dit artikel gaan we in op de overgang van de dagelijkse-leven-woorden rond 'warm en koud' naar de natuurwetenschappelijke begrippen 'temperatuur en warmte' die in de basisvorming plaats moet vinden. We wijzen twee experimenten aan die ons inziens een centrale rol kunnen spelen. Die *kernexperimenten* tonen de leerlingen de noodzaak van het invoeren van begrippen als temperatuur en warmte. Wij beargumenteren dat ze in geen enkel basisvormingsboek zouden mogen ontbreken.

De beginsituatie van dertienjarigen t.a.v. 'warm en koud'

Leerlingen hebben ervaring met het voelen van warmte en koude¹. 'Warm en koud' behoren waarschijnlijk tot de woorden die ze al vroeg hebben geleerd. Ze hebben ervaren dat iets *warms* als een kopje thee vanzelf afkoelt. *Koude* dingen als een glas koude limonade warmen op zonder dat je er iets voor hoeft te doen. Ze hebben wellicht gehoord en hopelijk niet gevoeld dat stoom gevaarlijk heet is. Ze weten dat ijs koud aanvoelt. IJzer meestal ook, maar dat kan warm worden als het verwarmd wordt met vuur of door de zon. 'Iedereen weet wel' dat het ijzer na verloop van tijd weer 'gewoon' koud wordt als je het niet meer verwarmt.

Leerlingen van 13 jaar komen temperatuur als één van de eerste begrippen tegen in hun boek voor natuur- en scheikunde. Ze hebben thuis, op de basisschool en in de brugklas bij biologie en aardrijkskunde al van temperatuur gehoord als een woord dat je gebruikt bij het praten over warm en koud. Ze weten dat je lichaamstemperatuur 37 graden is, tenzij je koorts hebt. En dat

water bij 100 graden gaat koken. Dat het buiten vriest als de temperatuur onder nul is gedaald. Ze weten ook dat je 's winters de temperatuur thuis met de thermostaat kunt instellen. Maar ze hebben het niet over de 'temperatuur van de lucht' in de kamer. Laat staan dat ze beseffen dat de temperatuur *van de wanden* grotendeels bepaalt of je het in de kamer koud of warm vindt. Het spreekt voor hen niet vanzelf dat in een kamer van 20° C de stoelen, de tafel, het tafelkleed ook 20° C 'zijn'. Temperatuur zien ze niet als een 'eigenschap' van een voorwerp. Het is iets waarmee de gesteldheid van de omgeving wordt aangegeven.

Ze kennen ook het gebruik van thermometers, met name de kamer- en buitenthermometer en de koortsthermometer. Maar de meesten weten nog niet hoe ze met een 'schoolthermometer' moeten omgaan. Je kunt er aantreffen die een thermometer van onderen (bij het kwik- of oliereservoir) vast houden bij het aflezen. Zó hebben ze de koortsthermometer leren aflezen. Ze realiseren zich niet dat de thermometer een 'foute' waarde gaat aangeven als je hem uit het water hebt gehaald. Sommige leerlingen die de klassieke koortsthermometer gewend zijn, willen ook de schoolthermometer 'afslaan'.

Ook volwassenen zie je wel eens fout omgaan met een thermometer. In de tijd van de ouderwetse koortsthermometers was het vaak de taak van leerlingverplegers/verpleegsters om de thermometers na gebruik bij de patiënten schoon te maken. Het wilde nog wel eens voorkomen dat een nieuwe het hele stelletje in heet water zette, zoals met de afwas. Met alle gevolgen van dien!

Het woord *warmte* zoals dat door 13-jarigen wordt gebruikt, komt meestal niet in de buurt van zijn natuurwetenschappelijke betekenis. Het duidt vooral *warm zijn* aan zoals in de zinnen 'Na het onweer was de warmte in huis blijven hangen' en 'de pan wordt heet door de warmte van de gasvlam'. De ervaring dat de omgeving opwarmt als bijvoorbeeld een kopje thee afkoelt, hebben ze niet. Of dat het in een kamer kouder wordt als een ijsblokje smelt. Het afkoelen van de thee en het smelten van het ijsblokje zijn voor leerlingen zo gewoon dat zij geen verklaring behoeven: het gebeurt vanzelf. Kortom, bij opwarmen en afkoelen denken leerlingen niet snel in termen van 'warmte opnemen uit of afgeven aan de omgeving'.

Vegting² heeft reeds 25 jaar terug beschreven in de voorganger van de NVOX, Faraday, hoe leerlingen

over warmte, en zijn tegengestelde, koude, denken. Een citaat:

Zo wordt er gevraagd: een kamer wordt elektrisch verwarmd. De temperatuur in de kamer is constant 20° C. Verklaar hoe dat mogelijk is. Je verwacht dan dat de leerlingen zullen antwoorden: de warmteproductie is even groot als het verlies aan warmte door de kamer aan de omgeving. Maar zo'n antwoord blijft uit. Je krijgt te horen: de kachel staat op de goede stand, er komt genoeg warmte van de kachel, de kachel is heet genoeg enz.

De leerlingen hebben voor dit soort situaties een 'functionele' redenering: je zet de kachel of de verwarming aan om het huis te verwarmen. Dan is het niet verwonderlijk dat het huis inderdaad warm blijft. Dat behoeft geen verdere verklaring, want zo hebben 'ze' de kachel of de verwarming gemaakt.

Daarbij komt dat het werkwoord 'verwarmen' in het dagelijkse spraakgebruik twee betekenissen kan hebben: *opwarmen* en *warm houden*. Als je een koud huis gaat verwarmen weet je dat het eerst warmer wordt en als het warm is, zorgt de verwarming ervoor dat het warm blijft. Zet je de verwarming hoger, dan wordt het warmer en daarna blijft het zo.

Leerlingen zouden kunnen denken dat iets dergelijks zich ook bij het koken van water voordoet. Zij weten gewoonlijk wel dat water bij 100° C gaat koken³. En dat het dan op hetzelfde vuur 100 graden blijft willen ze wel geloven. Maar als je de vlam flink hoger zet dan kan de temperatuur toch nog wel stijgen (verwachten ze)! Er zijn ook nog heel wat volwassenen die het vuur onder de aardappelen flink hoog laten staan in de verwachting dat ze dan sneller gaar zijn. Ook bij oudere leerlingen en zelfs bij docenten en in schoolboeken vind je de vanzelfsprekende suggestie warmtetoevoer altijd gepaard gaat met temperatuurverhoging. Deze associatie van warmte(toevoer) met temperatuurverhoging maakt nu net het verschil tussen temperatuur en warmte voor leerlingen zo moeilijk.

Leerlingen van 13 jaar vinden vanuit het dagelijkse leven geen reden onderscheid te maken tussen *temperatuur*, *warmte* en het voelen van warm/koud. De twee kernexperimenten die we hierna beschrijven, zijn bedoeld hen daarvoor wél een reden te geven.

Naar een temperatuurbegrip

Veel dertienjarigen hebben een nog beperkt ontwikkeld temperatuurbegrip. Het is nog voornamelijk aan gevoel gekoppeld. De ervaring dat je lijf onbetrouwbaar is als het om het voelen van 'warm en koud' gaat, kan als aanleiding gebruikt worden om de relatie van temperatuur met voelen was lossere te maken. Daartoe dient het *eerste kern-experiment*.

Eerste kern-experiment: warm en koud voelen

Figuur 1: Het eerste kern-experiment in beeld gebracht. Let op dat de handen of vingers voldoende lang in het hete en koude water gehouden moeten worden alvorens ze in het lauwe water te doen: ruim een minuut. Anders mislukt de proef!



In dit experiment ervaren de leerlingen aan den lijve dat iets tegelijkertijd warm én koud kan aanvoelen. Als meetinstrument voor warm en koud is je lijf dus onbetrouwbaar. Wat je met je handen voelt, kan afhangen van de 'voorgeschiedenis' van je hand.

De proef moet door de leerlingen zelf gedaan worden, want het is essentieel dat ze het voelen. De introductie van de thermometer en een eerste notie van het natuurwetenschappelijk temperatuurbegrip wordt ermee voorbereid.

Globaal verloopt het experiment als volgt. De leerlingen krijgen, bijvoorbeeld in tweetallen, drie bekersgazen voor zich, één met koud water (water met ijsblokjes), één met lauwe water (ca. 25° C) en één met warm water (niet warmer dan 40° C).

Een leerling houdt gedurende een minuut (een vinger van) de ene hand in het koude en (één van) de andere hand in het warme water. Daarna worden ze tegelijkertijd in het bekersglas met lauwe water gedaan. Weer een minuut erin houden. Anders krijg je niet de sensatie waar het nou net om draait!

De vinger met de 'warme' geschiedenis voelt het lauwe water als 'koud', de andere voelt het als 'warm'. Leerlingen zullen dit herkennen uit het zwembad: van het kinderbadje naar het ondiepe bad of van het diepe naar het ondiepe: dat maakt een verschil!

Je zintuigen voor warm en koud zijn dus onbetrouwbaar. Dat is een reden om de thermometer te introduceren als een betrouwbaar instrument om temperatuur te meten.

Een vervolgprouf

Leerlingen kunnen zich afvragen of met de thermometer misschien iets soortgelijks aan de hand is. Heeft die ook een 'geheugen', zoals je hand? Laat ze erover nadenken. En laat ze dezelfde proef nog eens doen, maar nu met twee thermometers in plaats van de handen. Sommigen zullen misschien opmerken dat je de thermometer, veel korter dan je hand, even in het water moet houden totdat de vloeistofkolom niet meer omhoog of omlaag gaat. Heb je een niet goed gekalibreerde thermometer, geef die dan, mét een goede, aan een groepje slimmeriken die het antwoord al denken te weten!

Tijdens deze proef oefenen ze op een vanzelfsprekende manier in het meten en aflezen met een thermometer. Want ze zullen merken dat de thermometer al snel weer een lagere waarde aangeeft als ze die uit het warme water halen. Daarmee leren ze de waarde die de thermometer aangeeft, aan het water toe te kennen. Zo wordt ook het begrip 'de temperatuur van het water' ingevoerd als "wat een thermometer aangeeft als je de thermometer in het water houdt". Een eerste, voorlopige omschrijving van temperatuur, die het karakter heeft van een 'operationele' definitie. Deze 'definitie' is

bepikt toepasbaar. Je kunt hem gebruiken bij het meten van de temperatuur van vloeistoffen. De thermometer kan immers in de vloeistof gezet worden. Bij het aflezen van een buitenthermometer zullen leerlingen niet zo snel denken aan de temperatuur *van de lucht*. Daarvoor is het nodig dat zij inzien dat een thermometer in contact staat met de omringende lucht. Ook werkt de operationele definitie nog als het gaat om de temperatuur van 'zachte' vaste materialen (grond, sneeuw, wol) waar-je de thermometer in kunt steken. Dan blijkt wol géén 'warme stof' te zijn. Maar je kunt een thermometer moeilijk in een hard materiaal steken. De temperatuur van een tafel, een stoel of een vaste stof als ijzer kun je moeilijk meten. Het idee dat ijzer een 'koude stof' is kun je zo niet aanpakken. Dat kan wel met verdergaande definities, zoals de moleculaire interpretatie van temperatuur ('hoe hard de moleculen gaan' of 'maat voor de gemiddelde snelheid van de moleculen'). Maar die zijn te abstract voor veel 13-jarigen. Zij hebben nog weinig idee van wat met moleculen bedoeld kan worden.

Leerlingen motiveren voor deze proeven

Leerlingen zijn meestal wel genegen een experiment uit te voeren als de leraar zegt dat het moet. Maar waar zo'n proef voor nodig is? In het beste geval begrijpen ze dat achteraf wel. Wij vinden dat het beter ze vooraf inhoudelijk te motiveren voor de proef. Een geschikte inleiding kan zijn een gesprek over baby's of oude mensen. Die zitten meestal lang in bad, maar kunnen zichzelf nog niet of niet meer voldoende warm houden. Ze krijgen last als het water niet precies warm genoeg is. Een logische vraag aan de leerlingen is dan hoe je kunt weten of het water 'precies goed' is. Daarop zullen antwoorden komen als: 'je kunt het met je handen voelen', 'dat moet met je elleboog', of 'je kunt beter een thermometer gebruiken'.

Figuur 2: De baby-badthermometer.



Het zal hen niet meevallen goede argumenten te geven wat nou het beste is. Dat is een goede aanleiding om het uit te proberen met kernexperiment 1. Daarna kun je met de leerlingen nog even napraten over 'temperatuur' en de 'temperatuur van water' en waarom de 'uitvinding' van het begrip temperatuur in de 18^e eeuw eigenlijk zo moeizaam ging.

Van temperatuur naar temperatuur én warmte

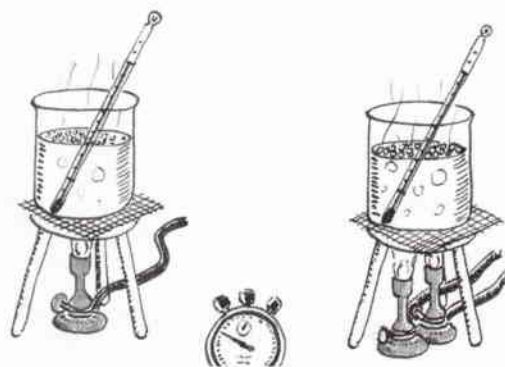
Temperatuur, zoals ingevoerd, is nog sterk aan de gewaarwording van het eigen lichaam gebonden en blijft dicht bij de concrete ervaring. Immers, de thermometer vervangt de warm-en-koud-zintuigen. Voor

warmte ligt dat een stuk moeilijker omdat warmte niet direct waarneembaar. Er bestaat geen 'warmtemeter'. Er is een duidelijk en verrassend experiment nodig om te laten merken dat je er met het begrip temperatuur alléén niet komt. Dat je een extra begrip nodig hebt: warmte.

Kernexperiment 2: hoe hoog kun je de temperatuur van water maken?

Je weet dat water warmer wordt als je de ketel op het vuur zet om water te koken. Dat de temperatuur niet meer stijgt als het water kookt, ook als je het blijft verwarmen, dát is verrassend. Dat is voor leerlingen een tegenspraak, die ze kunnen oplossen met het begrip warmte.

De docent zou kern-experiment 2 kunnen inleiden door de leerlingen te vragen hoe je de temperatuur van water kunt verhogen. De leerlingen zullen zeggen dat je het water moet verwarmen en, desgevraagd,



Figuur 3: Sommige leerlingen denken kokend water met twee branders wél boven de 100 °C te kunnen verhitten!

duidelijk maken dat je dat op verschillende manieren kunt doen. Je kunt het op het vuur zetten, op een elektrische plaat. Je kunt een dompelaar gebruiken of de magnetron. De docent kan dan vragen of de temperatuur maar blijft stijgen als je blijft verwarmen. Maar waarschijnlijk zullen de meesten vinden: *'het begint dan te koken. Daarna kan de temperatuur nog wel stijgen'*. Misschien zullen een paar leerlingen zeggen dat het na 100 °C niet verder stijgt. Wellicht dat dan een leerling komt met het argument: *dan zet je er twee branders onder, dan lukt het wel!*. Of een andere leerling die zegt: *als je een huis verwarmt, blijft de temperatuur toch ook niet altijd omhoog te gaan!* De beste mogelijkheid om uit te maken wie er gelijk heeft: *laten we de proef doen!*

Naar aanleiding van de discussie krijgen de leerlingen de opdracht uit te gaan zoeken hoe hoog de temperatuur van het water wordt als je maar blijft verwarmen. Elke groep krijgt dezelfde maat bekeerglas, bijv. 250 ml. Maar ze doen de proef allemaal op een iets andere manier. Sommigen krijgen 100 ml water, anderen 150 of 200 ml. Bij sommigen staat de brander laag, bij anderen juist hoog.

Om te zien wat er met de temperatuur van het water gebeurt tijdens het verwarmen moet de thermometer regelmatig afgelezen worden. Iedereen meet door tot dat de docent het sein tot stoppen geeft. De metingen worden in een tabel genoteerd. Daarin is ook ruimte voor bijzondere waarnemingen, zoals het gaan dampen van het water. Na afloop bespreekt de docent het experiment en met de klas trekt zij/hij de conclusie: bij

alle groepen komt de temperatuur van het water niet boven de 100 °C. Ook de verschillen krijgen de aandacht: bij het ene groepje kookt het water eerder en borrelt het harder dan bij het andere. Dat is reden om de metingen van de verschillende groepen met elkaar te vergelijken door een temperatuur-tijd grafiek te maken. Dan kan het gesprek gaan over de verschillen en overeenkomsten tussen de grafieken. De heftigheid van het borrelen van het water kan in verband gebracht worden met hoe hoog de warmtebron staat. Daarna kan de aandacht gericht worden op het proces van verwarmen. Het is duidelijk dat de warmtebron (gasvlam, dompelaar) iets 'doet' met het water: de temperatuur verhogen of het borrelen van water. Daarmee kan de stap van 'verwarmen' naar 'warmte toevoeren' gemaakt worden.

Een vervolg-experiment kan bestaan uit het omkeren: warmte halen uit stoom. Dat kan in een meer natuurkundige context: stoom door water leiden en de temperatuurverhoging en massa toename meten. Maar ook scheikundige contexten zijn geschikt: waarom moet je bij destilleren de destillatiekolf koelen?

Tot slot

We hebben betoogd dat de overgang van koud/warm naar temperatuur voor leerlingen van 13 jaar minder makkelijk is dan veelal gedacht wordt. Kernexperiment 1, de handen-in-water proef kan leerlingen daarbij helpen, als de aandacht wordt gericht op de onbetrouwbaarheid van je handen als instrument om warm/koud te 'meten'. Maar moeilijker is nog het

onderscheid tussen warmte en temperatuur. Daarbij kan kernexperiment 2 helpen, het meten van de temperatuur van water dat verhit wordt, tot het een tijdje kookt. Dat wordt een kernexperiment op het moment dat de aandacht wordt gericht op het koken: dan leidt het verwarmen niet tot temperatuurverhoging. In een volgend artikel zullen we ingaan op de vraag in hoeverre de huidige basisvormingsboeken voor natuur- en scheikunde gebruik maken van de hier geschetste inzichten. Kunnen TVS, Toepassing, Vaardigheden en Samenhang in de Basisvorming bereikt worden zonder aandacht voor begripsmatig lastige begrippen temperatuur en warmte? **X**

Noten

1. Zie o.a. A. Brok e.a. (1984) *Aspects of secondary students' understanding of heat*. University of Leeds, CLISP; R. Driver e.a. (1985) *Children's ideas in science*. Open University Press; A.E. van der Valk (1992) *Ontwikkeling in energie onderwijs*. Utrecht: CD Bèta press.
2. P. Vegting (1977) Luisteren naar leerlingen V - Warmte, *Faraday*.
3. Let op: koken heeft meerdere betekenissen, waarvan we er maar één in de natuurkunde gebruiken. Koken is:
 - verwarmen van water met de bedoeling er een hete drank, bijvoorbeeld thee, mee te bereiden
 - Water aan de kook brengen, verwarm water tot het kookpunt
 - water aan de kook houden
 - het water borrelt omdat het verwarmd wordt tot zijn kookpunt.
4. Een natuurkundestudent, bezig met het verschil tussen warmte en temperatuur, vertelde ons over zijn eigen schoolervaring: *Als je dat water aan het koken bent, je blijft maar warmte toevoegen en de temperatuur verandert niet. Dat is iets dat je als middelbare scholier niet zou verwachten. Ik kan me nog herinneren dat ik daar moeite mee had. Van: als je er nu twee gasbranders onder zet, dan zal de temperatuur wel hoger zijn bij koken, dacht ik dan.*

VRAGENBIO

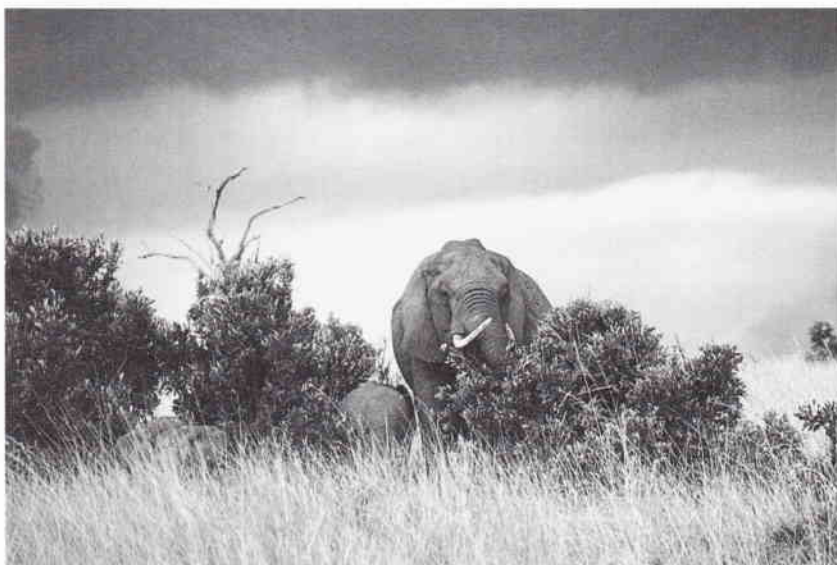
Tijdens een safaritocht in Masaai Mara National Parc in Kenia zag ik ongelooflijk veel wild. Meestal trokken de dieren zich niets van de bezoekers aan (leeuwen, olifanten en giraffen). Blijkbaar zijn ze gewend aan gemotoriseerde bezoekers. Je kunt ze dus goed bekijken.

En dat deden mijn reisgenoten en ik uitgebreid. Op een gegeven moment zagen we een kudde olifanten een vlakte oversteken, zo'n dertig olifanten, groot en klein. Sommige olifanten vielen telkens om en moesten door andere olifanten overeind geholpen worden. Ze konden nauwelijks op hun poten blijven staan. We dachten eerst dat deze olifanten gewond waren; tot de gids vertelde dat deze olifanten dronken waren omdat ze van de vruchten van de Marulaboom hadden gegeten. Toen zagen we ook dat sommige olifanten een slingerende gang hadden.

Ik heb hierbij de volgende vragen:

Kunnen olifanten (en andere dieren) inderdaad dronken raken van de vruchten van deze Marulaboom? Ik weet dat hij ook wel Olifantboom genoemd wordt en eveneens in het Zuidelijk deel van Afrika voorkomt.

Wat is de wetenschappelijke naam van deze boom? In het boek 'De wereld der planten' van H.C. D. de Wit is de Marula niet te vinden. In 'Die natuurluwe van Suider-Afrika' van V. Carruthers (er bestaat ook een Engelse uitgave van) is er



sprake van de Maroela (*Sclerocarya birrea*) en Valsmaroela (*Lannea schweinfurtii*). In een reisgids wordt hij genoemd onder de naam *Parkinsonia africana*. Al deze wetenschappelijke namen zijn weer niet terug te vinden in 'De wereld der planten'.

Marijke Domis

Weet u het antwoord, of een deelantwoord, dan kunt u reageren door te e-mailen naar: jt.boer@chello.nl of te schrijven naar Jan Theo Boer (Valkseweg Oost 49, 6741 ZL, Lunteren).