

IN BEGINNEND NATUUR- EN SCHEIKUNDE ONDERWIJS LEREN LEERLINGEN GELEIDELIJK AAN DE VAK-BETEKENIS VAN TEMPERATUUR EN WARMTE. IN EEN VORIG ARTIKEL (TWEDE KERNEXPERIMENTEN ROND TEMPERATUUR EN WARMTE, NVOX 10 (26E JRG), P. 534-537) HEBBEN WE HET DENKEN VAN LEERLINGEN VAN CA. 13 JAAR OVER WARM EN KOUD BESCHREVEN. WE HEBBEN BETOOGD, DAT TWEE KERNEXPERIMENTEN KUNNEN HELPEN BIJ HET ONTWIKKELEN VAN DE BEGRIPPEN 'TEMPERATUUR' EN 'WARMTE'. HET 'HANDEN-IN-HET-WATER' EXPERIMENT LAAT ZIEN DAT GEVOEL ONBETROUWBAAR IS ALS HET GAAT OVER VOELEN VAN 'WARM' OF 'KOUD'. ER IS EEN MEETINSTRUMENT NODIG: DE THERMOMETER. DAARMEE KAN VERVOLGENS HET BEGRIIP TEMPERATUUR WORDEN GEÏNTRODUCERD. HET TWEEDE KERNEXPERIMENT, HET METEN VAN DE TEMPERATUUR VAN WATER DAT VERHIT WORDT, IS NODIG OM TE LATEN ZIEN DAT VERWARMEN NIET ALTIJD TOT TEMPERATUURVERHOOGING LEIDT. SOMS BLIJFT DE TEMPERATUUR CONSTANT ONDANKS HET VERWARMEN, ZOALS BIJ KOKEN VAN WATER. LEERLINGEN ZIEN ZÓ DAT ER ONDSCHIED IS TUSSEN WARMTE EN TEMPERATUUR.

IN DIT ARTIKEL GAAN WE NA HOE BASISVORMINGSBOEKEN VOOR NATUUR- EN SCHEIKUNDE MET WARMTE EN TEMPERATUUR OMGAAN. KRIJGT DE INTRODUCTIE VAN DE BEGRIPPEN WEL ENIGE NADRUK? EN ZOJA, SPELEN 'ONZE' TWEE KERNEXPERIMENTEN DAAR EEN ROL IN?

TECHNISCHE UNIVERSITAIRE LERAREN OPLEIDING
(TUULO), TU DELFT / CENTRUM VOOR DIDACTIEK
VAN WISKUNDE EN NATUURWETENSCHAPPEN,
UNIVERSITEIT UTRECHT

TEMPERATUUR EN WARMTE IN DE NATUUR- EN SCHEIKUNDE BOEKEN VOOR DE BASISVORMING

We hebben zeven leerboeken onderzocht. Ze zijn alle in gebruik in tweede klassen havo-vwo. We bekeken de meest recente druk.

De boeken zijn [met tussen haken de afkortingen die we zullen gebruiken]:

Hogenbirk, P.G. e.a. (1999), *Natuur- en scheikunde OVERAL*, 2 mHV, Houten: Educaboek, 2^e druk. [OVE]
Kamper, R. e.a. (1995), *ZIPPER, Natuur- en scheikunde voor de basisvorming*, deel 1 VWO/HAVO/MAVO-VBO, Leiden: SMD bv [ZIP]
Jonge, R. de, e.a., (1999). *Natuurkunde en Scheikunde NU VOOR STRAKS*, 2 hv, tweede druk. Zutphen: Thieme. [NU]
Brinke, L. te, e.a. (1994). *SCAN Natuur- en scheikunde voor de basisvorming*, 2 mHV. Groningen: Wolters Noordhoff. [SCA]
Bruins, P., e.a. (2001). *PULSAR basisvorming plus, NaSk*, deel 1 havo-vwo. Groningen: Wolters Noordhoff. [PUL]
Smits, Th., e.a., (1998). *NOVA*, 2mHV. Den Bosch: Malmberg. [NOV]
Crommetuyn, J.L.M., e.a. (2000). *BANAS, basisvorming natuur- en scheikunde*, vmbo(KGT)-havo-vwo. Voorschoten: Uitgeverij Educatief [BAN]

1

TEMPERATUUR EN WARMTE IN DE INDEX

Een index is bedoeld om de onderwerpen die in een boek zijn behandeld, makkelijk terug te zoeken. We zijn nagegaan of temperatuur en warmte vermeld worden. Het resultaat staat in tabel I.

	OVE	ZIP	NU	SCA	PUL	NOV	BAN
temperatuur	+	-	+	-	+	-	+
warmte	+	+	+	+	-	-	+

Tabel I. Voorkomen van de begrippen 'temperatuur' en 'warmte' in de index:
+ komt voor; - staat niet in de index.

In de index van vier van de zeven boeken ontbreekt één van de twee begrippen. Bij één -NOVA- ontbreken ze beide. Sommige termen, die met het ontbrekende begrip samenhangen, worden wel in de index vermeld. In de index van SCA ontbreekt bijvoorbeeld temperatuur, maar wordt thermometer wel genoemd. NOV noemt warmte niet, maar wel 'thermogram', 'thermoskan', 'warmtebron', 'warmtewisselaar' en 'warmtetransport'. Er is zelfs een hoofdstuk dat *Warmte* heet! De conclusie dat de begrippen temperatuur en warmte niet in het boek voorkomen, is dus niet juist; ze worden alleen vaak bekend verondersteld, zodat het niet nodig zou zijn om ze terug te zoeken. Deze resultaten duiden erop dat onderschat wordt hoe moeilijk de begrippen temperatuur en warmte voor tweedeklassers zijn.

WARM EN KOUD VOELEN

We hebben in ons vorige artikel betoogd dat het aspect 'voelen' voor leerlingen van groot belang is bij de introductie van temperatuur. Daarom vinden we de 'handen-in-water' proef een kernexperiment dat iedere leerling gedaan moet hebben. In deze paragraaf gaan we na of 'voelen' en in het bijzonder kernexperiment 1 in de bestudeerde boeken inderdaad een rol spelen.

In sommige van de boeken wordt bij het introduceren van temperatuur inderdaad een beroep gedaan op ervaringen met het *voelen* van warm en koud. Om een idee te geven hoe, citeren we 'NU' (p. 57).

Petra heeft een hele tijd buiten in de kou gelopen. Zij gaat een niet verwarmde schuur binnen en vindt het daar lekker warm. John heeft een hele tijd in een warme kamer gezeten. Hij gaat dezelfde schuur binnen, maar vindt het daar knap koud.

Vraag: Wie heeft gelijk? Petra of John?

Conclusie: met je gevoel kun je de temperatuur niet goed vaststellen. Iedereen weet dat je de temperatuur met een thermometer meet. ...



Gevoel, ervaren komt aan bod. De introductie van de thermometer wordt verder in verband gebracht met de onbetrouwbaarheid van voelen van warm/koud met je lichaam. In tabel II noteren we de resultaten; NU krijgt een + in de rij *voelen*.

PUL gaat verder en biedt de leerlingen een nieuwe, verrassende ervaring op het gebied van warm/koud voelen. Zij laat een variant op de 'hand-in-water' proef uitvoeren: de 'vinger-in-water' proef (p. 15).

Je hebt drie bekers water; één met heel koud, één met warm en één met lauw water.

- Steek een vinger van je ene hand in het warme water en een vinger van je andere hand in het koude water.
 - Steek na ongeveer een halve minuut beide vingers in het lauwe water.
1. Voelt het lauwe water bij beide vingers even lauw aan?
 2. Vind je een vinger geschikt voor het meten van temperatuur?

Ook PUL krijgt een + in de tabel II bij *voelen*. PUL richt de aandacht weliswaar op de meet-context maar laat het noemen van de thermometer als het instrument dat objectief meten van de temperatuur mogelijk maakt in dit verband achterwege!

PUL (p. 16.) voegt aan het experiment verwerkingsvragen toe. We citeren er één:

Het is 28 °C. Elsa ligt te zonnen. Ze duikt in het verwarmde zwembad. Leg uit waardoor het water koud aanvoelt.

Na een ervaring in één situatie wil je graag dat leerlingen hetzelfde verschijnsel ook in andere situaties herkennen. Dat vinden we sterk. PUL richt de aandacht weliswaar op de meet-context maar laat het noemen van de thermometer als het instrument dat objectief meten van de temperatuur mogelijk maakt in dit verband achterwege! NOV (p. 34) benadrukt ook die meet-context wel maar laat kernexperiment 1 weg:

De temperatuur bepalen

Je gevoel voor warm en koud is niet erg betrouwbaar. Als het 's winters waait lijkt het kouder dan het in werkelijkheid is. Lauw water voelt heet aan als je koude vingers hebt.

Als je de temperatuur van de lucht precies wilt bepalen, heb je een thermometer nodig

De resultaten staan samengevat in tabel II.

	OVE	ZIP	NU	SCA	PUL	NOV	BAN
<i>voelen</i>	-	-	+	-	+	+	-
<i>kern-experiment 1</i>		-		+	-		

Tabel II Aandacht voor voelen bij de introductie van 'temperatuur'? (een + onder voelen is ja, een - nee) Of wordt kernexperiment 1 zelfs uitgevoerd?

Uit deze tabel blijkt dat drie boeken temperatuur introduceren door een verband met het 'voelen' van warm en koud te leggen. PUL doet kernexperiment 1, maar legt geen duidelijke relatie met meten met de thermometer. NU en NOV doen de proef niet, maar besteden wel aandacht aan de thermometer als 'oplossing' voor de onbetrouwbaarheid van het voelen.

WAT IS TEMPERAATUUR?

In ons vorige artikel hebben we ervoor gepleit om temperatuur in de tweede klas een eerste, voorlopige betekenis te geven als *datgene wat de thermometer meet*. Een operationele definitie van temperatuur dus. We hebben geargumenteed dat de relatie van temperatuur met de beweging van moleculen in klas 2 nog achterwege mag blijven. We onderzoeken in hoeverre schoolboeken het met ons eens zijn.

In één boek treffen we een operationele definitie aan.

Conclusie: met je gevoel kun je de temperatuur niet goed vaststellen. Iedereen weet dat je de temperatuur met een thermometer meet. ...

Temperatuur is de grootte die je met een thermometer meet. (NU p. 57)

We noteren een + in de eerste rij van tabel III.

ZIP en SCA gebruiken de thermometer 'gewoon'. Zij besteden dus geen aandacht aan de vraag wat temperatuur is. We noteren een '-' in tabel III. In de drie overblijvende boeken vinden we zinnen die vaak verwijzen naar de operationele definitie:

Met een thermometer kun je temperatuur van iets meten. (OVE p. 29) of

Vloeistoffen zetten uit wanneer de temperatuur stijgt. Daarvan wordt gebruik gemaakt bij een vloeistofthermometer....(BAN p. 25)

We noteren voor hen '±' in de eerste rij van tabel III.

	OVE	ZIP	NU	SCA	PUL	NOV	BAN
Wat de thermometer meet	±	-	+	-	±	±	±
Relatie met moleculen	+		+		-	-	-

Tabel III. Omschrijving van 'temperatuur'

De relatie met van temperatuur met een molecuulmodel wordt in twee boeken gelegd. Zij krijgen een + in de tweede rij van tabel III. In NU (p. 76) staat bijvoorbeeld:

Algemeen geldt dat moleculen bij een hogere temperatuur sneller bewegen

In OVE wordt een heel hoofdstuk (hoofdstuk 7, 'Deeltjes en Modellen') aan het molecuulmodel besteed met onder andere de volgende zin:

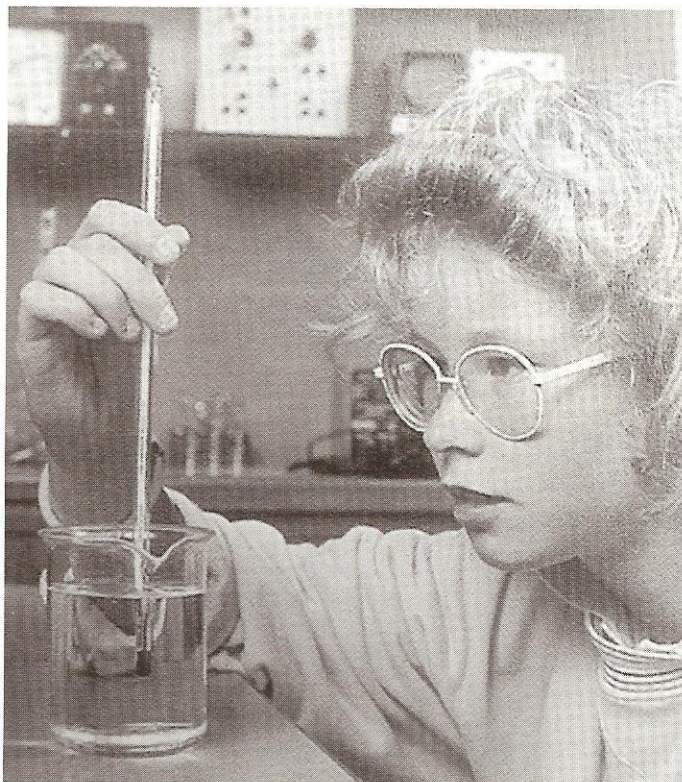
Bij verwarmen gaan de moleculen sneller bewegen. Het voorwerp als geheel zet uit (p. 178)

We concluderen dat slechts twee boeken aandacht besteden aan de vraag wat temperatuur is. Ze leggen de relatie met moleculen. Eén van de twee geeft bovendien de operationele definitie. De andere boeken besteden geen aandacht aan deze vraag. Blijkbaar is het antwoord 'wat de thermometer meet' niet bevredigend en kiezen de meeste auteurs voor het weglaten van een antwoord of voor een (te) diepgaand antwoord. Toch is het geven van de operationele definitie volgens ons voor leerlingen wel bevredigend.

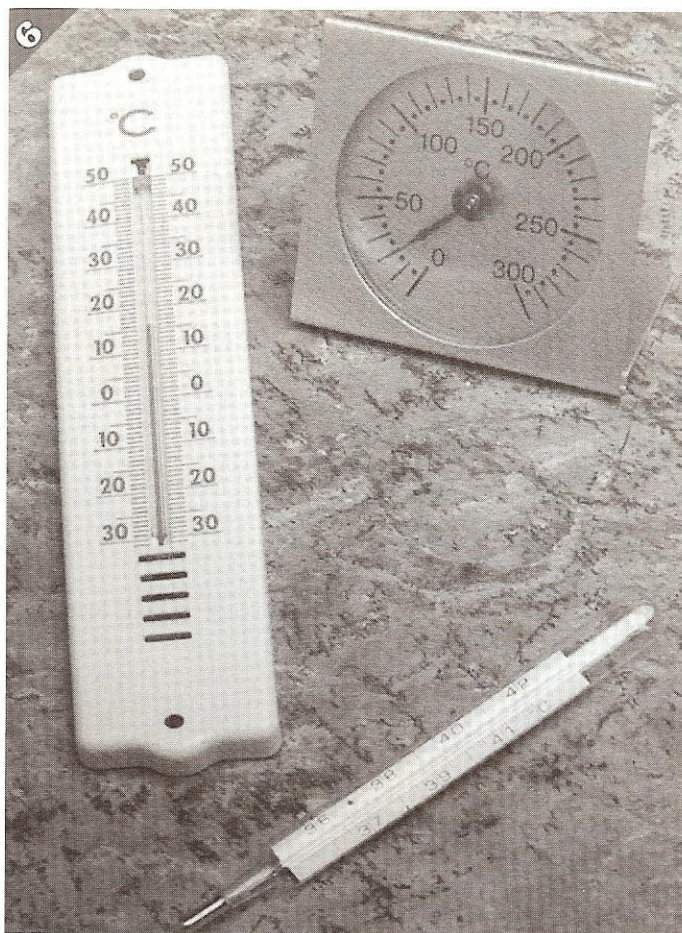
OMGAAN MET DE THERMOMETER

In ons vorige artikel hebben we bepleit dat er aandacht moet worden besteed aan het meten met de thermometer, omdat een aantal cruciale aspecten niet vanzelfsprekend zijn:

- het belang van het *contact*: het reservoir moet in het water zitten
- het verschil tussen een koortsthermometer en een gewone thermometer
- het oefenen met aflezen.



Aandacht voor het aflezen van de thermometer (NU, p. 29)



Omgaan met thermometers: bereik (PUL, p 15)

Vinden we deze aspecten terug in de basisvormingsboeken?

PUL (p. 16) besteedt inderdaad aandacht aan het contactaspect van de meettechniek:

Om bij de proef van opdracht 12 het 100°C punt te zetten, haalt Neenke de thermometer uit het kokende water. Ze legt hem op tafel en zet het streepje.

a. Welke fout maakt Neenke?

b. Leg uit of Neenke met deze thermometer een te hoge of een te lage temperatuur meet.

NOVA (p. 34) legt enige nadruk op de problematiek bij het gebruiken van de klassieke koortsthermometer: waarom mag je die niet schoonmaken met heet water? Er wordt ook uitgelegd (p. 34) waarom je deze thermometer moet afslaan.

...voorkomt de vernauwing dat het kwik meteen weer terugloopt naar het reservoir. Daarna moet je de thermometer 'afslaan'

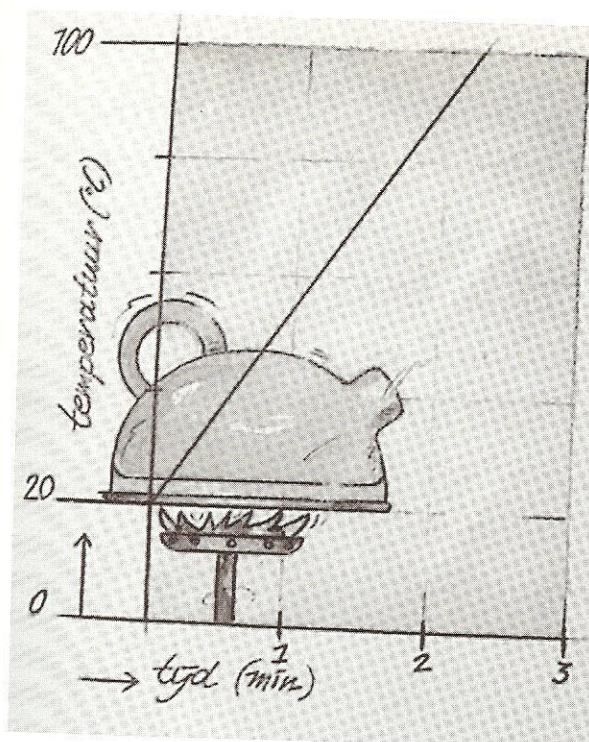
Ook NU meldt dit, de overige boeken besteden er geen aandacht aan.

Alle boeken geven de leerlingen een aantal gelegenheden de thermometer af te lezen. Twee doen dat expliciet met het oog op het laten oefenen van het aflezen. OVE (p. 29) benadrukt correct aflezen van de thermometer.

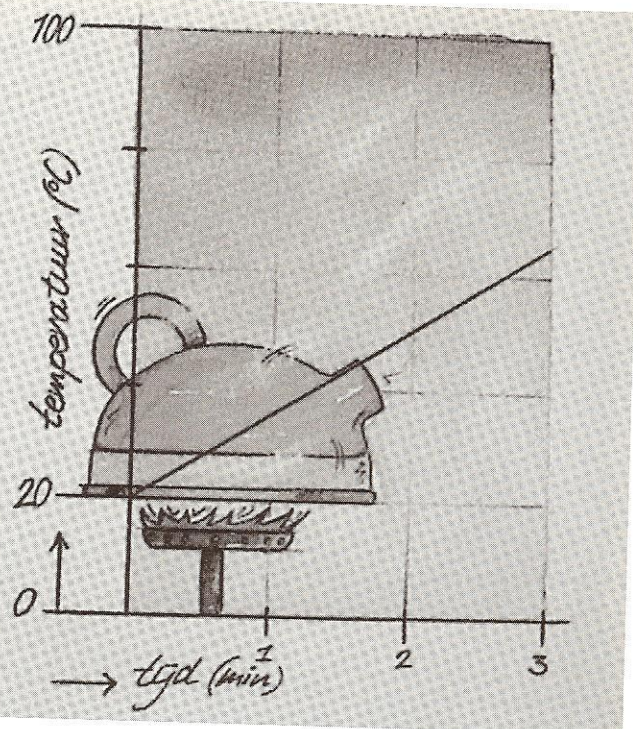
Met een thermometer kun je de temperatuur van iets meten.....

Houd je ogen op gelijke hoogte met de stand van de vloeistof. Dan kun je op de schaalverdeling nauwkeurig de temperatuur aflezen....

We vragen ons wel af of het vermijden van parallax bij het aflezen van een schaal zo relevant is bij het aflezen van de thermometer. Wij vinden het interpoleren, dat door PUL (p. 15) geaccentueerd wordt, belangrijker interpoleren:



Water verwarmen (NOV, p. 51)



Hoe lees je een thermometer af?

.....

3. Ga na hoeveel elke stap tussen de twee getallen is (dat wil zeggen tel het aantal streepjes tussen de twee getallen).

[Vervolgens komen er enkele vragen over het bereik en aflezen van enkele thermometers.]

Vijf van de zeven boeken laten de leerlingen een thermometer iijken. In die proef komen het contact-aspect én het aflezen van de thermometer aan de orde, maar in een complexe situatie. De leerlingen moeten dan eigenlijk al weten, dat de temperatuur van smeltend ijs en kokend water constant is en dat de vloeistof in de thermometer evenredig met de temperatuur uitzet.

	OVE	ZIP	NU	SCA	PUL	NOV	BAN
afleestechiek	parallax	-	-	-	interpo leren	-	Bereik en nauw keurigheid
warmtecontact	-	-	-	-	contact	verschil koorts	verschil koorts
ijken	+	-	+	-	+	+	+

Tabel IV. Gebruik van de thermometer

In tabel IV kunnen we zien dat er in schoolboeken weinig aandacht is voor de essentiële aspecten van het aflezen van de temperatuur. In plaats daarvan komt de complexe situatie, zoals het iijken van een thermometer, veel voor.

HET VERSCHIL TUSSEN WARMTE EN TEMPERAATUUR

In ons eerdere artikel bepleitten we warmte in te voeren ná de introductie van temperatuur. Verwarmen wordt door leerlingen met temperatuurstijging of met 'op temperatuur houden' geassocieerd. Wij willen de aandacht richten op het verschil tussen warmte en temperatuur¹, op een situatie waarbij je de temperatuur niet omhoog kunt krijgen, hóeveel warmte je ook toevoert. Dit gebeurt tijdens het koken van water! Dat is ons tweede kern-experiment.

We gaan na of en op welke manier de schoolboeken aandacht besteden aan de verschillen tussen temperatuur en warmte.

In één boek wordt er een zin aan gewijd: "Toch is warmte niet hetzelfde als temperatuur" (SCA, 3^e klas p. 16). Wat het verschil is, wordt niet toegelicht! Dus SCA krijgt een - in de rij 'verschil tussen

T en Q in woorden' in tabel V. Slechts één ander boek krijgt een + in die rij: NU uit de onderzochte serie meldt expliciet dat warmte niet hetzelfde is als temperatuur. Er wordt zelfs een proef (p. 114) beschreven om dit verschil duidelijk te maken.

Proef 1: Warmte is niet hetzelfde als temperatuur!

- Vul een goed geïsoleerd vat met water van ongeveer 50°C. Vul een bekglas, dat ruim in het vat moet passen met smeltend ijs (helft water, helft ijs). De hoeveelheid warm water in het grote vat mag niet teveel verschillen van de hoeveelheid water+ijs in het bekglas.
- Plaats in het warme water en in het smeltend ijs een thermometer. Zet het bekertje in het warme water en meet elke minuut snel na elkaar de beide temperaturen. Doe dit tien keer, waarbij je geregeld voorzichtig met de thermometers roert.

Vragen bij de proef:

...

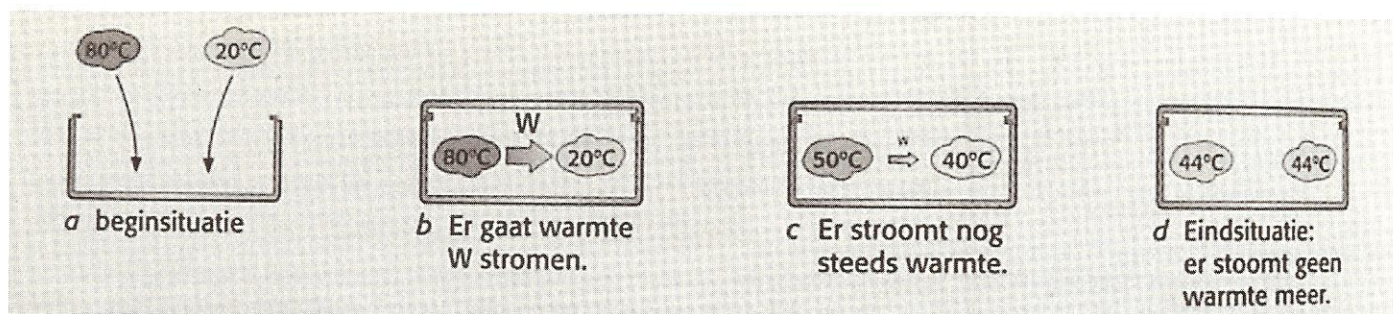
Leg uit dat met deze proef is aangetoond dat warmte en temperatuur verschillende grootheden zijn.

Uit proef 1 volgt dat warmte duidelijk iets anders is dan temperatuur. Maar warmte is wel een gevolg van temperatuurverschillen²! Kijk maar naar de volgende tekeningen, waarin voorgesteld wordt wat er kan gebeuren als je een voorwerp van 80°C in een geïsoleerde ruimte zet bij een voorwerp van 20°C.

Warmte gaat van een plaats met een hoge temperatuur naar een plaats met lage temperatuur.

Deze proef richt de aandacht ook op het constant blijven van de temperatuur bij een fase-overgang. Alleen smelten wordt bekeken! Deze proef komt dicht bij ons kernexperiment². Maar de proef staat of valt met het inzicht van leerlingen dat afkoelen het afgeven van warmte is. Veel tweede-klas leerlingen hebben dat inzicht niet. Zij hebben het idee dat afkoelen min of meer 'vanzelf' gaat. We betwijfelen daarom of deze proef wel overtuigend is.

Het leerlingen-experiment 'water koken' komt in vier van de zeven boeken voor. Zij krijgen een + in de tweede rij van tabel V). Geen van de boeken gebruikt het om de verbazing op te wekken over het feit, dat je wél verwarmt en de temperatuur toch niet hoger dan 100°C wordt. Het experiment wordt gebruikt om praktische vaardigheden te oefenen (grafieken maken bijvoorbeeld- NOV, werkboek p. 54),



Warmte stroomt (NU, p. 114.

om te leren waarnemen ('Wat zie je gebeuren als je water verwarmt?' - OVE, p. 12) of om de werkwijze van de natuurwetenschappen te illustreren ('Een experiment kan helpen' - ZIP, p. 14). Water koken wordt ook gebruikt om het *kookpunt* te bepalen (BAN, werkboek p. 106). Volgens ons moeten de leerlingen zich eerst realiseren dat er een kookpunt *is*, d.w.z. dat de temperatuur daar niet meer stijgt ondanks de warmtetoevoer.

Deze bevindingen staan samengevat in tabel V.

	OVE	ZIP	NU	SCA	PUL	NOV	BAN
Verskil T en Q in woorden	-	-	+	-	-	-	-
Water koken-experiment	+	+	-	-	-	+	+

Tabel V. De introductie van warmte, met name het verschil met temperatuur. Omdat geen van de boeken kernexperiment 2 doet, is dit niet in de tabel opgenomen.

Dat water kookt bij 100° wordt meestal als feit gepresenteerd. Dat is vanzelfsprekend! Dat gebruik je al eerder bij het in schoolboeken zo populaire iken van de thermometer.

Warmte wordt in verband gebracht met het laten stijgen van de temperatuur. Toch is het de vraag of het verband tussen warmtetoevoer en temperatuurstijging nu wel zo geschikt is om het verschil tussen warmte en temperatuur aan te tonen: het wijst meer op een overeenkomst! Geen enkel boek brengt warmte in verband met koken of aan de kook houden, hoewel ZIP (p. 237) in de buurt ervan komt:

Kokend water blijft op dezelfde temperatuur, hoe hoog de vlam ook staat.

En NOV (p. 37) blijft over 'verwarmen' spreken waar wij warmte toevoeren zouden prefereren:

Als je doorgaat met verwarmen, blijft het water koken tot het helemaal verdampt is. De temperatuur van het water blijft daarbij steeds 100°C. Deze temperatuur noem je het kookpunt van water.

Ook afkoelen wordt nauwelijks met warmte afvoeren in verband gebracht. NOV (p. 59) bijvoorbeeld:

Als in een koude kamer een gaskachel brandt, zal de temperatuur in die kamer stijgen. Als alle warmte van de gaskachel in de kamer zou blijven, zou de temperatuur voortdurend blijven stijgen. In werkelijkheid gebeurt dat niet: ... lekt. Naarmate de temperatuur tussen binnen en buiten groter wordt, zal er steeds meer warmte naar buiten verdwijnen.

Ook OVE (p. 28) komt in de buurt:

Je voorkomt daarmee dat je lichaam warmte verliest.

maar dit kan door leerlingen makkelijk opgevat worden als 'je lichaam verliest temperatuur'.

NU (p.114) maakt gebruik van een tekening waarin een voorwerp afkoelt terwijl er warmte stroomt (figuur 4).

We zien (zie ook tabel V), dat het verschil tussen warmte en temperatuur weinig aandacht krijgt. Het experiment 'water koken' wordt weliswaar uitgevoerd, maar nauwelijks benut voor de lastige didactiek rond temperatuur en warmte.

CONCLUSIE EN DISCUSSIE

Het temperatuurbegrip wordt in de Nederlandse basisvormingsboeken weinig geproblematiseerd. Kernexperiment 1 speelt niet de kernrol die wij zouden verwachten. Je meet 'gewoon' de temperatuur, zoals 'iedereen weet', met een thermometer. De conceptuele basis voor temperatuur wordt niet duidelijk gelegd. Daarnaast vinden we dat leerlingen overschat worden als verondersteld wordt dat zij een thermometer correct kunnen aflezen en gebruiken. Wij zouden meer aandacht willen voor de technische details van het meten met de thermometer.

Het verschil tussen temperatuur en warmte wordt niet of niet goed uitgelegd in de meeste basisvormingsboeken. De leerlingexperimenten zijn nauwelijks toegespitst op die fysische begripsontwikkeling met betrekking tot het verschil tussen warmte en temperatuur. Ze zijn alleen te begrijpen, als je dat verschil al snapt! Het kook-experiment wordt weliswaar gedaan, maar niet in de bedoelde context, met het oog op het ontdekken van het kookpunt. Dit toont aan dat er in de basisvormingsboeken geen aandacht is voor de erkend lastige didactiek rond temperatuur en warmte.

De omslag die leerlingen moeten maken naar correct fysisch taalgebruik rond temperatuur en warmte wordt daarmee gehinderd. We vrezen dat de begrippen temperatuur en warmte hardnekkig door elkaar gehaald worden door de leerlingen, die slechts alléén basisvorming hebben genoten!

We vinden weliswaar TVS (toepassing, vaardigheid en samenhang) in de basisvormingsboeken, maar mag dat ten koste gaan van begripsontwikkeling?? Moeten de eindtermen op dit punt niet een beetje steviger? En ligt hier ook niet een verantwoordelijkheid voor de schoolboek-auteurs? Wij wachten vol spanning op de nieuwe generatie basisvormingsboeken.

X

NOTEN

1. Dit ondanks het feit dat in de kerndoelen basisvorming voor Natuur- en Scheikunde niet staat dat leerlingen het verschil tussen warmte en temperatuur moeten kunnen uitleggen.
2. Hier staat een bijzonder zinnetje: 'Maar warmte is wel een gevolg van temperatuurverschillen!' waarvan de betekenis onduidelijk is! Kennelijk moet je doorlezen: warmte gaat van een plaats Warmte IS dus NIET, maar warmte gaat, of warmte stroomt ten gevolge van een temperatuurverschil.