

## Een didactische structuur van kookpuntbegrippen Een voorbeeld van onderzoek naar begripsontwikkeling

M. Goedhart en A.H. Verdonk  
Vakgroep Chemiedidactiek,  
Centrum voor didactiek van wiskunde en natuurwetenschappen  
Rijksuniversiteit te Utrecht

### Summary

*In this article an example is given of a way to describe a process of conceptual development by analyzing protocols from discussions between students and teachers. From these protocols it appeared that first year chemistry students interpreted the concept of 'boiling point' in different ways. Some of these interpretations differed from usual interpretations found in chemistry textbooks.*

*We present a part of a laboratory course aiming at encouraging students to ask questions about the nature of the boiling point concept. Conceptual development - interpreted as productivity in discussions - is apparent in one of the protocols.*

*A tentative educational structure is presented, including several boiling point concepts and different kinds of apparatus to measure boiling points. We expect such an educational structure to be an important source of new teaching material.*

*The possible role of Van Hiele-levels in further developing this structure is discussed.*

### 1. Inleiding

Het koken van vloeistoffen wordt weliswaar in veel scheikunde-onderwijsboeken voor de derde klas havo/vwo al in een vroegtijdig stadium als een fysisch proces betiteld<sup>1</sup>, maar dat betekent niet dat het verschijnsel 'koken' vanaf dat moment in het scheikunde-onderwijs geen rol meer speelt. Meestal wordt al vrij snel na de categorisering van 'koken' als fysisch proces het kookpunt als stoffeigenschap opgevoerd, waaraan de 'zuivere stof' te herkennen zou zijn.

<sup>1</sup>Een zuivere stof heeft bepaalde scherpe waarden voor de stoffeigenschappen smeltpunt en kookpunt" (Picren e.a. 1983, p. 17)

Mengsels zouden dan te herkennen zijn aan het feit dat ze geen scherpe waarde voor het kookpunt zouden hebben, maar een kooktraject<sup>2</sup>. Zo vinden we in het havo/vwo-scheikundeboek 'Chemie' het volgende fragment:

"Zuiver water heeft een kookpunt van precies 100°C, de temperatuur blijft 100 °C totdat al het water verkokt is. Als het water niet zuiver is, is de temperatuur waarbij het water begint te koken niet meer precies 100°C en bovendien stijgt de temperatuur van de vloeistof iets tijdens het koken, er is een kooktraject, geen kookpunt" (Pieren e.a., 1983, p.17).

In het beroepsgerichte chemie-onderwijs (technisch onderwijs, laboratorium onderwijs, wetenschappelijk onderwijs) speelt het koken van vloeistoffen vooral een rol bij het scheiden van mengsels van vloeistoffen door middel van destillatie. Vooral bij de synthese van organische stoffen wordt destillatie gebruikt om het gewenste product te isoleren van nog aanwezige uitgangsstoffen en van nevenproducten.

Met name in het wetenschappelijk onderwijs wordt het koken van vloeistoffen ook in een thermodynamische context aan de orde gesteld. De fasenleer - die de eigenschappen van heterogene systemen bestudeert - is van belang als mogelijke theoretische onderbouwing van scheidingsprocedures die gebruik maken van faseveranderingen, zoals destillatie.

Binnen de vakgroep chemiedidactiek van de Rijksuniversiteit te Utrecht wordt didactisch onderzoek verricht dat op één of andere wijze te maken heeft met het koken. De relatie tussen onderwijs in fasenleer en het leren destilleren door eerstejaars studenten is onderzocht door Mulder. Dit onderzoek heeft geresulteerd in de productie van een video-instructiefilm 'leren destilleren' en een practicum-experiment 'dampdruk boven een vloeistof bij verschillende temperaturen' (Derissen & Van Roon, 1983). Door Van Keulen is een evaluatie-onderzoek van dit practicumexperiment uitgevoerd (Van Keulen, 1988). Onderwijsproblemen die kunnen optreden bij het meten van kookpunten zijn in het promotie-onderzoek van Goedhart (1990) aan de orde gekomen.

In dit artikel gaat het vooral om een gedeelte uit dit laatste onderzoek, omdat dit enkele didactische aspecten van het begrip 'kookpunt' verhelderde. Dit onderzoek heeft weliswaar betrekking op eerstejaars universitair onderwijs maar heeft een duidelijke relatie met het daaraan voorafgaande vwo en dat lijkt met betrekking tot de behandeling van een begrip 'kookpunt' sterk op het havo, zodat het onderzoek ook voor deze vormen van secundair onderwijs van belang is.

## 2. Didactisch onderzoek

In het onderzoek is getracht zoveel mogelijk de onderwijssituatie zelf te bestuderen. Dat betekent in ons geval dat het onderzoek werd verricht in de onderwijsruimten van het 'meten en maken I'-practicum voor eerstejaars scheikundestudenten van de RUU. We hebben observaties uitgevoerd bij de uitvoering van practicumexperimenten door studenten op de practicumzaal. Naar aanleiding van de experimenten werden gesprekken gevoerd tussen studenten onderling en tussen studenten en assistenten in een bij de practicumzaal gelegen

theorielokaal. Deze gesprekken werden door de aanwezige onderzoeker genoteerd en bovendien vastgelegd op geluidsband. De gesprekken werden letterlijk uitgeschreven tot protocollen en vervolgens geanalyseerd.

Protocolanalyse biedt de mogelijkheid een proces van begripsontwikkeling in de onderwijssituatie zelf - zij het achteraf - te volgen. Bovendien biedt protocolanalyse het voordeel dat niet alleen het leren onderzocht wordt maar tegelijkertijd ook het onderwijzen. Daarmee is er de mogelijkheid dat inzicht wordt verkregen in de interpretaties en argumentaties van studenten en daarnaast van docenten, en dat ook inzicht ontstaat in de wijze waarop die interpretaties kunnen veranderen in de onderwijssituatie. Het leren en onderwijzen van docenten kan dan ook aandacht krijgen in samenhang met het leren van studenten. Het onderwijsleerproces als geheel wordt dan object van onderzoek.

In navolging van Ten Voorde (1977) hebben wij gekozen voor een iteratief onderzoeksproces gepaard gaande met cycli van onderwijsvernieuwing. In de nulde cyclus wordt het bestaande onderwijs geëvalueerd. Naar aanleiding daarvan kan een eerste onderwijsontwerp worden gemaakt en uitgevoerd en kunnen onderzoeksthema's worden aangegeven. In volgende cycli wordt ontworpen onderwijs steeds geëvalueerd, kunnen de onderzoeksthema's nader worden gespecificeerd en worden nieuwe onderwijsontwerpen gemaakt en uitgevoerd. Aan het in dit artikel gerapporteerde deel van het onderzoek zijn verschillende cycli vooraf gegaan. Voor een beschrijving hiervan wordt verwezen naar de dissertatie van Goedhart (1990).

Een dergelijke cyclische opzet biedt de mogelijkheid tot het genereren van een didactische structuur. Een didactische structuur kan opgevat worden als een netwerk van begrippen (in dit geval chemische begrippen) volgens welk een productief proces van begripsontwikkeling kan verlopen. De vraag is dan welk criterium wij aanleggen om te kunnen spreken van produktiviteit. Wij zullen dit in §3 en §4 van dit artikel aan de hand van een concreet geval toelichten. Wel willen we reeds op deze plaats aangeven dat dit criterium samenhangt met de door ons gehanteerde onderzoeksmethoden observatie en protocolanalyse. De produktiviteit moet dus in het handelen en/of spreken in onderwijssituaties aanwijsbaar zijn.

Een didactische structuur bestaat voor een chemisch onderwerp weliswaar uit chemische begrippen maar dat betekent niet dat deze binnen de huidige chemie algemeen gangbaar hoeven te zijn. Zo kan het nodig zijn in een didactische structuur nieuwe begrippen in te voeren (zoals 'spoorloos' bij Ten Voorde (1981)), in de huidige chemie niet meer gebruikte begrippen opnieuw in te voeren ('equivalentgetal' bij Vogelezang (1990)), bestaande begrippen in een veranderde of meer expliciete betekenis te hanteren ('reagens' bij Ten Voorde (1979), 'kringloopreactie' bij Van Driel (1990)). Deze begrippen komen onder de hier genoemde namen in de onderwijsteksten voor leerlingen of studenten

voor. Daarnaast zijn er begrippen die voor docenten en onderzoekers functioneren ter beschrijving van een didactische structuur, zoals 'stofindividue' (Ten Voorde, 1978b).

Een didactische structuur geeft een soort ruggegraat voor het in te richten onderwijs. Allerlei keuzes met betrekking tot de inhoud moeten dan nog gemaakt worden, bij voorbeeld voor wat betreft te programmeren experimenten, al is het wel zo dat door de didactische structuur criteria aan deze experimenten opgelegd zullen worden.

Als doel van chemiedidactisch onderzoek zien we nu het genereren van didactische structuren (zie ook De Vos, 1986). Een didactische structuur is een alternatief voor bestaande onderwijsstructuren (een beschrijving van een dergelijke structuur voor middelbaar scheikunde-onderwijs onder de naam 'vakstructuur' is gegeven door De Vos & Verdonk (1990)). Van bestaande onderwijsstructuren is inmiddels aangetoond dat, als deze als uitgangspunt voor het onderwijs worden gebruikt, daarin voor lerenden allerlei blokkades liggen (Ten Voorde 1983a,b; Van Soest e.a., 1988). Dit kan verklaard worden als we bedenken dat bestaande onderwijsstructuren zijn ontstaan als reconstructies van chemische kennis door experts (docenten, leerboekenauteurs, leerplanontwerpers) en dat deze niet noodzakelijkerwijze productief hoeven te zijn bij de constructie van chemische kennis door lerenden in een proces van begripsontwikkeling. Bestaande onderwijsstructuren staan dan ook in het kader van onderzoek naar begripsontwikkeling voor ons nadrukkelijk ter discussie (zie ook Ten Voorde, 1987).

### **3. Het practicumexperiment 'kookpunt van oplossingen'**

In het kader van een didactisch onderzoek naar 'leren meten' (Goedhart, 1990) is een practicumexperiment 'kookpunt van oplossingen' ontwikkeld. De bedoeling was dat in dit experiment studenten zouden komen tot een constructie van een verband tussen de samenstelling van oplossingen van vaste stoffen in water en het kookpunt van deze oplossingen.

Kenmerkend voor het practicumexperiment was dat studenten deels zelf de metingen ontwierpen en vervolgens ook uitvoerden. Meetcondities werden in de practicumhandleiding zo weinig mogelijk gespecificeerd. Studenten werkten in tweetallen aan het ontwerp en de uitvoering van de metingen. In een groepsbespreking achteraf werd beoogd om naar aanleiding van de door de studenten verkregen resultaten tot evaluatie van de ontwerpen te komen. Deze groepsbesprekingen werden gevoerd door 4 tweetallen studenten en een assistent. De van de gesprekken gemaakte protocollen bleken zicht te geven op de interpretaties en argumentaties van studenten.

In het eerste deel van het experiment werd studenten gevraagd het kookpunt van 'zuiver water' en van een oplossing van ureum in water te meten. Het

in de inleiding weergegeven fragment uit 'Chemie' werd in de studentenhandleiding geciteerd, waarna de volgende opdrachten werden gegeven:

- 2.1. Bedenk zelf een opstelling om het kookpunt van water te bepalen, bouw deze en meet het kookpunt. Komt dit gemeten kookpunt overeen met bovenstaande uitspraak? Zo nee, waarom niet?

Vervolgens gaan we onderzoeken wat de invloed van opgeloste stof in water is op het kookpunt van water. Daartoe lossen we ureum op in water, en bepalen opnieuw het kookpunt. We kiezen hier ureum ( $\text{H}_2\text{N}(\text{CO})\text{NH}_2$ ) omdat het zeer goed in water oplost, goedkoop is en ongevaarlijk.

- 2.2. Los ureum op in water en bepaal opnieuw het kookpunt in dezelfde opstelling als je in 2.1. gebruikt hebt. Neem je ook een kooktraject waar, zoals in het boek wordt beweerd? Wat is de invloed van het oplossen van ureum op het beginkookpunt van water? Is de hoeveelheid ureum ook van invloed op het gemeten beginkookpunt?
- 2.3. Bespreek de onderdelen 2.1. en 2.2. in een groepsbespreking na met de assistent.

Van de bij het onderzoek betrokken studenten (twee groepen van in totaal 14 tweetallen) kozen verreweg de meesten (12 van de 14 tweetallen) voor een opstelling bestaande uit een bekeerglas of erlenmeyer en een alcohol- of kwikthermometer, verwarmd door bunsenbrander of kookplaat. De keuze van meetinstrumenten en meetcondities, zoals het type thermometer, de plaats van de thermometer in de vloeistof, de wijze van verwarmen, het al of niet roeren, het gebruik van kooksteentjes e.d. werd door de studenten niet als een probleem signaleerd: zij kozen zonder uitgebreide discussie voor een bepaalde werkwijze. Er werd - denken wij - aangesloten bij eerdere ervaringen met kookpuntmetingen op het vwo. Daarbij waren de meetcondities bij dergelijke metingen blijkbaar nooit geïllustreerd.

Tijdens de besprekingen bleek dat er grote verschillen in de gevonden kookpunten waren binnen een groep. Er werd door de meeste tweetallen geen waarde van  $100^\circ\text{C}$  voor het kookpunt van het 'zuivere water' gevonden. Als oorzaken voor deze afwijking noemden studenten vooral de rol van verontreinigingen ("Heb je wel demi-water gebruikt?" werd vaak als vraag aan mede-studenten gesteld) en er werd verwezen naar verschillen in thermometers.

Vaak werden in de gesprekken moeilijkheden naar voren gebracht die waren ontstaan bij het vaststellen van het kookpunt. Dit wordt door de volgende vier protocolgedeelten geïllustreerd.<sup>3</sup>

Protocol 1:

- S Nou, ik kon slecht zien bij welke temperatuur het ging koken, want ja, het begint eerst te borrelen en wanneer het nou écht kookt ... Maar ongeveer 100 graden.

## Protocol 2:

- S Ik dacht het kookpunt is wanneer het water begint te borrelen, maar dat was niet juist, dat is pas als de temperatuur constant blijft.

## Protocol 3:

- S Wat ik denk eigenlijk, waar wij ook mee zaten van ... uh... hoe moeten we meten, is dat je op een gegeven moment je denkt van ...uh... als je gewoon aan kokend water denkt, dat je denkt, nou dat zijn borrelende dingen van, oh, we hebben het kookpunt. Maar toen zegt zij van: 'Nee, je moet wachten tot de temperatuur gelijk blijft en dan heb je pas het kookpunt' en daar zat van 98 graden tot 104 graden verschil in. Dus dat ie borrelde tot ie op dezelfde temperatuur bleef.

## Protocol 4:

- 1 A Wanneer beschouw je eigenlijk iets als het kookpunt?  
 2 S Als de temperatuur niet meer verandert. Als de stof echt ... Als echt de boel begint te koken, te borrelen, te verdampen. Dat begint al eerder, maar op een gegeven moment verandert de temperatuur niet meer en dat hebben we als kookpunt, uh, beschouwd.

In deze protocolfragmenten komt een tegenstelling naar voren tussen zichtbare kookverschijnselen (in alle protocollen gebruikt de aan het woord zijnde student het woord 'borrelen') en een in de tijd constante thermometer-aanwijzing. Dit heeft ons ertoe gebracht om te gaan spreken van twee begrippen 'kookpunt':

- . Een kookpunt als temperatuur waarbij de vloeistof begint te borrelen bij verwarming ervan. Dit kookpunt wordt door ons aanschouwinggebonden genoemd, een term ontleend aan Ten Voorde (1978c).
- . Een kookpunt als temperatuur waarbij deze constant blijft in de tijd bij verwarming van de vloeistof.

We zijn het eerste *kookpunt* gaan noemen; het tweede *kooktemperatuur*. Als we in niet-gespecificeerde zin over een kookpunt zullen spreken zonder een onderscheid aan te willen geven zullen we dat aanduiden als 'kookpunt' (niet-cursief). Als het gaat om de interpretatie die wij geven van begrippen zoals die door studenten wordt verwoord, doen we dat cursief (*kookpunt* en *kooktemperatuur*).

Blijkens protocol 1 en protocol 3 worden door sommige studenten *kookpunt* en *kooktemperatuur* gerelateerd aan de aanwijzing van een thermometer. Niet alle hier geciteerde studenten lijken al een koppeling te leggen tussen kookpunt en thermometeraanwijzing. Met name de student in protocol 2 ("ik dacht het kookpunt is wanneer het water begint te borrelen") lijkt *kookpunt* eerder op te vatten als een tijdstip waarop het borrelen begint dan als een temperatuur waarbij het borrelen begint.

In bovenstaande fragmenten spreken de studenten over verschillende kookpunten en constateren dat daar verschillen in thermometeraanwijzing bij horen (zie vooral protocol 3). In het volgende protocol blijkt dat het verschil in temperatuur gemeten tussen het optreden van het borrelen (*kookpunt*) en het constant blijven

van de thermometeraanwijzing (kooktemperatuur) bij het koken van een ureum-oplossing als kooktraject wordt opgevat, terwijl dat bij het koken van 'zuiver water' niet is gebeurd.

Protocol 4 (vervolg):

(.....)

- 3 A Maar wat doe je dan bij een kooktraject?
- 4 S8 In het begin gaat het gewoon langzamer, uh, stijgen. Tenminste, in het begin dat echt, kun je zien dat de vloeistof al echt borrelt en kookt, en dan gaat het langzamer tot het op een gegeven moment niet meer omhoog gaat.
- 5 S1 Het is wel dat als je bij twee keer een kooktraject moet bepalen dat je dan niet precies twee keer op hetzelfde tijdstip doet, natuurlijk.
- 6 S4 Het bepalen van het beginkookpunt is ontzettend moeilijk. Maar het is zo, het water borrelt overal en dan, uh, zeg je gewoon: nou, dit beschouwen wij als het beginpunt. En dan blijft de temperatuur nog een klein beetje oplopen en dan is dat het kooktraject en op een gegeven moment verandert ie dan niet meer. Dat is het eindkookpunt.
- 7 A (verbaasd) Bij een kooktraject constateer je een eindkookpunt?
- 8 S4 Tenminste, dat dacht ik wel.
- 9 S5 Het kookpunt. Je verwarmt dan niet meer ... stijgt, dus op hetzelfde punt als zuiver water, als ie niet meer stijgt, dan kun je dat dus kookpunt noemen.
- 10 S? Maar bij een niet-zuivere stof spreek je toch niet van een kookpunt?
- 11 S4 Een eindkookpunt. Het eind van een traject.
- 12 S5 Ja, maar je kan toch ook bij een kooktraject toch wel enigszins spreken van een kookpunt, waarop de temperatuur niet meer stijgt, net als bij het kookpunt van zuiver water.
- 13 S4 Het eind van het traject dus.
- 14 S5 Het eind van het traject zou je dan eventueel het kookpunt kunnen noemen.
- 15 S4 Of het eindkookpunt. Dat is gewoon muggeziften.
- 16 S5 Is daar een speciale benaming voor? Noemt men dat kookpunt, of...
- 17 S2 ...(?)... eindkookpunt
- 18 A Probeer die vraag eens zelf te beantwoorden.

De assistent vraagt als vervolg op zijn vorige vraag (uitspraak 1) naar het kookpunt (het is niet duidelijk wat *zijn* interpretatie is) bij de ureum-oplossing en gebruikt daarbij de term 'kooktraject' uit 'Chemie' (u. 3). S4 benoemt de temperatuur bij het begin van het borrelen van de vloeistof als "beginkookpunt" (dat woord wordt ook in opdracht 2.2 gebruikt) en de temperatuur als die constant blijft als "eindkookpunt" (u. 6). Het kooktraject wordt door hem/haar beschouwd als de temperatuurverandering tussen begin- en eindkookpunt (u. 6, 11). S5 vindt dat het "eindkookpunt" van S4 als *kooktemperatuur* beschouwd kan worden (u. 9), terwijl in u. 10 een niet-geïdentificeerde student het aangeven van een kookpunt voor een mengsel in twijfel trekt (mogelijk op grond van het uit 'Chemie' afkomstige fragment: een mengsel heeft geen kookpunt). S5 valt de gelijkenis op met de situatie bij het koken van 'zuiver water' (u. 12). Daar had je immers ook een temperatuurverschil tussen het borrelen en het constant blijven van de thermometer-aanwijzing (zie protocollen 1 tot en met 3), waarbij

de studenten de laatste temperatuur als *kooktemperatuur* beschouwden. Analoog daaraan zou je hier het eind van het traject ("eindkookpunt") ook als *kooktemperatuur* kunnen nemen (u. 13-15). Bij S5 komt dan de vraag op of er voor dit "eindkookpunt" een speciale naam bestaat (u. 16). We kunnen dit betitelen als *taalnod* (Ten Voorde 1977, 1978b). A blijkt de studenten daarbij niet te kunnen helpen (u. 18). Het gesprek gaat dan als volgt verder:

Protocol 4 (vervolg):

- 19 S2 Loopt het niet gewoon op tot alles verdampt is?  
 20 S5 Waarom zou dat zo zijn?  
 21 S1 Er wordt warmte ... het blijft toegevoerd ...(?)...  
 22 S2 Omdat je verhouding binnenin, van wat je kookt. Dus die verhouding verandert constant, omdat de een eerder verdampt dan de ander.  
 23 S5? Hé, verrek, daar zit wat in.  
 24 S6 ...(?)... maar dat is zo langzaam. Als je dit nou zo ziet dan zie je echt wel constant 102 (het door enkele studenten gevonden eindkookpunt). Dan denk ik dat je dat bij deze temperatuur op deze thermometers heel slecht kunt zien.  
 25 S5 Het water dat bij ons verdampt is, is ook niet zo bijster veel.  
 26 S4 Als je nou 2 uur kookt, dan is dat misschien wel weer anders.  
 27 S5 Ik bedoel, dan wordt de concentratie ureum dus steeds hoger. En dan heb je dus ook kans, zonder dat je toevoegt, wordt de stof in concentratie groter terwijl het kook ... traject anders is. Dus het eindpunt ook hoger ligt.  
 28 S4 Het hangt van de tijd af. ...(?)... klopt.  
 29 S6 ...(?)...  
 30 S5? Het kooktraject hangt dus ook van de tijd af.  
 31 A Dus het kooktraject hangt van hoeveelheid af en van tijd.  
 32 S5 Nou, eigenlijk van de concentratie ...  
 33 A Het hangt van de concentratie af.  
 34 S5 Dat is de hoeveelheid en dus in dit geval de tijd van het koken. Daarmee verandert de concentratie.  
 35 A Jaa.  
 (stilte)  
 36 A Dus de lengte van het kooktraject hangt met name af van ... concentratie, en je vindt een groter kooktraject dan ... als je langer doorgaat ... met koken. En dus de mensen die maar kort gekookt hebben ... en toen gestopt zijn, die hebben een klein kooktraject gevonden. En andere mensen die langer zijn doorgedaan, die hebben een groot kooktraject gevonden. Dus daar zou de lengte van het kooktraject met name van afhangen dan.  
 37 S5 Dat zou kunnen.  
 38 S1 Ja, maar bij ons zou ... het was, dan is het 102, zeg maar, en dan blijft toch ... dan is het niet echt meer dat je ziet ... dat je een duidelijk verschil ziet, want dan zou je dat resultaat nooit opgeschreven hebben, denk ik. Als je nou duidelijk had gezien dat ie was blijven stijgen dan was je wel doorgedaan.  
 39 S7 Maar of je nou 1 minuut of 2 minuten doorgaat met koken. De hoeveelheid water dat verdampt is zo weinig in verhouding met de hoeveelheid water die ...uh... in je glas zit ...  
 40 A Het is met name afhankelijk, die concentratieverandering, van verdampend water.



- 41 S5 Ja, maar dan kun je wel ... dan kun je niet zeggen dat dat in 1 of 2 minuten gebeurt. Het duurt wel een tijd voordat al het water ... het duurt behoorlijk lang voordat je toch duidelijk een concentratieverandering in het water ...
- 42 S4 ik denk dat je dan wel ...(?)... minuten moet doorkoken.
- 43 S7? 1 of 2 minuten maakt niet uit, maar 1 minuut of een uur maakt wel verschil.
- 44 S4 Ja, maar zolang hebben we niet gekookt.

In dit gedeelte stelt S2 (u. 19, 22) het optreden van een constante waarde voor de *kooktemperatuur* ter discussie. Zijn/haar overweging daarbij is waarschijnlijk dat het oplosmiddel 'eerder' verdampt dan de opgeloste stof, zodat de concentratie van de oplossing verandert. De steeds grotere concentratie zou dan aanleiding geven tot een steeds hogere *kooktemperatuur*. Een van de andere studenten (S5?) voelt zich aangesproken door deze redenering (u. 23).

Vervolgens wordt door verschillende studenten gewezen op de betrekkelijk lage snelheid waarmee die verdamping van het oplosmiddel zou plaatsvinden (u. 24, 25, 26), waarna er twijfels rijzen aan de door de studenten gevonden kooktrajecten (u. 27-30).

Later wordt er door S1 op gewezen dat een steeds doorgaande stijging van de *kooktemperatuur* door hem niet waargenomen is (u. 38), waarna door S4, S5 en S7 wordt aangegeven dat een dergelijk effect pas op langere termijn observeerbaar zou zijn (u. 39-44).

We zien hier hoe de argumentaties van enkele studenten gewijzigd zijn in dit gesprek: aanvankelijk spraken studenten over een 'kooktraject' als het verschil tussen *kookpunt* en *kooktemperatuur*, terwijl aan het eind van het protocol door in ieder geval enkele studenten 'kooktraject' wordt verbonden met het verschuiven van de *kooktemperatuur* ten gevolge van samenstellingsverandering van de oplossing.

Opvallend is dat deze studenten waarschijnlijk ook bij 'zuiver water' een kooktraject hebben gevonden (als verschil tussen *kookpunt*- en *kooktemperatuur*), maar dat dat door hun niet genoemd wordt.

Of er ook verandering van een begrip 'kookpunt' optreedt, is minder duidelijk aan te wijzen. In het begin van protocol 4 wordt door een van de studenten het kookpunt verbonden met de aanwijzing van de thermometer (u. 9, 12). Deze student lijkt kookpunt als *kooktemperatuur* op te vatten. Bij andere studenten is dit niet aan te wijzen. De docent verzuimt hier o.i. een mogelijkheid tot het problematiseren van het begrip 'kookpunt'.

Voor het overige is de rol van de docent betrekkelijk gering. Hij neemt nauwelijks deel aan het gesprek en als hij dat doet geeft hij er blijk van de studenten niet te begrijpen. Hij reageert vanuit zijn eigen (natuurwetenschappelijk) kader op grond waarvan een onbegrensd kooktraject wordt verwacht bij de door de studenten uitgevoerde meting. Hij reageert dan ook verbaasd als de studenten een eindkookpunt hebben geconstateerd (u.7).

In de volgende protocoluitspraak geeft een van de studenten uit hetzelfde groepje - maar een week later - aan hoe je een 'echt' kooktraject kunt meten.

Protocol 5:

S4 ...(?)... een ander kookpunt zit. Dus, uh, nou ja, je laat hem eerst koken bij voorbeeld na 2 of 3 minuten lees je, als het goed bubbelt, lees je af hoeveel het is en dan laat je het een uur of twee of nog langer staan, dan kijk je weer en als je dan een hoger punt vindt, dan heb je een echt kooktraject.

Aan het eind van het experiment, bijna twee weken nadat protocol 4 werd opgenomen, werd door de assistent gevraagd of er bij de eerste metingen van het experiment (die waarover in protocol 4 wordt gesproken) wel sprake was van een echt kooktraject.

Protocol 6:

S4 Ja, ik weet het niet zeker, hoor. Maar als je nou een open opstelling hebt dan, uh, tijdens het koken verdampt er dan continu water uit. En dan wordt dus je concentratie, uh, opgeloste stof wordt dan steeds hoger en dus loopt je temperatuur op.

Het blijkt dat deze student het optreden van een kooktraject bij een mengsel verbindt met het werken in een open opstelling.

#### 4. Produktiviteit in de gespreksvoering als criterium voor begripsontwikkeling

We hebben in protocol 4 kunnen constateren hoe het aan de studenten bekende begrip 'kookpunt' aanvankelijk door sommigen aanschouwing-gebonden werd geïnterpreteerd en dat dit bij de meting van het kookpunt problemen opleverde. Uiteindelijk bleek de interpretatie van 'kooktraject' te veranderen in het gesprek en daarmee werd een andere interpretatie van 'kookpunt' eveneens mogelijk. Wij zouden in dit gesprek willen spreken van begripsontwikkeling, omdat er een aanwijsbare wijziging van interpretatie van het begrip 'kooktraject' optreedt en mogelijk ook van 'kookpunt'. De uitgevoerde experimenten en het aansluitende gesprek blijken in dit geval geschikt om de betekenis van 'kookpunt' en 'kooktraject' te problematiseren en voor wat betreft 'kooktraject' te doen ontwikkelen in een gesprek. Als criterium voor het optreden van begripsontwikkeling is door ons produktiviteit in de gespreksvoering gehanteerd (zie ook Ten Voorde, 1977).

Wij nemen aan dat in het fragment uit het 3-havo/vwo-leerboek 'Chemie' 'kooktraject' opgevat dient te worden als het veranderen van de *kooktemperatuur* ten gevolge van het indampen van de oplossing. Hiermee wordt verondersteld dat leerlingen in derde klas havo/vwo reeds een interpretatie van kookpunt zouden geven, die overeen komt met de hierboven beschreven *kooktemperatuur*.

Deze veronderstelling lijkt blijkens dit onderzoek niet gerechtvaardigd. Verder is er een impliciete veronderstelling in dit tekstfragment die niet aan de lezer duidelijk wordt gemaakt, namelijk dat er hier sprake is van een 'open opstelling'. Dit wordt nog verder gecompliceerd doordat een aantal bladzijden verder in 'Chemie' een destillatie-opstelling wordt gebruikt, waarin bij gebruik van een oplossing van een vaste stof in water juist géén kooktraject wordt geconstateerd, omdat de temperatuur van de damp (eigenlijk van vloeistof én damp bij de thermometer) en niet van de kokende vloeistof wordt gemeten. Met andere woorden: meetcondities die een rol spelen bij de meting van een kookpunt worden niet geproblematiseerd, zodat de uitspraken met betrekking tot het begrip 'kookpunt' van hun meetcontext geïsoleerd worden.

In 'Chemie' komt nog een andere interpretatie van kookpunt naar voren, namelijk in het fragment: "Zuiver water heeft een kookpunt van precies 100°C". Dit is niet het resultaat van een meting maar een conventie, een afspraak om de temperatuurschaal te definiëren, terwijl sterk gesuggereerd wordt dat het hier om een meetresultaat zou gaan en dan ook nog verkregen met een opstelling die door leerlingen gebruikt zou kunnen worden. De auteurs blijken het dus over kookpunt onder verschillende condities (open en gesloten opstelling<sup>4</sup>) en in verschillende contexten te hebben (meting en conventie).

## 5. Een didactische structuur van kookpuntbegrippen

De resultaten van bovenstaand didactisch onderzoek maken het mogelijk om een didactische structuur van kookpuntbegrippen op te stellen.

'Koken' heeft in een leefwereldcontext een handelingsgebonden betekenis (Ten Voorde, 1978c) in uitspraken als "ik kook water" en "water wordt gekookt". In eerste instantie kan in het onderwijs in de natuur- en scheikunde getracht worden 'koken' als verschijnsel - optredend bij het verwarmen van vloeistoffen - te ontwikkelen ("water kookt" of algemener "de vloeistof kookt"). Het criterium voor het koken ligt dan in het begin in de waarneming 'het ontstaan van dampbellen' of 'het borrelen' (aanschouwingsgebonden). 'Kookpunt' kan door leerlingen aanvankelijk opgevat worden als tijdstip waarop dergelijke dampbellen ontstaan. Later kan getracht worden 'kookpunt' als thermometeraanwijzing, d.w.z. temperatuur, te beschouwen. De temperatuur waarbij het borrelen optreedt is te benoemen als *kookpunt*. In protocollen 1 tot en met 4 hebben we gezien dat deze interpretatie van 'kookpunt' een rol speelt in besprekingen van eerstejaars studenten.

Vervolgens kan getracht worden het criterium voor het koken van een vloeistof te veranderen. Er wordt dan niet meer gelet op zichtbare verschijnselen in de vloeistof maar op het constant blijven in de tijd van de temperatuur bij verwarming van die vloeistof. *Kookpunt* wordt dan *kooktemperatuur*. Kookpunt en kooktemperatuur worden in natuurwetenschappelijke zin min of meer als

synoniemen beschouwd.<sup>5</sup> Hier worden door ons in didactische zin *kookpunt* en *kooktemperatuur* nadrukkelijk onderscheiden. Kookpunt en kooktemperatuur zijn in deze betekenis te beschouwen als natuurwetenschappelijke begrippen in een didactische structuur.

De ontwikkeling van *kookpunt* naar *kooktemperatuur* heeft een aantal implicaties. Immers, er dient een constante thermometer-aanwijzing te worden verkregen en deze voorwaarde is van invloed op de te kiezen meetcondities. Met een ongevoelige thermometer zullen temperatuurvariaties niet opvallen, maar zodra een gevoeliger thermometer wordt gebruikt zullen maatregelen moeten worden getroffen om een gelijke temperatuur in de vloeistof te realiseren. Dat betekent dat de plaats van de thermometer, de wijze van verwarming en het roeren van de vloeistof aandacht zullen moeten krijgen. Voor mengsels (d.w.z. homogene mengsels van vloeistoffen en oplossingen van vaste stoffen in vloeistoffen) is er dan nog de bijkomende eis dat de samenstelling van de vloeistof constant moet blijven gedurende het kookproces, althans als de samenstelling van invloed is op het gemeten kookpunt. Constante samenstelling is te bereiken door de opstelling met een *open bekersglas* te vervangen door een *reflux-opstelling* met terugvloeikoeler (zie figuur 1).

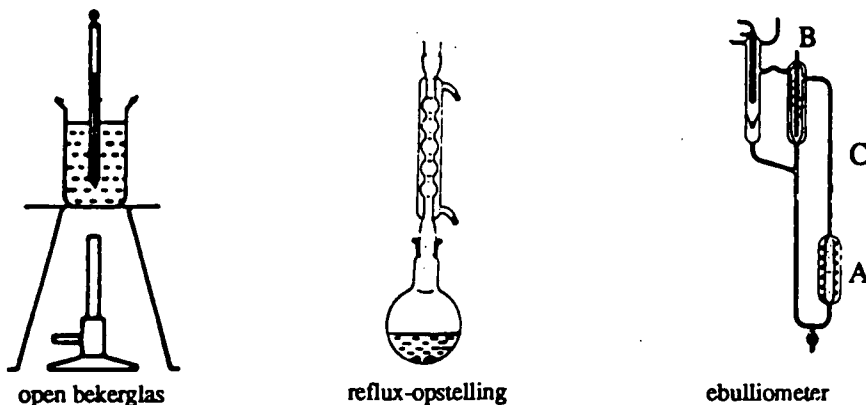


Fig.1. Verschillende meetopstellingen om een 'kookpunt' te bepalen

In een reflux-opstelling is na het instellen van een stationaire toestand de damp over het algemeen rijker aan de meest vluchtige component (d.i. die met de grootste partiële dampspanning bij de kooktemperatuur) van de vloeibare fase.<sup>6</sup> Dit betekent dat de samenstelling van de kokende vloeistof afwijkt van de samenstelling van het mengsel dat bij het begin van de meting in de kookkolf

werd gebracht. Met name als de hold-up (de hoeveelheid stof die zich in de dampruimte van de kookkolf en de terugvloeikoeler bevindt) groot is, kunnen deze afwijkingen aanzienlijk zijn. Een ander nadeel van de reflux-opstelling is dat de gemeten kookpunten afhankelijk blijven van de atmosferische buitendruk. Bovendien blijkt bij nauwkeuriger metingen (bijv. uitgevoerd met een platinaweerstandsthermometer) de temperatuur tijdens het koken sterk te fluctueren. Dit alles roept de vraag op naar een opstelling met instelbare druk en met een regelmatig verlopemd kookproces. Een dergelijke opstelling kan worden gevonden in een gesloten *ebullimeter* (zie figuur 1). Een van de kenmerken van een ebullimeter is de scheiding tussen kookruimte A en meetruimte B. Door een Cothrell-pomp C wordt in de meetruimte een menging van damp en vloeistof gerealiseerd. Verder is binnen de opstelling de dampdruk instelbaar, constant en meetbaar.

Door menging van vloeistof en damp wordt gelijkheid van temperatuur tussen beide fasen gerealiseerd. Deze situatie van thermisch evenwicht is te beschouwen als een poging tot benadering van thermodynamisch evenwicht (gelijkheid van druk en temperatuur voor alle plaatsen in het systeem en een zelfde samenstelling per fase). Nauwkeurige temperatuurmeting onder gespecificeerde condities is in deze ebullimeter mogelijk. In de meetruimte treden geen kookverschijnselen als het ontstaan van dampbellen op. Kooktemperatuur is hier *thermische evenwichtstemperatuur* geworden. Deze is geabstraheerd van het zichtbare koken. Later kan dan eventueel aangesloten worden bij een concept 'thermodynamisch evenwicht'. Onder 'kookpunt' kan dan uiteindelijk verstaan worden *thermodynamische evenwichtstemperatuur*.

In bovenstaande schets van een didactische structuur van kookpuntbegrippen zal duidelijk zijn hoe de begrippen *kookpunt* - *kooktemperatuur* - thermische evenwichtstemperatuur gekoppeld zijn aan de meetopstellingen open bekerglas - reflux-opstelling - ebullimeter. In deze reeks van opstellingen worden steeds meer condities geregeld opdat nauwkeuriger en beter reproduceerbare metingen van 'het kookpunt' mogelijk worden. Bij de ebullimeter is de eis tot thermisch evenwicht zoveel mogelijk gerealiseerd. Mogelijk dat in het onderwijs deze didactische structuur een ingang kan zijn tot de ontwikkeling van thermodynamische begrippen als 'open/gesloten systeem' of 'evenwicht'.

## 6. Didactische structuur en Van Hiele-niveaus

'Didactische structuur' wordt door Ten Voorde en door Vogelesang in samenhang gezien met een niveauschema, gebaseerd op dat van Van Hiele (Ten Voorde, 1977; Vogelesang, 1990). In ons onderzoek is deze keuze *vooraf* niet gemaakt. Wel willen we nu achteraf nagaan in hoeverre een dergelijk niveauschema bruikbaar is bij de hierboven geschetste didactische structuur van kookpuntbegrippen. De niveaustheorie van Van Hiele is voor het scheikunde-onderwijs uitgewerkt

door De Miranda (1959) en Ten Voorde (1977) en recent gebruikt door Vogelezang (1990). Door deze auteurs worden verschillende benamingen gebruikt om de niveaus aan te duiden. Wij zullen de terminologie van Vogelezang (1990) gebruiken (grondniveau, beschrijvend niveau en beschouwend niveau).

De niveautheorie gaat uit van aangetroffen discontinuïteiten in het leren, waardoor in de klas situaties kunnen ontstaan, waarbij een deel van de klas een taal spreekt die door anderen niet begrepen wordt. Een dergelijke situatie wordt een kloof van onverstaaenbaarheid genoemd (Ten Voorde, 1977, 1978a, 1983b). Een dergelijke kloof kan bij voorbeeld ontstaan tussen een scheikundeleraar en leerlingen. In bepaalde situaties zullen leerlingen kristalsuiker en poedersuiker verschillende 'stoffen' noemen. Voor de leraar zijn het echter verschillende verschijningsvormen van hetzelfde stofindividueel 'suiker' of 'sacharose'. De leerlingen koppelen hun stofbegrip aan het uiterlijk van de stof (aanschouwingsgebonden); voor de leraar zijn echter de chemische reactiemogelijkheden, de chemische samenstelling of moleculaire structuur van belang. De leraar is ook niet in staat de leerlingen door uitleggen te overtuigen. Zij zullen blijven zeggen: "Je ziet toch dat ze verschillen". Hier is sprake van verschillende niveaus in de argumentatie. In dit geval spreekt Ten Voorde van een grondniveau voor de leerlingen. De leraar kan trachten de leerlingen aan de hand van eigen ervaringen en het spreken daarover in een groep van een grondniveau naar een volgend niveau (i.e. een beschrijvend niveau) te leiden. Het onderwijzen wordt dan gericht op het bereiken van niveau-overgangen.

Bij het bereiken van een beschrijvend niveau ontstaat voor leerlingen een veelheid van reactie-individueen. In principe is voor hen dan nog iedere reactie mogelijk (uit suiker zou keuzenzout kunnen ontstaan). Door keuze van een nieuw gezichtspunt (het 'element' als behoudsprincipe bij chemische reacties) wordt het bereiken van een volgend niveau (i.e. een beschouwend niveau) mogelijk (Ten Voorde, 1979). Argumenterend vanuit dit gezichtspunt worden de reactiemogelijkheden van stofindividueen beperkt en worden bepaalde reactie-individueen uitgesloten.

Ten Voorde beschouwt aanschouwingsgebondenheid als passend bij een grondniveau (Ten Voorde, 1978c). Op grond daarvan lijkt een kookpunt, zoals dat in dit artikel geformuleerd is naar aanleiding van uitspraken van studenten, te passen bij een grondniveau. *Kooktemperatuur* past mogelijk bij een beschrijvend niveau. Op de mogelijkheid om een ontwikkeling van *kookpunt* naar *kooktemperatuur* te realiseren, werd door ons gewezen. Dit zou dan kunnen worden opgevat als een niveau-overgang. Immers, 'kookpunt' lijkt door de in het onderzoek beschouwde studenten steeds minder te worden verbonden met het borrelen van de vloeistof en wordt steeds meer gekoppeld aan de aanwijzing van de thermometer. Er lijkt hier sprake van een blijvend onderwijsresultaat. In protocol 6 verbindt S4 zijn interpretatie van 'kooktraject' met condities betreffende de

meetopstelling, met andere woorden hij weet zijn interpretatie niet alleen te verwoorden maar ook productief te maken in een evaluatie van de gebruikte opstelling. Daarmee zou hij mogelijk ook in een nieuwe ontwerpsituatie andere meetcondities kiezen dan bij een voorgaand ontwerp.

In dit artikel hebben we een weg geschetst om via een ebulliometer-opstelling te komen tot een ontwikkeling van een begrip 'thermische evenwichtstemperatuur'. Deze temperatuur lijkt empirisch benaderbaar en kan ontwikkeld worden zonder gebruik te maken van specifiek thermodynamische begrippen. Op grond daarvan lijkt dit begrip te passen bij een beschrijvend niveau.

Vogelezang (1990) noemt *het maken van een aanname die de ervaring overstijgt* een kenmerk van het komen tot een beschouwend niveau. Daarmee lijkt een begrip 'thermodynamische evenwichtstemperatuur' te passen bij een beschouwend niveau. Echter, in dit stadium van het onderzoek is nog onduidelijk in hoeverre een begrip 'thermodynamische evenwichtstemperatuur' empirisch te ontwikkelen is en bij welk Van Hiele-niveau dit begrip lijkt te passen.<sup>7</sup>

De bovenstaande koppeling van een aantal door ons onderscheiden kookpunt-begrippen met van Hiele-niveaus is op dit moment speculatief. De vraag die ons bezighoudt is of in een leerproces, waar getracht wordt een begrip 'kookpunt' te ontwikkelen, niveaus in de argumentatie aangewezen kunnen worden en in hoeverre niveaus van nut kunnen zijn bij het ontwikkelen van onderwijs.

Om dit te onderzoeken zou eerst een onderwijsgang ontworpen moeten worden, waarin getracht wordt om kookpunt-begrippen langs de hier aangegeven didactische structuur te ontwikkelen. In deze onderwijsgang zullen lerenden ervaring moeten opdoen met het 'koken' van vloeistoffen en hierover in gesprek worden gebracht. In dat stadium kan een nadere beoordeling van de bruikbaarheid van Van Hiele-niveaus bij de ontwikkeling van een kookpunt-begrip plaatsvinden.

## Noten

1. In het boek 'Scheikunde voor het voortgezet onderwijs' (Van Antwerpen e.a., 1984) staat bij voorbeeld: "We hebben gezien wat er gebeurt als je water blijft verwarmen: er treedt dan een verandering van aggregatietoestand op. We noemen dit een natuurkundig verschijnsel."
2. Kooktrajecten zouden dan gevonden worden bij mengsels van vloeistoffen, zoals benzine, en bij oplossingen van vaste stoffen en gassen in vloeistoffen, zoals pekelen en zoutzuur.
3. Deze protocollen zijn in mijn proefschrift (Goedhart, 1990) opgenomen als protocollen 6.1, 6.2, 6.3, 6.4, 6.5 en 6.6. De protocollen geven gedeelten weer van gesprekken tussen een assistent(A) en meestal 8 studenten (S1 t/m S8). Verklaring van gebruikte tekens: S? identiteit student onbekend; S5? identiteit student onzeker; ...(?)... niet verstaan; ... korte onderbreking; (.....) stuk van het gesprokene overgeslagen. In de verschillende protocollen is steeds sprake van verschillende studenten met uitzondering van de protocollen 4, 5 en 6, waar één bepaalde groep studenten en een assistent werden gevolgd. De binnen de protocollen gedane uitspraken zijn genummerd, als deze protocollen meer dan één uitspraak bevatten.
4. We willen er op wijzen dat onder 'open en gesloten opstelling' iets anders dient te worden verstaan dan onder de in de thermodynamica gebezigde begrippen 'open en gesloten systeem'.

- Een thermodynamisch systeem wordt begrensd door in principe arbitrair te kiezen systeemgrenzen, welke niet samen hoeven te vallen met de ruimtelijke begrenzing van de gebruikte opstelling.
5. Nauwkeuriger gezegd: 'kookpunt' is een precisering van het algemene begrip 'kooktemperatuur'. Zie bijv. Atkins (1986, p. 138): "The temperature at which, under a specified pressure, the liquid and vapour are in equilibrium is called the boiling temperature. When the pressure is 1 atm it is called the normal boiling point. "
  6. In het geval van azeotropie kan de samenstelling van de damp gelijk zijn aan die van de vloeistof of kan de damp zelfs rijker zijn aan de minst vluchtige component.
  7. Wij willen er hier - wellicht ten overvloede - op wijzen dat het plaatsen van kookpuntbegrippen bij bepaalde Van Hiele-niveaus gezien moet worden in het licht van een begripsontwikkeling zoals die hierboven is geschetst. Binnen een omvattende context 'thermodynamica' kan een begrip 'thermodynamische evenwichtstemperatuur' als beschrijvende term gaan functioneren.

### Literatuur

- Antwerpen, A.P. van, e.a. (1984) *Scheikunde voor voortgezet onderwijs, deel 1 (3 havo/vwo)*, Zeist: NIB.
- Atkins P.W. (1986) *Physical chemistry*, Oxford: O.U.P..
- Derissen, J.L. & P.H van Roon (1983) *Praktikumhandleiding van het Eerstejaars Scheikunde Praktikum Meten en Maken I*, Utrecht: Faculteit Scheikunde, RUU.
- Driel, J. van (1990) *Betrokken bij evenwicht*, Utrecht: CDβ-Press.
- Goedhart, M.J. (1990) *Meten: normen en waarden*, Dissertatie RUU.
- Keulen, H. van (1988) *Dampdruk en evenwicht*, Bijvakverslag chemiedidactiek RUU.
- Miranda, J. de (1959) De vakstructuur der scheikunde in scheikunde-onderwijs en -didactiek, *Faraday*, 29, 39-46.
- Pieren, L.O.F., e.a. (1983) *Chemie 3 vwo/havo*, Groningen: Wolters-Noordhoff.
- Soest, W. van, e.a. (1988) *Chemie mavo. Onderzoek naar het functioneren van een leergang scheikunde*, Stichting Centrum voor Onderwijsonderzoek, UvA.
- Vogelezang, M.J. (1990) *Een onverdeelbare eenheid (2 banden)*, Utrecht: CDβ-Press.
- Voorde, H.H. ten (1977) *Verwoorden en verstaan (2 banden)*, 's-Gravenhage: Staatsuitgeverij.
- Voorde, H.H. ten (1978a) Empirische didactiek(i): Een kloof van onverstaaanbaarheid, *Faraday* 47, 73-90.
- Voorde, H.H. ten (1978b) Empirische didactiek(ii): Niveauverhogend onderwijzen: een perspectief?, *Faraday*, 47, 183-196.
- Voorde, H.H. ten (1978c) Empirische didactiek(iii): Van leefwereld naar grondniveau in scheikunde-onderwijs, *Faraday*, 47, 240-255.
- Voorde, H.H. ten (1979) Empirische didactiek(vi): Van grondniveau naar beschrijvend niveau in scheikunde-onderwijs: de begrippen 'reagens' en 'reagensindividu', *Faraday*, 48, 221-239.



- Voorde, H.H. ten (1981) Empirische didaktiek(vii): Van beschrijvend naar theoretisch niveau in scheikunde-onderwijs; In: *Niveauverhogend scheikunde-onderwijs ten behoeve van voorbereidend wetenschappelijk onderwijs* (Discoreeks no. 3) Amsterdam: UvA.
- Voorde, H.H. ten (1983a) Das Entstehen des Chemiekontexts im Chemieunterricht, *Chimica Didactica*, 9, 129-137.
- Voorde, H.H. ten (1983b) Die Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Ein Problem des Unterrichtens, *Chimica Didactica*, 9, 138-175.
- Voorde, H.H. ten (1987) Die Überbrückung der Kluft des Nicht-verstehen-könnens: Eine Aufgabe des Unterrichts, *Chimica Didactica*, 13, 117-148.
- Vos, W. de (1986) Het belang van vakdidactisch onderzoek voor een samenhangend onderwijsbeleid, *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 4, 186-196.
- Vos, W de & A.H. Verdonk (1990) Een vakstructuur van het schoolvak scheikunde, *Tijdschrift voor Didactiek der  $\beta$ -wetenschappen*, 8, 19-35.