

Concentratie als 'intensieve' grootheid

Een onderzoek naar denkbeelden van leerlingen vwo/havo/mavo

O. de Jong
Vakgroep Chemie-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

Summary

The present study has been focussed on pupils understanding of concentration as an 'intensive' quantity. This characteristic of concentration means that the value of the quantity is not related to the extent of the amount of a mixture. Concentration is a standardized proportional quantity.

Pupils at mavo/havo/vwo were asked to solve some concentration-problems concerning solutions which were poured off partly or were mixed with another solution. Their written and oral statements were collected and analyzed.

The research results indicate that rather many pupils have no clear image of the 'intensive' aspect of concentration. The major arguments of mavo pupils involve one of the components of concentration only (no proportional reasoning). The major arguments of havo/vwo pupils involve concentration as an object - dependant quantity in stead of a substance - dependant quantity.

1. Achtergronden van het onderzoek

Voordat ik enkele achtergronden van het onderzoek uit de doeken doe, wil ik eerst de titel van dit artikel meer preciseren.

Allereerst de term 'concentratie'. Daarmee zal in het vervolg steeds de kwantitatieve samenstelling van zoutoplossingen aangeduid worden. Soms zal het daarbij gaan om het officiële begrip massaconcentratie (met eenheid: kg/m^3) en soms om het officiële begrip molaire concentratie (met eenheid: mol/m^3) (zie NEN 999, 1977). Tenzij anders aangegeven zal de term 'concentratie' in dit artikel steeds op beide begrippen betrekking hebben.

Dan de term 'intensieve grootheid'. Dit houdt in dat voor een mengsel geldt dat de concentratie van een component niet afhankelijk is van de hoeveelheid mengsel. Zo wordt bij aftappen van een oplossing de concentratie niet kleiner, terwijl bij menging van twee identieke oplossingen de concentratie niet groter wordt. Het intensieve karakter van concentratie is het gevolg van de afspraak om de waarde van de concentratie steeds weer te geven in de vorm van een gestandaardiseerde verhouding (bijv. op één liter oplossing). Dit heeft als praktisch nut dat twee (of meer) oplossingen van dezelfde stof maar met verschillend volume toch gemakkelijk met elkaar vergeleken kunnen worden wat betreft hun eigenschappen, bijv. hun reactiviteit of kleur (indien aanwezig).

Leerlingen hebben moeite met het begrijpen van het 'intensieve' karakter van concentratie, zo is me gebleken uit lesobservaties, uit gesprekken met leraren en uit literatuur (zie Graham, 1983). Zo blijven leerlingen het aanvankelijk een tamelijk vreemde zaak vinden dat de suikerconcentratie van een druppel limonade niet kleiner is dan die van een fles vol van de betreffende limonade. Ook later in het onderwijs blijken er nog moeilijkheden voor te komen. Zo is het voor sommige gevorderde leerlingen nog steeds niet duidelijk dat bij volumetrische titraties de concentratie van een gepipetteerde oplossing gelijk is aan die van de voorraadoplossing.

Vanuit een cognitief standpunt gezien (Van Parreren, 1978), zijn dit soort moeilijkheden op te vatten als knelpunten bij het koppelen van reeds aanwezige kennis aan gegevens uit een specifieke probleembeschrijving.

Storingen bij dit koppelingsproces kunnen het gevolg zijn van de aanwezigheid van 'alternatieve' denkbeelden bij leerlingen (Osborne en Bell, 1983). Deze denkbeelden zijn te beschouwen als netwerken van buitenschoolse kennis van leerlingen over natuurwetenschappelijke verschijnselen, begrippen, etc. In het geval van concentratie is het mogelijk dat leerlingen dit begrip verwarren met 'hoeveelheid opgeloste stof' of 'hoeveelheid oplossing', bijv. op grond van de alledaagse ervaring dat een druppel limonade minder zoet smaakt dan een mondvol van dezelfde limonade. Overigens is het verwarren van een verhoudingsbegrip met een van de samenstellende componenten een verschijnsel dat inderdaad bij leerlingen blijkt voor te komen, bijv. bij het begrip snelheid (Piaget, 1970).

Een andere storende factor bij het cognitieve koppelingsproces kan bestaan uit een gebrekkig functioneren van het denken in verhoudingen. Er zijn aanwijzingen dat ook voor het voortgezet onderwijs geldt, dat lang niet alle leerlingen voldoende in staat zijn tot proportioneel denken als onderdeel van het formeel-operationeel denken (Karplus,

1979). Zo is het mogelijk dat leerlingen bij concentratie de samenstellende factoren wel als een verhouding opvatten, maar dit slechts toepassen voor het betreffende voorwerp (bijv. druppel vloeistof) en niet voor de betreffende stof. Op deze wijze wordt dan een concrete verhouding vastgesteld en geen formele (gestandaardiseerde) verhouding.

Tot dusver zijn omvang en aard van moeilijkheden van leerlingen met het concentratiebegrip (als 'intensieve' grootheid) nog niet nauwkeurig in kaart gebracht. Toch zou dit een nuttig karwei kunnen zijn, bijv. met het oog op het bijstellen van onderwijs over dit begrip. Op dit moment is het namelijk zo, dat een expliciete behandeling van concentratie als intensieve grootheid in een groot aantal leerboeken achterwege blijft (1). Het onderzoek waarover hier zal worden gerapporteerd, tracht in bovengenoemde lacune enigszins te voorzien.

In het kader van het onderzoek is in de eerste plaats nagegaan welke denkbeelden bij leerlingen leven over concentratie als intensieve grootheid. Daarbij zijn zowel leerlingen onderzocht die al onderwijs over concentratie hebben gevolgd, als leerlingen waarbij dat nog niet het geval was. Laatstgenoemde groep leerlingen is gekozen op grond van de overweging dat leerlingen over 'buitenschoolse' voorkennis kunnen beschikken. De term 'concentratie' is immers ook in het dagelijks leven gangbaar, evenals de uitdrukking 'per liter oplossing' (denk in het laatste geval in literprijs bij benzine of dranken).

In de tweede plaats is nagegaan in hoeverre er verschillen zijn tussen leerlingen mavo, havo en vwo wat betreft hun denkbeelden over concentratie als intensieve grootheid. Zoals hierboven al is opgemerkt kan proportioneel denken bij het concentratiebegrip een belangrijke rol spelen. Dit denken is immers op te vatten als een aspect van het formeel-operationeel denken. Het is te verwachten dat verschillen tussen leerlingen wat betreft hun vermogen tot formeel redeneren terug te vinden zijn als verschillen in denkbeelden over concentratie. In het kader van het onderzoek is daarom besloten een globale indeling van leerlingen te maken. Deze is gebaseerd op verschillen in schooltype. Er is daarbij van uitgegaan dat vwo-leerlingen in het algemeen beter in staat zijn tot formeel-operationeel denken dan leerlingen havo, terwijl laatstgenoemde leerlingen op hun beurt dit weer beter kunnen dan leerlingen mavo.

2. Opzet en uitvoering van het onderzoek

2.a Aftap- en mengproblemen als onderzoeksinstrumenten

Ten behoeve van het onderzoek zijn schriftelijke opgaven over concentratie ontwikkeld, verdeeld over twee probleemtypen. Bij het eerste probleemtype wordt de concentratie gevraagd van een oplossing die ontstaan is door gedeeltelijk afgieten van een voorraadoplossing met

bekende concentratie. Dit soort problemen noem ik: aftaproblemen (afgekort: A - problemen). Bij het tweede probleemtype gaat het om een andere situatie. Daar wordt de concentratie gevraagd van een oplossing die ontstaan is door samenvoegen van twee identieke oplossingen met bekende concentratie. Deze problemen noem ik: mengproblemen (afgekort: M - problemen). Zowel voor het aftaprobleem als voor het mengprobleem zijn drie verschillende opgaven ontwikkeld.

De eerste opgave-variant was bestemd voor leerlingen die nog geen onderwijs hebben gevolgd over concentratie. Deze variant bestond uit twee opgaven, die in de vorm van een meerkeuzevraag waren gegoten (fig. 1 en 2). Een gekozen antwoord moest echter wel steeds in eigen woorden worden toegelicht. Bij het samenstellen van de opgaven is getracht zoveel mogelijk rekening te houden met de afwezigheid van gericht onderwijs over het onderwerp. Zo was in de stam van de opgaven steeds een beschrijving van concentratie opgenomen, niet in formulevorm maar in woorden. En door gebruik te maken van een vraagvorm met antwoordalternatieven is getracht te voorkomen dat deze leerlingen te snel zouden afhaken. Overigens is ook het antwoordalternatief "dat kan ik niet weten, want ..." opgenomen.

De tweede opgave-variant was bestemd voor leerlingen die al onderwijs over concentratie hebben gekregen, zij het dat dit beperkt was gebleven tot het begrip massaconcentratie. Deze variant bestond eveneens uit twee opgaven, ditmaal echter in open vraagvorm (fig. 3). Een ander verschilpunt met de vorige opgaven was het feit dat zowel van voorraadoplossing als van afgetapte oplossing het volume gegeven was.

De derde opgave-variant was bestemd voor leerlingen die zowel onderwijs hadden gevolgd over massaconcentratie als over molaire concentratie (fig. 4). Beide opgaven waren gelijkvormig met de open opgaven over massaconcentratie.

Bij het opzetten van het onderzoek is nog overwogen om een test af te nemen bij leerlingen, voorafgaande aan het eigenlijke onderwijs. De voortest had kunnen bestaan uit de opgaven uit figuur 1, figuur 2 of figuur 3. Bij nader inzien is echter besloten om geen gebruik te maken van de mogelijkheid van voortesten. De belangrijkste overweging daarbij was dat er een leereffect zou kunnen optreden op basis van de inhoud van de voortest, in plaats van op basis van het onderwijs. Op grond hiervan is tevens besloten om de open opgaven over massaconcentratie en over molaire concentratie niet aan eenzelfde groep leerlingen aan te bieden.

2.b Afname van de aftap- en mengproblemen

Het uitgevoerde onderzoek was exploratief van aard, terwijl de opzet ervan het karakter droeg van een case-study. De beide meerkeuze-

opgaven zijn aangeboden aan leerlingen 3 m/h/v (2). De overige opgaven zijn aangeboden aan leerlingen uit 4 h/v (3).

De leerlingen 3 m/h/v zijn benaderd in het kader van een lopend onderzoek van het zogeheten 'Second IEA Science Study' project (Pelgrum en Hoogeveen, 1984). Dit onderzoeksproject bood de gelegenheid om op een vrij eenvoudige wijze een representatieve groep leerlingen bij elkaar te krijgen. De meerkeuze-opgaven zijn tegen het eind van de cursus 1983/1984 naar projectscholen gestuurd, samen met andere (inter)nationale vragen. Het volledige pakket had een zodanige omvang dat invulling ervan drie lesuren zou vergen. De deelnemende projectdocenten hebben de instructie ontvangen om het M - probleem aan het eind van het eerste lesuur uit te delen en het A - probleem aan het eind van het derde lesuur. Op deze wijze is getracht het optreden van een 'testing'-effect zoveel mogelijk tegen te gaan.

Per projectschool zijn beide opgaven steeds door ongeveer de helft van de leerlingen uit één derde klas beantwoord (de rest van de klas kreeg andersoortige vragen). Na afloop zijn de leerlingbladen verzameld en door de scholen teruggestuurd. Er zijn gegevens van 21 klassen mavo, 9 klassen havo en 14 klassen vwo. De responsie bedroeg ca. 70%.

Bij de onderzochte leerlingen 4 h/v was de gang van zaken geheel anders. Enerzijds was dit het gevolg van het feit dat het bovengenoemde project zich beperkte tot leerlingen uit de derde klas; anderzijds kwam het voort uit de behoefte om de onderwijssituatie bij deze leerlingen zoveel mogelijk gelijk te schakelen. Met het oog hierop zijn de onderzoeks-opgaven opgenomen in zelfinstruerende lespakketten over concentratie.

Bij het pakket over massaconcentratie werden de opgaven voorafgegaan door een korte beschouwing over het gestandaardiseerde karakter van concentratie, overigens zonder dat het intensiviteitsaspect genoemd werd. Tevens was er een definitie opgenomen ('aantal gram zout per liter oplossing'). Bij het pakket over molaire concentratie werden de opgaven voorafgegaan door een soortgelijke definitie, onder verwijzing naar het begrip massaconcentratie.

Het lespakket over massaconcentratie is in het najaar van 1984 gedistribueerd via zes leraren, verspreid over vier scholen. Het lespakket over molaire concentratie is een jaar eerder uitgezet via twee leraren van een vijfde school. Bij laatstgenoemde school was er al wel onderwijs gegeven over massaconcentratie, echter zonder expliciete behandeling van het 'intensieve' kenmerk van dit begrip.

De leerlingen hebben tijdens de lessen in kleine groepjes aan de pakketten gewerkt. De groepjes hebben daarbij de opdracht gekregen om elke opgave via interne discussies te beantwoorden en het groepsantwoord schriftelijk vast te leggen. Copieën van deze antwoorden zijn door de leraren verzameld en doorgestuurd. Door enige tegenslag in dit

onderzoek zijn bij het pakket over molaire concentratie geen antwoorden verzameld van leerlingen 4 vwo.

Naast het verzamelen van schriftelijke antwoorden met bijbehorende toelichting zijn er gegevens verkregen via het maken van geluidsopnamen van groepjes discussierende leerlingen.

Een fles van 1 liter is geheel gevuld met een zoutoplossing.

De oplossing heeft een concentratie van 5 gram zout per liter oplossing.

Uit de fles wordt een flinke scheut oplossing in een bekersglas gegoten.

Wat is de concentratie van het zout in de achtergebleven zoutoplossing in de fles?

	3M (n=205)	3H (n=100)	3V (n=171)
a) Dat kan ik niet weten, want ...	28%	25%	15%
b) Deze is gelijk gebleven, want ...	58%	61%	80%
c) Deze is groter geworden, want ...	1%	2%	1%
d) Deze is kleiner geworden, want ...	13%	12%	4%

Fig. 1: Aftapprobleem met resultaten (3 m/h/v)

Een fles is geheel gevuld met een sodaoplossing.

De oplossing heeft een concentratie van 7,3 gram soda per liter oplossing.

Een andere fles, die even groot is, is voor de helft gevuld met precies zo'n sodaoplossing. Beide flessen worden leeggieten in een en dezelfde emmer.

Wat is de concentratie van de sodaoplossing in de emmer?

	3M (n=242)	3H (n=93)	3V (n=164)
a) Dat kan ik niet weten, want ...	14%	14%	10%
b) Deze is gelijk gebleven, want ...	53%	60%	76%
c) Deze is groter geworden, want ...	26%	25%	12%
d) Deze is kleiner geworden, want ...	7%	1%	2%

Fig. 2: Mengproblemen met resultaten (3 m/h/v)

3. Verwerking van gegevens tot resultaten bij 3 m/h/v

3.a Antwoorden van leerlingen 3 m/h/v

Bij het aftaprobleem zijn de gegevens verwerkt van 205 leerlingen mavo, 100 leerlingen havo en 171 leerlingen vwo. Bij het mengprobleem ging het om 242 leerlingen mavo, 93 leerlingen havo en 164 leerlingen vwo. Een overzicht van de antwoorden van leerlingen is te vinden in figuur 1 en 2. Met behulp van de verzamelde scores per antwoordalternatief was het mogelijk om vast te stellen hoeveel leerlingen het denkbeeld huldigen dat de concentratie gelijk blijft of verandert bij aftappen op mengen van een oplossing.

Het denkbeeld dat de concentratie gelijk blijft wordt bij het aftaprobleem aangehangen door 58% leerlingen mavo, 61% leerlingen havo en 80% leerlingen vwo. Bij het mengprobleem gaat het om 53% leerlingen mavo, 60% leerlingen havo en 76% leerlingen vwo.

Per probleemtype zijn de verschillen in percentage statistisch getoetst. Deze verschillen bleken significant te zijn op 1% niveau; alleen het verschil tussen mavo en havo was niet significant (4).

Het denkbeeld dat de concentratie verandert wordt bij het aftaprobleem gehuldigd door 29% leerlingen mavo, 28% leerlingen havo en 14% leerlingen vwo. Bij het mengprobleem was dat het geval bij 38% leerlingen mavo, 32% leerlingen havo en 18% leerlingen vwo. Deze percentages zijn gebaseerd op het aantal leerlingen dat de antwoorden "deze (concentratie) is kleiner/groter geworden" heeft aangekruist, vermeerderd met een deel van de leerlingen dat het antwoord "dat kan ik niet weten" heeft aangekruist. In het laatste geval ging het om die subgroep leerlingen die had opgegeven dat het volume ontstane oplossing bekend moest zijn om een antwoord te kunnen geven. Op grond van deze argumentatie is er van uitgegaan dat deze leerlingen concentratie hebben opgevat als een volume-afhankelijke grootheid, waarvan de waarde verandert bij aftappen of mengen.

Ook nu weer is nagegaan of de verschillen tussen de schooltypen statistisch significant waren. Dit bleek op 1% niveau zowel het geval te zijn bij het A - probleem als bij het M - probleem; alleen het verschil tussen mavo en havo was niet significant (5).

Tenslotte kan nog opgemerkt worden dat ca. 10% leerlingen geen specifiek denkbeeld over concentratie bezitten. Het gaat hier om leerlingen die bij het antwoordalternatief "dat kan ik niet weten" een ander argument hebben gegeven dan dat het volume ontstane oplossing bekend diende te zijn (zie de categorie: concentratie verandert). Hun argumenten bestonden vrijwel uitsluitend uit uitspraken als "nooit gehad" of "snap ik niet".

3.b Argumentatie van leerlingen 3 m/h/v

Aan de leerlingen is gevraagd om hun antwoorden te voorzien van een argumentatie. Deze is voor elk van beide denkbeelden nader onderzocht. Daartoe zijn na herhaalde lezing, en tamelijk tentatief, een aantal categorieën ontwikkeld waarin vrijwel alle argumenten te plaatsen waren.

Voor het denkbeeld dat de concentratie gelijk blijft, is de volgende indeling van argumenten toegepast:

- Verhouding gelijk. Een voorbeeld hiervan is de uitspraak van een leerling dat 'aan de verhouding water en zout niks gedaan is'.
- Oplossing gelijk. Hier zijn uitspraken gedaan als: 'het is dezelfde oplossing, maar de één is iets minder'.
- Concentratie gelijk. Een voorbeeld hiervan is de uitspraak dat 'de concentratie van elke hoeveelheid oplossing gelijk is'.

Elk van deze drie categorieën was van toepassing op ca. 30% van de scores per schooltype. Daarbij zijn de scores voor beide probleemtypen tezamen opgenomen (totaal aantal scores: 247 mavo, 117 havo en 262 vwo). De resterende 10% van de scores bestond uit andersoortige uitspraken of ontbrekende argumenten.

Voor het denkbeeld dat de concentratie verandert, is een andere indeling van argumenten gebruikt. Het gaat om de volgende categorieën:

- Minder/meer opgeloste stof of oplossing;
- Concentratie neemt ook af/toe;
- Volume oplossing niet gegeven.

De eerste twee soorten argumenten zijn gegeven bij het antwoord dat de concentratie kleiner/groter geworden is. Elk van beide categorieën was van toepassing op ca. 25% van de scores bij havo en vwo (aantal scores voor beide probleemtypen tezamen: 58 havo en 54 vwo). Bij mavo lagen de percentages anders. De eerste soort argumentatie is in ca. 40% van de gevallen gescoord en de tweede soort argumentatie in ca. 20% van de gevallen (totaal aantal scores: 147 mavo).

Een derde soort argumentatie is gegeven bij het antwoord "dat kan ik niet weten". Bij havo en bij vwo is dit argument in ca. 40% van de gevallen gescoord, en bij mavo in ca. 30% van de gevallen. Tenslotte was er weer een restcategorie met afwijkende ontbrekende argumenten (ca. 10% van de scores).

4. Verwerking van gegevens tot resultaten bij 4 h/v

4.a Antwoorden van leerlingen 4 h/v

Bij de massaconcentratie-opgaven zijn bij het aftaprobleem de antwoorden binnengekomen van 43 groepjes vwo en 56 groepjes havo. Van het mengprobleem zijn antwoorden ontvangen van 41 groepjes vwo en 53

groepjes havo. De groepjes bestonden meestal uit tweetallen. Bij de molaire concentratie-opgaven was het aantal binnen gekomen antwoorden geringer vanwege de kleinere oplage van de lespakketten. Voor deze opgaven zijn de antwoorden verwerkt in 16 groepjes havo (in totaal 34 leerlingen).

De gebruikte opgaven waren van het open vraagtype, waardoor de gegeven antwoorden niet zonder meer te klassificeren waren. Na herhaalde lezing ervan zijn enkele antwoordcategorieën opgesteld waarmee de antwoorden goed te beschrijven waren. Zij luiden als volgt:

- 'Formele concentratie'. Hier gaat het om antwoorden die bestaan uit de waarde van de concentratie zoals deze gegeven is, al dan niet weergegeven in formulevorm (bijv. 5 g/l) of in woorden ('concentratie gelijk').
- 'Proto-concentratie'. Hieronder vallen antwoorden die bestaan uit een verhouding tussen hoeveelheid opgeloste stof en reëel volume oplossing, bijv. 0,0005 g/0,1 ml (A - probleem) of 3,00 g/500 ml (M - probleem).

Deze gegeven verhouding is echter nog niet gestandaardiseerd tot een formele concentratie.

Tenslotte was er nog een restcategorie, die alleen bij het mengprobleem bruikbaar was. Hier ging het om een soort 'dubbele concentratie', bijv. het antwoord 12 g/l bij het mengprobleem in figuur 3. In deze figuur en in figuur 4 is een overzicht van de antwoorden te vinden. Uit de gegeven antwoorden is af te leiden dat het denkbeeld dat de concentratie gelijk blijft, voorkomt bij 50% havo-groepjes en 83% vwo-groepjes. De verschillen tussen deze percentages zijn bij beide problemen statistisch niet-significant.

Voor molaire concentratie is de gelijke-concentratie-gedachte bij het A - probleem en bij het M - probleem te vinden bij resp. 50% havo-groepjes en 75% havo-groepjes.

4.b Argumentatie van leerlingen

De toelichting die leerlingen 4 h/v gegeven hebben bij 'formele concentratie' was te beschrijven met dezelfde categorieën als die bij leerlingen 3 h/v met het denkbeeld dat de concentratie gelijk blijft. Ook de verdeling van de categorieën bleek globaal overeen te komen met die bij leerlingen 3 h/v. Het enige verschilpunt was dat ongeveer 10% van de groepjes leerlingen hun argumentatie had gegoten in de vorm van een berekening. Bij 'proto-concentratie' bleek een berekening de enige vorm van argumentatie te vormen.

Aanvullende informatie over de argumentatie van leerlingen is ook verkregen m.b.v. geluidsopnamen met gesprekken van acht groepjes leerlingen. Van deze groepjes hebben er vier de massaconcentratie-opgaven gemaakt en vier andere groepjes de molaire concentratie-opgaven. De

Een voorraadfles van 1,0 liter is geheel gevuld met een sodaoplossing (5 g/l). Hoe groot is bij een flinke druppel (0,1 ml) de concentratie van deze oplossing? Licht je antwoord toe.

Als je 200 ml natriumchloride-oplossing (6,00 g/l) giet bij 300 ml natriumchloride-oplossing (6,00 g/l), hoe groot is dan de concentratie van de ontstane natriumchlorideoplossing? Licht je antwoord toe.

	<u>A - probleem</u>		<u>M - probleem</u>	
	4H groepjes (n=56)	4V (n=43)	4H (n=53)	4V groepjes (n=41)
- Formele concentratie	50%	60%	87%	83%
- Proto-concentratie	50%	40%	9%	15%
- Restcategorie	-	-	4%	2%

Fig. 3: Aftap/mengprobleem bij massaconcentratie met resultaten 4 h/v.

Een maatkolf van 1 liter is tot aan de streep gevuld met een zoutoplossing (molariteit: 2 mol/l). Hoe groot is de molariteit bij een flinke druppel (0,1 ml) van deze oplossing?

Als je 250 ml natriumchlorideoplossing (molariteit: 4,00 mol/l) giet bij 250 ml natriumchlorideoplossing (molariteit: 4,00 mol/l), hoe groot is dan de molariteit van de ontstane natriumchlorideoplossing?

	<u>A - probleem</u>	<u>M - probleem</u>
	4H (16 groepjes)	4H (16 groepjes)
- Formele concentratie	50%	75%
- Proto-concentratie	50%	19%
- Restcategorie	-	6%

Fig. 4: Aftap/mengprobleem bij molaire concentratie met resultaten 4 h/v.

opgenomen groepsgesprekken zijn uitgeschreven tot protocollen en vervolgens geanalyseerd. De uitgevoerde protocolanalyses hebben mede als basis gediend voor het opstellen van de eerder besproken indeling van argumenten bij schriftelijke antwoorden. Een protocolfragment dat illustratief is voor de argumentatie bij 'proto-concentratie' is te vinden in figuur 5.

Een maatkolf van 1 liter is tot aan de streep gevuld met een zoutoplossing (molariteit: 2 mol/l). Hoe groot is de molariteit bij een flinke druppel (0,1 ml) van deze oplossing?

(Een fragment van een gesprek tussen de leerlingen L en M)

M. Nou, dan moet je toch 2 door 0,1 delen. Nee door, eh

L. 2 mol per liter

M. Nou, dan moet je, 0,1 mol is eh, is 0,002

L. 0,001

M. 0,001 gedeeld door 2

L. He

M. Of 2 gedeeld door dat

L. 2, eh, ja, 2 gedeeld door die 0,1 ja, gedeeld door 0,1 is het ... 0,001

M. Ja, zeker weten

L. Nee.

(Nu wordt de leraar R erbij gehaald. Even later:)

R. Dus of je nu die liter bekijkt of die druppel, het aantal mol per liter is niet veranderd. Het was 2 en is weer 2.

M. Hoe kan dat nou, die 0,1 ml is toch geen liter of wel?

R. Nee, het is 10000 maal zo weinig: daar zijn we achter.

M. Ja nou, dan blijft het toch geen 2 ...

Fig. 5: Protocolfragment bij aftapprobleem (4h).

5. Discussie en conclusies

De onderzoeksresultaten laten zien dat het percentage leerlingen in klas 3 dat concentratie als een 'intensieve' grootheid opvat, afneemt in de serie: vwo (ca. 80%), havo (ca. 60%) en mavo (ca. 55%). Voor deze leerlingen verwijst de uitdrukking 'per liter oplossing' in de opgaven niet naar een gestandaardiseerd volume oplossing. Dit verschijnsel is uiteraard goed te verklaren vanuit het feit dat het betreffende begrip nog niet behandeld is.

Maar ook als er wel een bespreking van het standaardkarakter van concentratie heeft plaatsgevonden, namelijk in klas 4 h/v, blijken lang niet alle leerlingen `intensief` te denken over concentratie. Hun percentage varieert met het soort vraagstuk. Bij het mengprobleem blijkt het intensieve denken voor te komen bij ca. 80% van de groepjes. Bij het aftapprobleem ligt dit percentage lager, namelijk ca. 55% groepjes. Deze daling kan het gevolg zijn van de aanwezigheid van extra informatie over het volume van de deeloplossing (0,1 ml). Hierdoor kunnen leerlingen in de verleiding gebracht zijn om een proto-concentratie te berekenen (per 0,1 ml), zonder vervolgens door te stoten naar een formele concentratie (per liter).

Wat argumentatie betreft, is de groep leerlingen die `intensief` denkt te verdelen in drie vrijwel even grote groepen. Allereerst is er een groep leerlingen die een verhoudingsargument gebruikt (`Verhouding gelijk`). Deze leerlingen lijken een meer wiskundige invalshoek gekozen te hebben, waarbij ze blijf geven van proportioneel denken. Vervolgens is er een groep leerlingen die een stofargument hanteert (`Oplossing gelijk`). Deze leerlingen lijken een meer chemische invalshoek gekozen te hebben, waarbij ze concentratie opvatten als een stoffeigenschap. Tenslotte is er ook een groep leerlingen die een definitie-argument toepast (`Concentratie gelijk`). Deze leerlingen lijken een formeel-logische invalshoek gekozen te hebben, waarbij ze zich beroepen op een concentratiedefinitie. Overigens kan hier ook sprake zijn van een cirkelredenering: de concentratie blijkt gelijk omdat de concentratie gelijk blijft.

De groep leerlingen in klas 3 die een intensiviteitsgedachts vooralsnog afwijst, neemt toe in de serie: vwo (ca. 15%), havo (ca. 30%), mavo (ca. 35%). Ook in klas 4 h/v is er een groep leerlingen die (nog) niet `intensief` denkt. Bij het aftapprobleem gaat het om ca. 50% groepjes en bij het mengprobleem over ca. 15% groepjes.

Wat de argumentatie van deze groep leerlingen betreft, kan opgemerkt worden dat bij de leerlingen mavo een argumentatie domineert die gericht is op de hoeveelheid opgeloste stof of oplossing. De aandacht van deze leerlingen is dus gevestigd op één van de componenten van concentratie. Dit kan erop wijzen dat een behoorlijk deel van de leerlingen mavo niet proportioneel denkt bij concentratie. Deze verklaring lijkt strijdig te zijn met de bevinding dat leerlingen mavo, die er wel `intensieve` denkbeelden op na houden, dit lang niet allemaal doen op basis van een verhoudingsredenering. Deze discrepantie kan het gevolg zijn van een neiging bij leerlingen om het formele redeneren, waar mogelijk, te vervangen door een even effectieve, maar meer eenvoudige denkwijze (Wollman en Karplus, 1974). Dit plaatsvervangend redeneren was bij de aangeboden concentratieproblemen inderdaad mogelijk, bijvoorbeeld door gebruik te maken van de hierboven reeds genoemde stofargumentatie.

Bij de groep leerlingen uit 3 h/v bleek een ander argument te domineren, namelijk de uitspraak dat geen antwoord gegeven kon worden omdat het volume oplossing niet gegeven was. Deze leerlingen lijken zich wel te realiseren dat het gaat om een verhouding, maar zien daarbij het gestandaardiseerde karakter van concentratie over het hoofd. Zij willen vermoedelijk een verhouding vaststellen die opgebouwd is uit de feitelijke hoeveelheid opgeloste stof en het reëel aanwezige volume oplossing. Op deze wijze passen zij concentratie toe op voorwerpniveau en niet op stofniveau. Deze voorstelling van concentratie blijkt ook voor te komen bij de onderzochte groep leerlingen 4 h/v. Een deel van deze leerlingen berekent immers de waarde van de proto-concentratie in plaats van de formele concentratie. De beschreven argumentatie is aan te duiden met de term voorwerp-argument. Via de hulp van het begrip 'proto-concentratie' is het immers mogelijk een mengsel te beschrijven op voorwerpniveau. Terwijl een mengsel via het begrip 'formele concentratie' juist te beschrijven is op stofniveau (6).

De onderzoeksresultaten ondersteunen de gedachte dat een meer zorgvuldige introductie van het concentratiebegrip, althans het intensieve kenmerk ervan, zeker op zijn plaats is. Dat geldt met name voor het mavo. Het lijkt daarbij van belang om de aandacht van leerlingen te richten op het verhoudingsaspect van concentratie en op het gestandaardiseerde karakter ervan. Het eerste kenmerk kan aan bod komen bij de behandeling van de relatie tussen concentratie en de eigenschappen van een mengsel. Dit kan gebeuren via vergelijkende proeven met gekleurde oplossingen e.d. Het tweede kenmerk kan aan bod komen bij de behandeling van de relatie tussen concentratie en de samenstelling van een mengsel. Dit kan gebeuren via kwantitatieve proeven aan de hand van keukenrecepten e.d.

In het kader van het besproken onderzoek in klas 3 zijn uitsluitend schriftelijke argumenten van leerlingen verzameld. Het kan nuttig zijn om deze gegevens aan te vullen met mondelinge uitingen van leerlingen. Dit zou de interpretatie van de gehanteerde argumenten ten goede kunnen komen, bijv. bij het argument 'concentratie neemt ook af/toe'. Bij dit argument kan er sprake zijn van een cirkelredenering. Maar ook is het mogelijk dat leerlingen een conservatieprincipe hanteren (zie Piaget en Inhelder, 1974). In dit geval zou het dan gaan om de opvatting dat bijvoorbeeld bij het aftappen van een oplossing de 'totale' concentratie gelijk blijft en de ontstane deeloplossingen elk een deel van de concentratie krijgen. Er zou dan sprake zijn van de conservatiegedachte: behoud van concentratie.

Tenslotte kan nog opgemerkt worden dat het zinvol lijkt om soortgelijk onderzoek te doen naar verwante begrippen, zoals massapercentage, volumepercentage en het begrip dichtheid.

Het beschreven onderzoek ondersteunt de gedachte dat bij onderwijs en onderzoek over verhoudingen meer aandacht dient te worden besteed aan verhoudingsbegrippen met een gestandaardiseerd karakter.

Noten

1. Leerboeken waarin concentratie wel als intensieve grootheid wordt besproken zijn het leerboek van Feis en Jansen voor vwo, deel 2 (1982) en het leerboek van de cmls/slo voor 4-havo (1981) en 4 vwo (1984).
2. De opgaven waarbij geen speciale voorkennis van concentratie vereist was, zijn uitsluitend aangeboden aan leerlingen uit klas 3. Hierdoor was het mogelijk om een storende onderzoeksfactor op een simpele manier te omzeilen, namelijk de aanwezigheid van leerlingen in klas 4 met te veel voorkennis (doublanten, instromers 4-mavo).
3. Leerlingen uit 4 mavo zijn buiten beschouwing gelaten, omdat een onderzoek in hun examenjaar minder gewenst leek.
4. Bij het A - probleem is het verschil tussen havo en vwo significant (χ^2 -kwadraat = 10,4; $p < 0,01$), evenals bij het M - probleem (χ^2 -kwadraat = 6,70; $p < 0,01$).
5. Voor het A - probleem was het verschil tussen havo en vwo significant (χ^2 -kwadraat 7,94; $p < 0,01$) evenals bij het M - probleem (χ^2 -kwadraat 7,13; $p < 0,01$).
6. Een concentratie die instaat tussen `proto-concentratie` en `formele concentratie van een oplossing met een volume van 1 liter (of 1,0 liter of 1,00 liter, etc.)`. Het gaat dan niet om een (denkbeeldige) liter - met oneindige meetnauwkeurigheid - , maar om een reëel te meten liter oplossing. Ik noem dit type concentratie: empirische concentratie. Via het begrip `empirische concentratie` is een mengsel te beschrijven op voorwerpniveau.

Literatuur

- Graham, I. Difficulties encountered by biology students in understanding and applying the mole concept, *Journal of Biological Education*, 17, p.339, 1983.
- Karplus, R. c.s. Proportional reasoning and control of variables in seven countries. In: Lochhead J. en Clement J. (red.), *Cognitive process instruction*, Philadelphia: Franklin Institute Press, 1979.
- NEN 999. *Het internationaal stelsel van eenheden (SI)*, Rijswijk: Ned. Normalisatie Instituut, 1977.

-
- Pelgrum, W.J., en Hoogeveen, J. Internationaal onderzoek naar onderwijs in de natuurwetenschappen, *Faraday*, 9, p.9, 1984.
- Piaget, J. *The child's conception of movement and speed*, Londen: Routledge, Kegan en Paul, 1970.
- Piaget, J. en Inhelder, B. *Child's construction of quantities: conservation and atomism*, Londen: Routledge, Kegan en Paul, 1974.
- Wollman, W. en Karplus, R. Using ratio in different tasks, *School Science and Mathematics*, 74, p.593, 1974.