

Het opsporen van een stoichiometrische regel uit meetgegevens

O.de Jong en A.Hamaker
Vakgroep Chemie-Didactiek
Rijksuniversiteit Utrecht

Summary

In chemical education there is a trend to stimulate pupils to find out an empirical rule from a set of empirical data. The development of such a rule can be seen as a process of determination of an empirical relation, followed by generalization of the result.

The present research was focused on the extent of the generalization process. Nine small groups of pupils 3 HAVO/VWO had to find out a stoichiometric rule on the base of empirical data, derived from a restricted set of experiments 'on paper'. Classroom protocols were collected and analysed. Results of the analysis indicate that pupils only use data from the first (two) experiment(s). The other ones were ignored. The conclusion is that the extent of generalization is restricted to a minimum or is missing at all.

If pupils have to work with empirical data 'on paper', there should be given particular attention to the selection, structure and mode of the offered data.

Inleiding

Het hier beschreven onderzoek heeft betrekking op het opsporen van een chemische regel uit een aantal waarnemingsgegevens door leerlingen uit het HAVO/VWO. Het opsporen van zo'n empirische regel is in de chemie een gebruikelijke activiteit en kan volgens ons als volgt beschreven worden:

- het vaststellen van een betrekking tussen twee (of meer) waarnemingsgegevens, leidend tot een *empirische* relatie.
- het vaststellen van overeenkomst tussen een aantal van deze empirische relaties, leidend tot een *empirische* regel.

Zodra het aantal overeenkomstige relaties voldoende groot is, kan een empirische regel overgaan in een *empirische wet* (zie Koningsveld, 1977). Bij ons onderzoek was overigens het aantal waarnemingsgegevens

dat door leerlingen geïnterpreteerd moest worden te gering om te kunnen spreken van het opsporen van een empirische wet.

Het kunnen opsporen van een empirische regel is een vaardigheid die niet alleen van belang is voor chemici en andere beoefenaren van een empirische wetenschap, maar ook voor iedereen die tracht op basis van een serie waarnemingen algemene uitspraken te doen over alledaagse verschijnselen. Het leren van deze vaardigheid kan heel goed geschieden in het kader van natuurwetenschappelijk onderwijs.

In het secundair scheikunde-onderwijs heeft deze vaardigheid lange tijd betrekkelijk weinig aandacht gekregen. In veel leerboeken bijvoorbeeld kwam de introductie van een nieuwe regel meestal neer op het poneren ervan. Soms ging het gepaard met een proef waarmee echter uitsluitend het bestaan van een singuliere relatie kon worden aangetoond.

Op dit moment echter is er een tendens te bespeuren om leerlingen meer in de gelegenheid te stellen zelf een chemische regel op te sporen. Deze trend is niet alleen zichtbaar in een aantal recente leerboeken scheikunde, maar is ook af te leiden uit enkele punten in het nieuwe examenprogramma VWO (1983). Dit programma bevat onder meer de bepaling dat kandidaten 'met behulp van aangeboden informatie verbanden kunnen leggen of afleiden tussen gegeven en bekende chemische begrippen ...'. Een andere bepaling luidt dat kandidaten 'verschijnselen of resultaten kunnen beredeneren of berekenen met behulp van ... experimentele, inclusief numerieke, grafische en tabellarische gegevens.'

De waarnemingsdata op grond waarvan gegeneraliseerd kan worden kunnen op verschillende manieren onder de aandacht van leerlingen worden gebracht. Hieronder zullen we er twee noemen.

De eerste methode, de meest voorkomende, bestaat uit het aanbieden van een leerlingenpraktikum waarbij leerlingen zelf gegevens moeten verzamelen. Deze onderwijsaanpak levert echter enkele specifieke moeilijkheden op. In de eerste plaats vraagt een consequente toepassing van deze benadering vrij veel lestijd. In de tweede plaats leiden niet alle proeven tot waarnemingsresultaten die voldoende nauwkeurig zijn om een generalisatie plausibel te laten zijn. Tenslotte zijn een aantal proeven te ingewikkeld, te duur of te gevaarlijk om in aanmerking te kunnen komen voor een leerlingenpraktikum. Overigens is een deel van deze knelpunten weg te nemen door het leerlingenpraktikum te vervangen door een docentenproef.

De tweede methode, die tevens genoemde nadelen van bovenstaande

aanpak ondervangt, bestaat uit het aanbieden van kant-en-klare waarnemingsresultaten. Deze kunnen worden gepresenteerd in de vorm van een grafiek, tabel, labjournaal, praktikumverslag of iets dergelijks. Het bezwaar van de benadering is uiteraard dat het hier gaat om 'papieren' proefresultaten. Overigens is dit euvel voor een deel te verhelpen door deze 'droge' aanbieding vooraf te laten gaan door een 'natte' docentenproef. Het aanbieden van gegevens op papier is een methode die in een aantal gevallen een goed compromis kan vormen tussen het 'van boven af' poneren van een regel en het 'van onder op' laten uitzoeken van een regel via de weg van een praktikum.

Tot dusver is er nog weinig bekend over de wijze waarop leerlingen omgaan met 'papieren' proefresultaten bij het opsporen van een regel. Een interessante kwestie is de vraag of leerlingen bij regelvorming niet geneigd zullen zijn slechts een deel van de relevante informatie te gebruiken om vervolgens voorbarige conclusies te formuleren. Om hierover meer duidelijkheid te krijgen, hebben wij een verkennend onderzoek ingesteld bij leerlingen uit klas 3 HAVO/VWO. Daarbij heeft de volgende vraag centraal gestaan:

Van hoeveel 'papieren' proeven gebruiken leerlingen gegevens bij het generaliseren van een gevonden relatie tot een empirische regel?

Bij beantwoording van deze vraag is gebruik gemaakt van twee tabellen met meetgegevens die voorkomen in een leerboek scheikunde voor klas 3 HAVO/VWO (De Vos, 1982). De meetgegevens hebben betrekking op een reactie tussen twee gassen in een overmaatsituatie. In elke tabel is voor een aantal proeven informatie opgenomen over de startvolumes van de gassen en over het volume resterend gas. Het is de bedoeling dat de leerlingen er achter komen in welke (constante) volumeverhouding beide gassen met elkaar reageren. In paragraaf 2 worden de tabellen met meetgegevens meer uitvoerig toegelicht. Om het gedrag van leerlingen te kunnen onderzoeken zijn tijdens een aantal lessen geluidsopnamen gemaakt van groepjes leerlingen die aan de tabelopdracht werkten. Deze bandopnamen zijn vervolgens uitgeschreven tot protocollen en tenslotte geanalyseerd. In paragraaf 3 wordt hierop nader ingegaan, samen met de verdere beschrijving van de uitvoering van het onderzoek. De resultaten van de uitgevoerde analyses zijn weergegeven in paragraaf 4, terwijl in paragraaf 5 alle resultaten van commentaar worden voorzien.

De verkregen onderzoeksresultaten zijn niet alleen van belang voor de revisie van het onderzochte leerboek, maar inspireren ook tot suggesties voor onderwijs in het opsporen van empirische regels. Enkele aanbevelingen ter zake zijn te vinden in paragraaf 6.

2. Twee tabellen met meetgegevens

De twee tabellen komen voor in het leerboek 'Chemie in duizend vragen' van De Vos, bestemd voor klas 3 HAVO/VWO. De tabellen staan in een hoofdstuk dat handelt over gassen. In het begin van dit hoofdstuk maken de leerlingen kennis met de Wet van Avogadro ('Een liter van een gas en een liter van een ander gas bevatten evenveel moleculen ...'). Met behulp van deze wet kunnen leerlingen zich een beeld vormen van de molecuulverhouding waarin twee gassen met elkaar reageren. Daarvoor is echter wel kennis nodig van de bijbehorende volumeverhouding. In de tekst wordt deze kennis ontwikkeld via het werken met meettabellen. Bij de eerste tabel gaat het om de gassen ammoniak en waterstofchloride die met elkaar reageren. Deze tabel is met enkele bijbehorende opdrachten weergegeven in Figuur 1. In de les wordt een gasmeetspuit met ammoniak gekoppeld aan een gasmeetspuit met waterstofchloride. Het is de bedoeling dat de startvolumes van beide gassen gemeten worden en dat, na reactie, het resterende volume bepaald wordt. Dit volume behoort bij een van de startgassen, want het eindproduct is een vaste stof ('salmiak').

Bekijk de volgende resultaten:

	aantal ml ammoniak	aantal ml waterstof- chloride	aantal ml na afloop	over- blijvend gas
proef 1	48	74	26	wat. chlor.
proef 2	83	97	14	wat. chlor.
proef 3	88	47	41	ammoniak
proef 4	63	95
proef 5	37	..	0	-

(Welk gas er na de proef overblijft kun je vaststellen aan de geur.)

3a. Vul de ontbrekende resultaten zelf in.

3b. In welke volumeverhouding reageren ammoniak en waterstofchloride met elkaar?

volume ammoniak: volume waterstofchloride =

Figuur 1 NH_3/HCl - Tabel met meetgegevens en opdrachten.

De tweede tabel heeft betrekking op een reactie tussen de gassen waterstof en zuurstof. Deze tabel is met bijbehorende opdrachten te vinden in figuur 2. De opzet van de tabel is vrijwel gelijk aan die van de vorige tabel. Dit keer ontbreekt in de lestekst echter een oriënterende (demonstratie)-proef. De tweede tabel wordt van de eerste gescheiden door een stuk tekst, waarin voornamelijk een aantal kwalitatieve kenmerken van de reactie tussen waterstof en zuurstof wordt besproken.

De resultaten van een serie proeven vind je in de volgende tabel:

	aantal ml waterstof	aantal ml zuurstof	overgebleven na de reactie
proef 1	10	10	5 ml zuurstof
proef 2	10	8	3 ml zuurstof
proef 3	10	3	4 ml waterstof
proef 4	15	5	5 ml waterstof
proef 5	10	..	niets
proef 6	..	8	niets

3a. Vul de ontbrekende getallen in de tabel in.

3b. In welke volumeverhouding reageren waterstof en zuurstof met elkaar?

volume waterstof: volume zuurstof =

Figuur 2 H_2/O_2 - Tabel met meetgegevens en opdrachten.

Van leerlingen wordt verwacht dat zij aan de hand van de tabelgegevens twee opdrachten uitvoeren. Eerst moeten zij ontbrekende gegevens over gasvolumes invullen. Dit kan alleen maar zinvol geschieden door middel van een voorspelling vanuit een gevonden regel. Vervolgens dienen leerlingen te noteren in welke volumeverhouding de betrokken gassen met elkaar reageren. Door deze volgorde van de opdrachten worden leerlingen niet direct gedwongen een gevonden regel te karakteriseren als een verhouding. Er zijn immers ook andere mogelijkheden. Zo is het bij de NH_3/HCl tabel mogelijk om de ontbrekende getallen goed in te

vullen door in plaats van een verhoudingsregel uit te gaan van een verschilregel (bijv. grootste getal minus kleinste getal is gevraagde getal).

3. Uitvoering van het onderzoek

Na deze bespreking van de tabellen met meetgegevens is de vraagstelling uit paragraaf 1 verder uit te werken tot de volgende operationele onderzoeksvraag:

Van hoeveel proeven uit elk van beide tabellen gebruiken leerlingen gegevens bij het uitvoeren van de opdrachten 3a en 3b? De manier waarop deze vraag beantwoord is zal hieronder kort worden beschreven. Een uitvoerig verslag is te vinden bij Hamaker (1984). Het onderzoek is uitgevoerd bij leerlingen uit klassen 3 HAVO/VWO van twee verschillende scholengemeenschappen (noot 1). Deze klassen gebruikten het eerder genoemde leerboek met de twee tabellen. De lesteksten waren zelf-instruerend van aard en van de leerlingen werd verwacht dat zij in discussiegroepjes van twee à vier personen aan de aangeboden taken werkten. Op het moment dat de tabelopdrachten moesten worden uitgevoerd, hadden de leerlingen ruim een half jaar ervaring opgedaan met het werken in groepjes aan de teksten.

De wijze waarop de tabelopdrachten door groepjes leerlingen zijn uitgevoerd, is vastgelegd met behulp van een cassettebandrecorder. De geluidsopnamen hebben plaatsgevonden in het kader van de gebruikelijke scheikundelessen. De opnamen zijn gemaakt door de tweede auteur van dit artikel in samenwerking met J. van Driel in het kader van een bijvakonderzoek bij de Vakgroep Chemie-Didactiek, R.U.U. Doordat deze onderzoekers al veel vaker in de klassen waren geweest om gesprekken tussen leerlingen vast te leggen, waren de leerlingen vertrouwd met hun aanwezigheid en hun activiteiten. Zo nu en dan zijn de onderzoekers door leerlingen geraadpleegd bij het uitvoeren van een opdracht; daarbij volstonden de onderzoekers meestal met het stimuleren van leerlingen om zelf het antwoord te vinden.

Bij het NH_3/HCl - tabel zijn van vijf groepjes leerlingen de gesprekken op band vastgelegd; bij de H_2/O_2 - tabel is dit gebeurd voor acht groepjes leerlingen. Bij het afluisteren van de bandopnamen is gebleken dat bij de eerstgenoemde tabel er een opname was die onvolledige informatie bevatte om gebruikt te kunnen worden; bij de andere tabel ging het om drie opnamen die ongeschikt bleken te zijn. Hierdoor zijn er voor de NH_3/HCl - tabel vier groepjes met in totaal 14 leerlingen overgebleven; twee HAVO-groepen en twee VWO-groepen. Voor de

H₂/O₂- tabel zijn er vijf groepjes met in totaal 16 leerlingen overgebleven: een HAVO-groepje en vier VWO-groepjes. Gezien de beperkte aantallen is er geen onderscheid gemaakt tussen beide soorten niveau-groepjes bij de verwerking en interpretatie van de resultaten. Tenslotte kan opgemerkt worden dat, op één uitzondering na, de opdrachten bij de eerste tabel door andere groepjes leerlingen zijn uitgevoerd dan bij de tweede tabel.

De bandopnamen zijn uitgeschreven en vervolgens geanalyseerd tegen de achtergrond van de hierboven genoemde onderzoeksvraag. Bij deze analyses waren niet alleen de beide genoemde onderzoekers aanwezig, maar ook de eerste auteur van dit artikel en de auteur van het leerboek. De analyses verliepen in twee rondes: eerst bestudeerde ieder voor zich de protocollen waarna gezamenlijke interpretatie volgde. Zonodig werden de originele geluidsopnamen afgeluisterd.

4. Resultaten

NH₃/HCl - tabel

Voor de beantwoording van vraag 3a (invullen van getallen) hebben twee groepjes (totaal: 6 leerlingen) zich beperkt tot de meetgegevens van proef 1. Daarnaast waren er twee groepjes (totaal: 8 leerlingen) die aanvullende gegevens uit proef 2 hebben geraadpleegd. Door geen van deze groepjes zijn meetgegevens van proef 3 gebruikt. Alle antwoorden bleken juist te zijn.

Ten behoeve van de beantwoording van vraag 3b (noteren van een volumeverhouding) heeft geen enkel groepje extra meetgegevens ingeschakeld. Het antwoord werd in drie van de vier gevallen direct na het lezen van de vraag gegeven en bleek dan correct te zijn.

Voorts is bij de analyses naar voren gekomen dat er geen verband gelegd werd tussen de aangeboden meetgegevens en de resultaten van de voorafgaande demonstratieproef in de les.

Tijdens de analyses is ook aandacht besteed aan het type relatie dat door leerlingen is ontwikkeld. Twee groepjes bleken zowel een somrelatie als een verschilrelatie te produceren. Een groepje beperkte zich tot een somrelatie, terwijl er ook een groepje was dat een verhoudingsrelatie formuleerde.

In figuur 3 is een fragment van een protocol weergegeven van een groepje leerlingen dat zich baseert op de gegevens van een proef en daarbij gebruik maakt van een verschilrelatie (zie protocol regel 5), hoewel even ook een somredenering de kop opsteekt (zie protocol regel 7).

H_2/O_2 -tabel

Uit de analyse van vijf protocollen is gebleken dat bij het invullen van getallen er drie groepjes (totaal: 9 leerlingen) waren die uitsluitend informatie van proef 1 hebben gebruikt. De overige twee groepjes (total: 7 leerlingen) hebben daarnaast ook proef 2 in hun overwegingen betrokken.

Ook bij deze tabel zijn de meetgegevens van de resterende proeven genegeerd. De gegeven antwoorden bleken ditmaal niet altijd juist te zijn. De beantwoording van de vraag over de volumeverhouding (vraag 3b) geschiedde wel correct, maar daarbij zijn geen aanvullende meetgegevens gebruikt.

(Hieronder volgt een fragment van een protocol van vier leerlingen die bij de NH_3/HCl - tabel bezig zijn opdracht 3a uit te voeren:
 'Vul de ontbrekende resultaten zelf in'.

1. A:Moe 'k effe dat tabelletje doen.
2. B: Ja ...OK, maar daar snap ik geen reet van; van die hele tabel niet.
3. C: Ikke wel, zal 'k 'm uitleggen?
4. A: Aantal milliliter.
5. C: Je moet gewoonja...37 met, met iets, da's nul hè? Nou, als je dan deze kijkt. Verschil tussen die en die 28, nou, als je daar nou ook 37 neeraet is het verschil nul. Dus moe'j daar 37 neeraetten.
6. A: Oh ja.
7. B: Oh dus, dit, dit plus dit is zeven ...
8. C: En dit is, en dit is dus 35, 't verschil.
9. A: Alleen 't verschil moet je doen... dat is dus twee-en ... 32 is dit he?
10. B: ~~xxx~~
11. C: 't Verschil . Dit getal ... en dit getal, daar zit toch 32 tussen?
12. A: Ja, 32.
13. C: Nou, da's 32 ... en die ander is eh ...
14. A: Ehm ...
15. C: Ammoniak, denk ik.
16. A: Overblijvend gas. Hoe weet je 't overblijvend gas ook weer?

Figuur 3 Fragment van een protocol.

Uit aanvullende analyses van het materiaal is gebleken dat bij vraag 3a de gevonden relatie in drie van de vijf gevallen een verhoudingskarakter had. In de overige gevallen is er sprake van een verschilrelatie, te karakteriseren als: verschil tussen volume waterstof en volume

zuurstof is 5 ml. Dit heeft soms een onjuist antwoord opgeleverd bij 'proef 6'.

5. Discussie

Het invullen van ontbrekende meetwaarden in de tabellen door leerlingen is te karakteriseren als een voorspellingsproces, met een vooraf opgespoorde regel als uitgangspunt. Na afloop van de voorspelling moest de gehanteerde regel op papier gezet worden (in termen van een verhouding).

Uit de onderzoeksresultaten blijkt nu dat bij de regelvorming geen enkel groepje leerlingen het nodig vindt om van alle aangeboden proeven de meetgegevens te interpreteren. Dit negeren van relevante gegevens is misschien te verklaren door uit te gaan van een sterke behoefte bij leerlingen om snel tot resultaten te komen bij een opdracht en daarbij minder aandacht te schenken aan de kwaliteit van de gebruikte argumentatie.

Een aantal groepjes leerlingen gaat zover dat zij zich beperken tot het interpreteren van slechts één proef. Zij verheffen een relatie tot regel zonder dit te baseren op aanvullende informatie. Het gedrag van deze groepjes is te betitelen als: *voorbarige regelvorming*. Misschien is dit gedrag mede het gevolg van het feit dat in het huidige onderwijs lang niet elke empirische regel geïntroduceerd wordt via een set overeenkomstige relaties.

Overigens blijken er groepjes leerlingen te zijn die wel tot een meer *beargumenteerde regelvorming* overgaan. Deze leerlingen gaan echter niet verder dan het bekijken van de eerste twee proeven. Omdat op grond daarvan relaties op te stellen zijn die met elkaar overeenstemmen, verwachten zij vermoedelijk dat dit bij de rest van de proeven ook wel het geval zal zijn. Zij gaan dan echter uit van de meest smalle generalisatiebasis die mogelijk is.

Bovenstaande conclusies zijn gebaseerd op analyses van bandopnamen van gesprekken tussen leerlingen. Uiteraard heeft dit onderzoeksinstrument een aantal beperkingen. De belangrijkste is vermoedelijk het feit dat het niet mogelijk is te achterhalen of leerlingen in gedachten toch niet meer proeven in ogenschouw genomen hebben dan uit hun onderlinge gesprekken blijkt.

Wij hebben echter de indruk dat dit verschijnsel nauwelijks is opgetreden: het werken met getallen leidt bij leerlingen al snel tot verbale activiteiten.

Tenslotte kan nog opgemerkt worden dat in een aantal gevallen het

opstellen van een relatie te karakteriseren is als het spelen met getallen waarbij de chemische betekenis van de informatie in het duister bleef. Zo werd bij de NH_3/HCl - tabel een somrelatie opgesteld, waarbij het getal uit de eerste kolom plus het getal uit de laatste kolom gelijk is aan het getal uit de middelste kolom. Namen van bijbehorende gassen werden daarbij weggelaten. Misschien is dit gedrag opgeroepen door de gebruikte formulering bij opdracht 3a: 'Vul de ontbrekende resultaten zelf in'. Het bezwaar van deze formulering is volgens ons dat hierdoor de kans bestaat dat bij een op te sporen kwantitatieve regel de aandacht van leerlingen ten onrechte gericht wordt op de numerieke kenmerken ervan.

6. Suggesties voor onderwijs

Op grond van het uitgevoerde onderzoek is het mogelijk enkele suggesties te formuleren voor het structureren van 'tabellarische' meetgegevens in een onderwijssituatie. Indien het bijbehorende onderwijsdoel gericht is op het voorkomen van voorbarige generalisaties, dan is het volgende te overwegen. De tabel zou zodanig gestructureerd kunnen worden dat leerlingen bij het uitvoeren de taken vroegtijdig in een cognitief conflict gebracht worden. Dit kan misschien bereikt worden door een zorgvuldige keuze en ordening van de meetwaarden.

a. Keuze van meetwaarden.

Vroegtijdige generalisaties kunnen worden afgeremd door de meetwaarden bij de onvolledige proeven te laten afwijken van die bij de overige proeven (bij H_2/O_2 - tabel zouden de meetwaarden bij de proeven 5 en 6 veranderd moeten worden).

b. Ordening van meetwaarden.

Om leerlingen die slechts impliciet generaliseren aan het twijfelen te krijgen, zou bij de eerste proef in de tabel de grootste meetwaarde in een andere kolom moeten staan dan bij de te onderzoeken kolom (bij NH_3/HCl - tabel zouden de getallen bij proef 4 verwisseld kunnen worden). Het afremmen van leerlingen die zich slechts op twee proefresultaten willen baseren, kan bevorderd worden door bij de eerste proeven in de tabel de grootste getallen niet in dezelfde kolom te plaatsen (bij de NH_3/HCl - tabel zouden dan proef 3 met proef 2 verwisseld kunnen worden).

Een andere mogelijkheid om voorbarige generalisaties tegen te gaan is wellicht het aanbieden van empirische gegevens in de vorm van een beschrijving van een proef of van een uittreksel van een labjournaal.

Bij het laten opsporen van een empirische regel met behulp van 'papier-

ren' gegevens dient er volgens ons ruime aandacht besteed te worden aan de selectie, structuur en presentatievorm van het empirische materiaal. Voortgezet didactisch onderzoek zal moeten uitwijzen welke aanbestedingswijze het meest effectief is bij het laten opsporen van een empirische regel.

Noten

1. Met dank aan de scheikunde-sectie en leerlingen van het 'Goois Lycaum' te Bussum en 'Laar en Berg' te Laren (NH) voor hun stimulerende medewerking.

Literatuur

- Hamaker, A. Het interpreteren van een tweetal meettabellen door leerlingen in het beginonderwijs scheikunde, Utrecht: Vakgroep Chemie-Didactiek, R.U.U. 1984 (bijvakverslag).
- Koningsveld, H. Het verschijnsel wetenschap, Meppel: Boom, 1977.
- Programma scheikunde eindexamen VWO, Beschikking VO/AV/J - 797.795. Bijlage I (1 december 1983).
- Vos, W.de. Chemie in duizend vragen. Leerlingentekst bij de cursus 'Didactiek van de chemische reactie in 3 HAVO/VWO', Utrecht: Vakgroep Chemie-Didactiek, R.U.U., 1982.