

Michiel Vogelesang

EEN ONVERDEELBARE EENHEID

EEN ONVERDEELBARE EENHEID MICHEL VOGELZANG



CD- β WETENSCHAPPELIJKE BIBLIOTHEEK

Onder redactie van:

Dr. P.L. Lijnse

Prof. dr. A. Treffers

Dr. W. de Vos

Dr. A.J. Waarlo

1. Didactiek in Perspectief
redactie: P.L. Lijnse en W. de Vos
2. Radiation and Risk in Physics Education
H.M.C. Eijkelhof
3. Natuurkunde-onderwijs tussen Leefwereld en Vakstructuur
R.F.A. Wierstra
4. Een onverdeelbare Eenheid
M.J. Vogelezang

Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen
Rijksuniversiteit Utrecht
Postbus 80.008
3508 TA Utrecht

EEN ONVERDEELBARE EENHEID

Een chemie-didactisch onderzoek naar het chemisch atoom

AN INDIVISIBLE UNITY

Research into the chemical atom
(with a summary in English)

PROEFSCHRIFT

Ter verkrijging van de graad van doctor
aan de Rijksuniversiteit te Utrecht
op gezag van de rector magnificus,
Prof. Dr. J. A. van Ginkel,
ingevolge het besluit van het College van Dekanen,
in het openbaar te verdedigen
op woensdag 6 juni 1990 des namiddags om 2.30 uur

door

Michiel Joseph Vogelesang

geboren op 13 december 1946, te Maasbree

uitgeverij CDB pers - Utrecht

PROMOTOR: PROF. DR. A.H. VERDONK
CO-PROMOTOR: DR. H.F. VAN SPRANG

EEN ONVERDEELBARE EENHEID

Band 1 Onderzoeksverslag

Omslag: A. Lurvink, OMI-RUU
Layout: André Drenth
Druk: FEBO - Enschede
Copyright: M.J. Vogelezang, Utrecht 1990.

ISBN 90-73346-05-3

Aan mijn ouders

.....

"... das Mißverstehen sich von selbst ergibt und das Verstehen auf jedem Punkt muß gewollt und gesucht werden ..."

Hans-Georg Gadamer

INHOUD

Over de structuur van dit proefschrift

1. BETEKENISSEN VAN CHEMISCHE FORMULES	1
1.1 H₂O: genese van een feit	1
1.2 Schets van behandeling van formules in schoolboeken	3
1.2.1 Formules op basis van experimentele ervaring: 1850-1930	3
1.2.2 Overgang naar formules afgeleid uit chemische atoomtheorie: 1930-1970	5
1.2.3 Overgang naar formules als 'feiten': 1970-heden	8
1.2.4 Konklusie	9
1.3 Noten	9
2. MIJN LEREN VAN BETEKENISSEN VAN FORMULES	13
2.1 Problemen bij mijn leren van scheikundige formules	13
2.1.1 Scheikundige formule, chemische stof en hun relatie worden probleem	13
2.1.2 Moeizaam op weg naar een andere betekenis van chemische formule	15
2.2 Relatie tussen stof en hoeveelheid wordt probleem voor mij	17
2.2.1 Over het ontstaan van een niet alledaagse vraag	17
2.2.2 Noodzaak van bezinning op 'hoeveelheid stof'	19
2.3 Stof, massa en volume	20
2.4 Konklusie	22
2.5 Noten	22
3. RELATIES TUSSEN HOEVEELHEDEN IN CHEMISCHE KONTEKSTEN	25
3.1 Enkele kwantitatieve relaties bij de chemische reactie	25
3.1.1 Konstante samenstelling als kenmerk van samengestelde stof	25
3.1.2 Massabehoud en elementmassabehoud	28
3.1.3 Chemische wet van Gay-Lussac	29
3.1.4 Konklusie: kwantitatieve kwaliteiten	29

3.2 Visies op een begrip 'atoom'	30
3.2.1 'Molekuul' als afzonderbaar deeltje	30
3.2.2 'Atoom' als afzonderbaar deeltje	30
3.2.3 'Atoom' als chemische eenheid	31
3.2.4 Atoom als hybride van een absolute en een relatieve interpretatie	33
3.2.5 Konklusie	34
3.3 Verschillende wijzen van chemisch verwoorden	35
3.3.1 Visuele en beschrijvende kontekst	35
3.3.2 Verandering in de kwaliteit van de argumentatie	36
3.3.3 Karakterisering van twee soorten vragen	38
3.3.4 Eigen ervaring met gericht zijn op een beschouwende samenhang	39
3.3.5 Kontekstgebonden en kontekstloze verwoordingen	43
3.4 Konklusie	44
3.5 Noten	45
4. LEREN OP GROND VAN DIREKTE ERVARING	51
4.1 Niet kunnen uitleggen	51
4.1.1 Het vormen van een vakkontekst als probleem bij onderwijzen	51
4.1.2 Ontstaan van een Scheikunde Werkgroep	53
4.2 Mijn komen tot een grondniveau in chemie-didaktiek	54
4.2.1 Getroffen worden door uiterlijke overeenkomsten	54
4.2.2 Persoonsgebondenheid	54
4.2.3 Kontekstervaring	55
4.2.4 Anderen iets aanwijzen als bron voor directe ervaring	55
4.2.5 Streven naar een nieuw soort gespreksituatie	56
4.2.6 Protokollen als noodzakelijk onderzoeksmateriaal	56
4.2.7 Verschillend taalgebruik bij leraar en leerling	57
4.2.8 Leren-in-gemeenschap	58
4.2.9 Konklusie	60
4.3 Een overgang naar een beschrijvend niveau chemie-didaktiek	60
4.3.1 Komen tot argumentatie als overgang naar een beschrijvend niveau	60
4.3.2 Empirisch chemie-leren als voorloper op chemie-didaktiek-leren	60
4.3.3 Ongenoegen, analyse, explicitering	61
4.4 Nabeschouwing	62
4.5 Noten	63

5. ONDERZOEKEN VAN BEGRIPSGENESE	67
5.1 Protokol-analyse als geëigend onderzoeksinstrument	67
5.2 Gespreksgemeenschappen	68
5.2.1 Leerlingengesprekken (1982-1984)	68
5.2.1.1 Gedurende welke jaren werden opnamen gemaakt?	68
5.2.1.2 In welke klassen?	68
5.2.1.3 Bij welke leerlingengroepjes en waarom?	69
5.2.1.4 Motieven voor het uitschrijven van leerlingengesprekken	70
5.2.2 De Amersfoortse groep (1978-1982)	70
5.3 De gespreksthematiek zoals neergelegd in leergangontwerpen	71
5.3.1 Toestandsverandering van een element	71
5.3.2 Ontwerpen voorafgaande aan het K-deel	73
5.3.3 Het K-deel	74
5.3.4 Mijn bewerkingen van het K-deel inzake de één-tot-één gasreactie	79
5.3.4.1 Van Dulong en Petit naar de chemische wet van Gay-Lussac	79
5.3.4.2 Volumeregelaar en haar gevolgen	81
5.3.4.3 Naar regelmaat in elementmassa per volume-eenheid	83
5.4 Onderzoeksvragen t.a.v. leerlingengesprekken	87
5.5 Conclusie	87
5.6 Noten	88
6. GENESE VAN ELEMENT AAN DE HAND VAN HET DERDE EQUIVALENTGETAL	89
6.1 De gebruikte opdrachten: in hoeverre voorbereid en voorbereidend?	89
6.1.1 Elementindividueel met meer dan één geoxideerde toestand	90
6.1.2 K 1 en K 2 als voorbereiding op K 3 - 1 en 2	91
6.1.3 K 3; het derde equivalentgetal	92
6.1.3.1 De oorspronkelijke versie van K 3 - 1 en 2	92
6.1.3.2 De veranderde versie (nu K 3 - 1, 2 en 3)	94
6.2 Gespreksproductiviteit bij leerlingen	94
6.2.1 Ongenoegen en taalnood	95
6.2.2 Elementmassabehoud: formalisme of begrepen gezichtspunt?	98
6.2.3 'Aandragen' van een gezichtspunt	100
6.2.4 Betekenis geven aan de reeks van equivalentgetallen	101
6.2.5 'Toestand' of 'verandering van toestand'	102

6.2.6 'Toestand' en 'verandering van toestand': formalisme of begrepen gezichtspunt?	103
6.2.7 Semi-kwantitatief taalveld als tussenstap	105
6.2.8 Van 'toestand' naar 'verandering van toestand'	106
6.2.9 Leren verstaan en samen-spreken als probleem voor de leraar	108
6.3 Konklusie	109
6.4 Noten	110
7. EMPIRISCH CHEMIE-LEREN ALS BASIS VOOR DIDAKTIEK LEREN	113
7.1 Onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische taalvelden	113
7.1.1 Objektwisseling?	113
7.1.2 Korter en langer-lerenden t.a.v. didaktiek	117
7.1.3 Ontwikkelen van een beschouwend taalveld chemie	120
7.1.4 Konklusie	122
7.2 Zoeken naar atoom als chemische eenheid	123
7.2.1 Een chemische eenheid voor element	123
7.2.2 Van 'portie' naar 'verdeelbaar in porties'	125
7.2.3 Van 'verdeelbaar in porties' naar 'verdeelbaar over een andere elementgroepering'	127
7.2.4 Van 'verdeelbaar over' naar 'onverdeelbaar'	130
7.3 Konklusie	133
7.4 Noten	134
8. LEERLINGEN LEREN KWANTITATIEVE FORMULES VOOR STOFINDIVIDUEN IN DE GASFASE	135
8.1 Onderwijstekst, leerlingengroepjes en onderzoeksvragen	135
8.1.1 Leerganggedeelte: K 6 en K 7	135
8.1.2 De onderzochte gespreksgroepjes	138
8.1.3 De onderzoeksvragen	138
8.2 Kwantificering van het elementbegrip	139
8.2.1 Taalveldverandering	139
8.2.2 Explicitering	141
8.2.3 Het innemen van een nieuw gezichtspunt	144
8.2.4 Werken vanuit niet doorzien algoritme	147
8.2.5 Konklusie	149

8.3 Komen tot elementgetallen	151
8.3.1 Meer dan één weg naar hetzelfde elementgetal	151
8.3.2 Vermoeden van de structuur-betekenis van elementgetallen	154
8.3.3 Belang van explicitering	156
8.4 Konklusie	158
8.5 Noot	159
9. RONDZICHT	161
9.1 Negentiende eeuwse, chemische teksten als bron voor didactisch onderzoek	161
9.2 Overwegingen rond een didactische structuur voor kwantiteiten	161
9.3 Twee-lagen-schema versus drie niveaus	164
9.3.1 Dierks en Weninger (IPN)	164
9.3.2 Theorie uit experimenten	166
9.3.3 Chemie in duizend vragen	168
9.4 Didaktiekontwikkeling	170
9.5 Leeftijd of leertijd?	172
9.6 Konklusie	174
9.7 Noten	175
Literatuur	177
Register	183
Summary	187
Dankwoord	193
Curriculum vitae	195

OVER DE STRUKTUUR VAN DIT PROEFSCHRIFT

De eigenlijke verslaggeving van mijn onderzoek naar het chemisch atoom begint pas in hoofdstuk 5. Hierin komt ter sprake het gebruikte onderzoeksinstrument, de groepen waarvan gesprekken werden bestudeerd en de teksten die de basis vormen voor de gesprekken tussen de leerlingen. In de hoofdstukken 6,7 en 8 rapporteer ik vervolgens de kern van mijn onderzoek, om tenslotte in hoofdstuk 9 om mij heen te zien.

De aard van mijn werk benoem ik als chemiedidactisch. Voor de motivering van deze benoeming, alsmede voor het beschrijven van mijn onderzoek heb ik termen nodig die niet als chemisch zijn te kwalificeren. Ik probeer deze termen geleidelijk in de eerste vier hoofdstukken aan te reiken, waarbij de nadruk ligt op hoofdstuk 4.

De chemische problematiek die in dit proefschrift aan de orde komt, zou ik kort willen kenmerken als het beantwoorden van de vraag: welke formule kan aan stoffen zoals water, ammoniak en methaan worden toegekend op grond van empirische gegevens, en welke betekenis zou zo'n formule dan hebben? De beantwoording van deze vragen vormde in de vorige eeuw een onderdeel van het chemisch-wetenschappelijk onderzoek. Een tegenwoordig opgeleid chemicus kent die chemische 'feiten' meestal niet meer, want ze zijn als leerstof uit het voorbereidend onderwijs verdwenen. Omdat ze echter voor mijn werk van belang zijn, komen ze in hoofdstuk 3 aan de orde.

Hoofdstuk 1 is een inleiding op deze chemische problematiek. Hierin schets ik voor de chemische stof water het ontstaan en mogelijke betekenissen van de formule H_2O , en daarna hoe in een aantal schoolboeken gedurende meer dan een eeuw met die kennis is omgegaan.

Tenslotte beschrijf ik in het tweede hoofdstuk aan de hand van enkele persoonlijke belevenissen mijn eigen leren van andere betekenissen van chemische formules dan die ene die mij op het gymnasium werd onderwezen. Omdat het mijn eigen chemie-leren betreft en omdat ik voor het aanreiken van chemie-didactische termen ook gebruik maak van eigen ervaringen, is een gevolg dat het proefschrift is geschreven in de 'ik-mijn' stijl. Vergelijking met enige ter sprake komende negentiende eeuwse, chemische teksten waarin dit ook gebeurt, laat zien dat dat een kenmerk mag worden genoemd van het prille stadium waarin chemie-didaktiek als wetenschap zich bevindt.

Mijn onderzoek beschreven in de hoofdstukken 6, 7 en 8 is gebaseerd op de analyse van protocollen van gesprekken. Om die analyse goed te kunnen volgen, is het doelmatig deze protocollen er naast te kunnen leggen. Daarom heb ik ze, tezamen met de overige bijlagen, opgenomen in een apart boekje dat als band 2 bij dit proefschrift hoort. Als bijlage 1 is een gealfabetiseerde lijst opgenomen van niet-gebruikelijke, maar door mij gehanteerde, chemisch termen met een korte verklaring. Sommige ervan zijn oude chemische termen die ik nodig had, maar niet meer worden gebruikt in de thans gangbare scheikunde; andere termen zijn nieuw omdat ik soms behoefte had aan een nieuwe benoeming.

1. BETEKENISSEN VAN CHEMISCHE FORMULES

1.1 H₂O: genese van een feit

"Water is H₂O". Deze uitspraak zal waarschijnlijk iedereen in Nederland met een middelbare schoolopleiding onderschrijven, evenals: "de aarde is rond en draait om de zon". Beide uitspraken waren de middeleeuwer onbekend. Voor de tweede was de door Copernicus (1473-1543) in gang gezette omwenteling van het wereldbeeld nodig. Aan de eerste ligt de vooral door Lavoisier (1743-1794) begonnen ommekeer in het denken over chemische reacties ten grondslag. Vanaf het einde van de achttiende eeuw tot in de zestiger jaren van de negentiende eeuw is er een moeizame ontwikkeling naar de formule H₂O toe geweest. Dit betrof niet alleen de formule als zodanig, maar ook de interpretatie ervan. Ik zal op beide aspecten kort ingaan in deze paragraaf.

Gerhardt (1816-1856) vermeldt in zijn leerboek voor organische chemie ¹ in het vierde deel, getiteld "Schreibweise der Formeln" (1858, band 4, p. 620 en 621), de formules: OH, OH₂, O₂H₂, O₂H₄. In dit vierde deel zet hij zijn typentheorie voor de klassifikatie van organische verbindingen uiteen. Hij koos daarbij OH₂ als formule voor water. We lezen (Gerhardt, 1858, band 4, p. 627) ²:

"Das Studium der organischen Verbindungen zeigt, wie wir unten sehen werden, dass die vier Typen, Wasser, Chlorwasserstoffsäure, Ammoniak, Wasserstoff zu einer methodischen Classification genügen.

Diese vier *Formeltypen* werden auf folgende Weise geschrieben:

Wasser OH ₂ ,	} Gleiche Volume."
Chlorwasserstoff . . . ClH,	
Ammoniak NH ₃ ,	
Wasserstoff HH	

Hij gebruikte in de voorafgaande drie delen van zijn leerboek evenwel niet deze, voor ons herkenbare, formules, maar de toen algemeen gebezigde. Gerhardt schreef daarover (1854, band 1, p. IV):

"Ich hätte wohl gewünscht in diesem Buche, statt der allgemein üblichen, meine einfachere Bezeichnungsweise einführen zu können, da dieselbe schon von einigen ausgezeichneten Chemikern mit Beifall aufgenommen worden ist. Ich befürchtete aber, dadurch das Verständniss des Werkes für manchen darin nicht hinreichend Bewanderten zu erschweren, und somit habe ich mich meiner Schreibweise blos in den allgemeinen Entwicklungen des vierten Theiles, vergleichungsweise mit der älteren Schreibart bedient."

Lothar Meyer (1830-1895) vertelde echter ³ dat een vriend die aan Gerhardt vroeg waarom hij die eenvoudiger schrijfwijze niet in het hele boek had gebruikt, van hem lachend te horen kreeg: "Dann hätte niemand mein Buch gekauft".

Formules hadden anderhalve eeuw geleden dus geen vaste vorm en bevatten geen eenduidige informatie. Deze verwarring rond de schrijfwijze van formules was voor Würtz, Kekulé en Weltzien aanleiding "alle Gelehrten Chemiker der Welt" uit te nodigen in september 1860 naar Karlsruhe te komen in de hoop dat door weder-

zijdse, persoonlijke gedachtenwisseling enige overeenstemming zou worden bereikt. Ruim honderd genodigen verschenen ⁴.

Eén van de aanwezigen was Cannizzaro (1826-1910) die in 1858 een schets van zijn colleges over theoretische chemie in het Italiaanse tijdschrift *Nuovo Cimento* had gepubliceerd. Dit artikel was eigenlijk onopgemerkt gebleven. Hij liet na de sluiting van het congres een kopie ervan aan de deelnemers uitdelen.

Meyer vertelt ⁵:

"Auch ich erhielt ein Exemplar, das ich einsteckte, um es unterwegs auf der Heimreise zu lesen. Ich las es wiederholt auch zu Hause und war erstaunt über die Klarheit, die das Schriftchen über die wichtigsten Streitpunkte verbreitete. Es fiel mir wie Schuppen von den Augen, die Zweifel schwanden, und das Gefühl ruhigster Sicherheit trat an ihre Stelle. ... Aehnlich wie mir wird es vielen anderen Theilnehmern der Versammlung ergangen sein. Die hoch gehenden Wogen des Streites begannen sich zu ebnen, ..."

Eén van de strijdpunten waarover Meyer wellicht helderheid verkreeg, was het onderscheid tussen 'atoom' en 'molekuul'. Cannizzaro zegt tot zijn studenten ⁶:

"Vergleichen Sie, sage ich ihnen, die verschiedenen Mengen eines und desselben Elementes, die entweder in der Molekel des freien Körpers oder denen seiner Verbindungen enthalten sind, mit einander, so wird Ihnen folgendes Gesetz in die Augen springen: *Die in den verschiedenen Molekeln enthaltenen wechselnden Mengen eines und desselben Elements sind sämmtlich ganze Multipla einer gleichen Grösse, welche, da sie immer ungetheilt in die Verbindungen eintritt, mit Recht als Atom bezeichnet wird.*"

Gerhardt bijvoorbeeld gebruikte in 1856 nog de term 'wateratoom'. Zo schreef hij (1858, band 4, p. 620):

"Ich drücke das Wasseratom durch OH_2 aus, indem ich das Gewicht jedes $\text{H} = 1$ und das von $\text{O} = 16$ setze."

Na 1860 kwam onder chemici vrij snel overeenstemming over formules als die van water, maar nog niet over alle aspecten van de interpretatie ervan. In het zojuist gegeven citaat spreekt Cannizzaro over atomen van elementen die voorkomen in een molekuul van een stof. Even verder drukt hij zich echter genuanceerder uit ⁷:

"Wenn jemandem die zur Bestimmung der Molekulargewichte führende Methode zu hypothetisch erscheinen sollte, so möge er die Zusammensetzung gleicher Volume der Körper im Gaszustande und unter gleichen Bedingungen mit einander vergleichen, und folgendes Gesetz wird ihm nicht entgehen können: *Alle verschiedenen Mengen eines und desselben Elements, welche in gleichen Volumen, sei es des freien Körpers oder seiner Verbindungen, enthalten sind, sind alle ganze Multipla einer und derselben Grösse; d.h.* jedes Element hat einen besonderen numerischen Werth, durch welchen man mit Hülfe ganzer Coefficienten die Gewichts zusammensetzung gleicher Volume der verschiedenen Verbindungen dieses Elements ausdrücken kann. ... aber wer möchte nicht durch dieses Gesetz zu der Annahme geführt werden, dass die Gewichte gleicher Volumina die Molekulargewichte darstellen, selbst wenn auch andere Beweise fehlen sollten?"

Deshalb ersetze ich lieber in dem Gesetze das Wort Volum durch den Ausdruck Molekel."

De meeste toenmalige chemici zullen ook 'volume' door 'molekuul' hebben vervangen en gezegd dat H_2O betekent: één molekuul water bestaat uit twee atomen waterstof en één atoom zuurstof; "de genese van een feit". Iets geheel nieuws, dat er eerst niet was, is geleidelijk ontstaan. Nobelprijswinnaar Wilhelm Ostwald (1853-1932) vormde een bekende uitzondering op de mensen die de formules van water zo interpreteerde. Hij bleef tot rond 1900 het hypothetisch karakter van de atoomtheorie benadrukken⁸.

Tot in het eerste kwart van deze eeuw was onder chemici de voorstelling van een moleculaire bouw van de materie algemeen. Vooral onder invloed van de analyse van kristalstructuren met röntgenstralen kwam een genuanceerder beeld naar voren. Voor de numeriek grootste groep chemische verbindingen, de 'organische', bleef in grote lijnen het oude moleculaire beeld behouden: een stof is in alle drie de fasen, zo die bestaan, opgebouwd uit dezelfde molekulen waaraan dezelfde formules kan worden toegekend.

1.2 Schets van behandeling van formules in schoolboeken

Op enige afstand van de ontwikkelingen in de wetenschap volgen de studie-en handboeken, welke op hun beurt worden gevolgd door de boeken voor het allereerste onderwijs in dat vakgebied. Ik heb daarom in een aantal schoolboeken, de meeste bedoeld voor beginonderwijs, vanaf 1849 tot heden bekeken hoe daarin wordt gesproken over het afleiden en de interpretatie van formules als H_2O . Ik zal in de volgende paragrafen beschrijven hoe hun auteurs dit aan de orde stellen. Daarbij wil ik ruwweg drie perioden onderscheiden:

1850-1930: formules op basis van experimentele ervaring;

1930-1970: overgang naar formules afgeleid uit chemische atoomtheorie;

1970-heden: overgang naar formules als 'feiten'.

1.2.1 Formules op basis van experimentele ervaring: 1850-1930

Van der Veer (1849, p. 23) schreef in zijn leerboekje voor "Beoefenaars der schei- en artsenijsbereidkunde enz." over "de scheikundige teekens":

"Zij hebben niet slechts een kwalitatieve, maar ook eene kwantitatieve waarde. Wanneer men b.v. water met H_2O uitdrukt, dan duidt dit niet alleen aan, dat het water uit waterstof en zuurstof bestaat, maar dat ook 112,479 deelen water uit 12,479 deelen waterstof en 100 deelen zuurstof, of dat 9 deelen water uit 1 deel waterstof en 8 deelen zuurstof bestaat. Zoo de teekens alleen eene kwantitatieve waarde hadden, dan moest men b.v. water door $H + 8 O$ uitdrukken, omdat de in water aanwezige gewichtshoeveelheid zuurstof ongeveer het achtvoud van de gewichtshoeveelheid waterstof bedraagt."

In dit citaat vallen mij drie dingen op. Allereerst onderscheidt Van der Veer nadrukkelijk tussen een kwalitatieve en een kwantitatieve betekenis van de elementsymbolen. Ten tweede laat hij zien dat de formule HO_8 tot stand zou komen, als niet aan elk afzonderlijk elementsymbool een specifieke kwantiteit zou worden

toegekend (hier: de waarde 1 aan H, en 16 aan O), maar aan alle elementsymbolen dezelfde kwantitatieve waarde ("alleen eene"). Ten derde blijkt uit zijn betoog dat zijn formule H_2O een verhoudingsformule voorstelt.

Ook Huizinga (1877) maakt onderscheid tussen een kwalitatieve en een kwantitatieve betekenis van het elementsymbool. Hij schreef in zijn scheikundeleerboek voor Burgerscholen⁹:

"Het scheikundig teekenschrift heb ik weggelaten, 1^o. omdat het doel van 't onderwijs, de verklaring der verschijnselen, ook zonder dat bereikt kan worden; 2^o. omdat het op dezen trap van scheikundig onderwijs ondoenlijk is er een juist begrip van te geven. Slechts een enkele aanduiding heb ik mij veroorloofd, die misschien des noods ook even goed had kunnen wegblijven."

Eén van deze enkele aanduidingen luidt:

"Nu heeft men voor de verschillende stoffen teekens aangenomen, zoo b.v. voor zuurstof O (oxygenium, zuurvormer), voor waterstof H (hydrogenium, watervormer). Deze teekens duiden echter niet alleen aan, welke stof men bedoelt, maar tevens het gewicht van 1 vol. dier stof in gasvormigen toestand. Hierbij neemt men het gewicht van 1 vol. waterstof als eenheid, dus H beteekent 1 vol. waterstof of 1 gewichtsdeel waterstof; O = 1 vol. zuurstof = 16 gewichtsdeelen zuurstof.

Als men nu water aanduidt door H_2O , dan wil dit zeggen: water bestaat uit 2 vol. waterstof en 1 vol. zuurstof, of (wat op hetzelfde neerkomt) uit twee gewichtsdeelen waterstof en 16 gewichtsdeelen zuurstof."

Van der Veer en Huizinga geven dus een interpretatie van de formule H_2O waarin de woorden molekuul en atoom niet voorkomen. Uit hun beschouwingen blijkt verder dat deze formule een verhoudingsformule voorstelt. Maar terwijl Van der Veer alleen aandacht heeft voor gewichtsverhoudingen, let Huizinga ook op volumeverhoudingen¹⁰. Ik wil hier spreken over een stoichiometrische interpretatie van een formule.

Van de overige door mij geraadpleegde schoolboeken uit deze periode¹¹, die alle van latere datum zijn, hecht alleen Germs (1926) expliciet aan het element/atoomsymbool de dubbele betekenis van atoom en van een bepaald aantal gram. Impliciet zit dit laatste soms opgenomen in het gebruik van 'gramatoom' en 'grammolekuul', zoals bij Hemmes (1914, p. 44):

"Het verband tusschen formules en vergelijkingen aan de eene, en gewichtshoeveelheden aan de andere zijde kan nu met behulp van "gramatoom" en "grammolecule" aldus worden aangegeven:

a). F o r m u l e s. Uit de formule CO_2 leest men, dat 1 atoom koolstof zich verbindt met 2 atomen zuurstof. Dus verbindt zich ook 1 gramatoom koolstof met 2 gramatomen zuurstof, m.a.w., 12 Gr. koolstof heeft 32 Gr. zuurstof nodig om kooldioxyde te vormen. ...

Uit het bovenstaande zal duidelijk zijn geworden, dat men gramatomen en grammoleculen de eigenlijke eenheden der scheikundige praktijk zou kunnen noemen."

Om van verhoudingsformules te komen tot *molekuulformules voor stoffen in gasvormige toestand* wordt meestal één van de volgende wegen bewandeld. Bij de eerste stelt men om te beginnen de verhoudingsformule vast op grond van massaverhoudingen bij een reactie en van bekende relatieve atoomgewichten. Dit levert ook een relatief 'molekuulgewicht' behorend bij de verhoudingsformule (M_v). Daarna berekent men het relatieve molekuulgewicht (M_d) uit de gemeten dampdichtheid van de stof ten opzichte van waterstof (D_H) met behulp van de formule $M = 2 D_H$. Bij de afleiding van deze formule is gebruik gemaakt van de wet van Avogadro en van het 'feit' dat de molekuulformule van waterstof H_2 is¹². Er moet gelden: $M_d \approx n \times M_v$ waarin n een natuurlijk getal voorstelt. Hieruit volgt de waarde van n en dus de molekuulformule.

Hemmes (1914) bijvoorbeeld gebruikt in het geval 'water' de reductie van koper(II)oxide door waterstof. De waarde van de dampdichtheid van waterdamp t.o.v. waterstof ($D_H = 9$) leidt vervolgens tot de molekuulformule H_2O (Hemmes, 1914, p. 28):

"De verhouding van het aantal atomen zuurstof tot dat van waterstof is dus 1/16 : 0,127/1. In deze getallen schuilen de onvermijdelijke fouten van de proefnemingen waaruit ze zijn afgeleid. Neemt men dit in aanmerking, dan zijn blijkbaar de eenvoudigste geheele getallen, waardoor de verhouding van het aantal atomen zuurstof en waterstof in water voorgesteld kan worden, 1 en 2. In elk molecule moet men dus deze verhouding vinden, zoodat de eenvoudigst denkbare formule voor water is H_2O . Wanneer dit ook de moleculairformule zal zijn (en niet bijv. H_4O_2 of H_6O_3 enz.), dan moet een molecule water 18 (= $2 \times 1 + 16$) maal zoveel wegen als een atoom waterstof".

Bij de tweede weg om tot een molekuulformule voor een stof te komen, let men uitsluitend op verhoudingen tussen het volume van een stof in gastoestand en zijn gasvormige reactieproducten. Daarop past men vervolgens de wet van Avogadro toe én een redenering die een beroep doet op alle bekende ervaring met deze stof op dit terrein. Kramers (1923) bijvoorbeeld gaat op de volgende wijze in op de vraag waarom bij waterdamp de molekuulformule gelijk is aan de verhoudingsformule (Kramers, 1923, p. 29):

"Elke molecule waterdamp bevat minstens 1 atoom zuurstof, ... dus elke molecule zuurstof bevat minstens 2 atomen zuurstof. Men heeft tot nu toe geen enkele reden om in het molecule waterstof, chloor of zuurstof, meer dan 2 atomen aan te nemen; wij nemen er derhalve voorlopig slechts 2 aan."

De geciteerde auteurs in het begin van de periode 1850-1930 gebruiken in tegenstelling tot die aan het einde, géén moleculair model voor een stof. Bovendien bespreken de laatsten hoe men uit experimentele gegevens tot de molekuulformule van een stof in de gasfase kan komen, waarbij twee varianten zijn te onderscheiden.

1.2.2 Overgang naar formules afgeleid uit chemische atoomtheorie: 1930-1970

Zeker in het begin van de periode 1930-1970 kunnen we een paar overeenkomsten zien met de vorige. Zo is het toepassen van de wet van Avogadro, zoals Kramers (1923) deed, de gebruikelijke manier om een formule voor een stof in de gasfase af

te leiden ¹³. Van Meurs en Baudet (1948, 1961) maken als enigen een kanttkening bij het vanzelfsprekend toekennen van de voor waterdamp gevonden formule aan water of aan ijs ¹⁴:

"Daar nu uit 1 vol. zuurstof nooit meer dan 2 vol. van een gasvormige zuurstofverbinding zijn verkregen, mogen wij aannemen dat het molecuul zuurstof uit twee atomen is opgebouwd ... waaruit volgt, dat de formule van water $d a m p \text{ H}_2\text{O}$ is. (Gemakshalve gebruikt men deze formule ook voor vloeibaar water en ijs, ofschoon men hiervan alleen weet, dat hun verhoudingsformule H_2O is.)"

Een andere overeenkomst met de schoolboeken uit 1.2.1 betreft de behandeling van een groot aantal stoffen, hun bereidingswijze(n) en hun (chemisch) gebruik. Zeker in het begin van de periode 1930-1970 komt deze z.g. 'systematische scheikunde' nog voor. Naar mate we verder in dit tijdvak komen, neemt de omvang ervan steeds meer af. Groen e.a. (1963) noemen in dit verband de kritiek op het vigerende programma van minimumeisen ¹⁵:

"Dit programma, zo luidt één van de klachten, vraagt te veel feitenkennis en is te weinig samenhangend.

Met deze klachten voor ogen hebben wij getracht ... een nieuwe leergang samen te stellen, waarbij de leerstof om centrale punten is gegroepeerd.

In dit eerste deel, ..., is dit centrum de atoombouw."

Van Arkel en Snijder (1936) hadden atoommodel en -bouw al eerder centraal gesteld, zoals uit de ondertitel bij hun boek blijkt: "*Gegronnd op atoommodel en periodiek systeem*". Ook zij zien in het atoommodel een mogelijkheid om samenhang te brengen in de veelheid van chemische feiten (Van Arkel en Snijder, 1936, p. IV):

"De enige redelijke eis, welke men aan het scheikunde-onderwijs mag stellen is, dat het de leerlingen de gelegenheid geeft kennis te nemen van de denk- en werkwijzen in dit onderdeel der exacte wetenschappen.

Om aan deze eis te voldoen is het noodzakelijk, dat het scheikunde-onderwijs zo nauw mogelijk aansluit aan het nieuwste wetenschappelijk inzicht. Het is een gelukkige omstandigheid, dat deze aansluiting van het elementaire onderwijs zoveel gemakkelijker is, dan bijv. twintig jaar geleden, toen de scheikunde veel meer dan nu bestond uit een groot, betrekkelijk weinig samenhangend feitenmateriaal."

In dit citaat spreken de auteurs over de afstand tussen de wetenschappelijke chemie en het chemie-onderwijs (1.2). Zij zien in de invoering van een atoombegrip een mogelijkheid een zo goed mogelijke aansluiting tussen deze twee tot stand te brengen. Dit betekent dat het atoombegrip in het sekundair scheikunde-onderwijs ten opzichte van de vorige periode niet alleen een uitgebreidere, maar ook een centralere plaats krijgt. Dit wordt nog versterkt door het invoeren van een voorstelling van de bouw van het atoom en van de aard van de chemische binding. In tegenstelling tot Van Arkel en Snijder ruimt Van der Burg (1935, p. 3) hiervoor slechts een geringe plaats in en hij zegt erover in zijn voorwoord:

"Verder is het periodiek systeem en de moderne atoomleer als grondslag voor de behandeling der overige elementen genomen.

... Zij, die nog huiverig tegenover deze hoofdstukken staan, kunnen ze echter zonder bezwaar laten vervallen."

Bij Van Arkel en Snijder kan een docent echter de betreffende hoofdstukken niet "... zonder bezwaar laten vervallen." Daarin staat niet alleen hoe een formule afgeleid kan worden op grond van een schillenmodel voor het atoom, maar ook hoe het atoommodel een belangrijk uitgangspunt kan zijn voor de verklaring van veel chemische verschijnselen.

Ook andere auteurs uit deze periode gaan ertoe over formules niet alleen inductief af te leiden uit experimentele gegevens, maar tevens deductief uit het schillenmodel¹⁶. Als zo'n deductieve redenering op de eerste plaats komt te staan, zien we duidelijk dat chemische atoomtheorie gaat dienen als basis voor formulebepaling. Dit gebeurt bij Groen e.a. (1963) die uitgaan van het schillenmodel van Bohr en van de aanname dat bij reacties ionen ontstaan met een edelgaskonfiguratie. Zo komen ze tot ionenformules voor natriumchloride en voor magnesiumoxide. Ze passen deze redenering niet toe op de reactie tussen fosfor en chloor resp. die tussen fosfor en zuurstof, omdat (Groen e.a., 1963, p. 41):

"... de formules die men dan krijgt, niet alle waargenomen feiten verklaren zodat men naar een andere oplossing moet zoeken. ...

Deze oplossing wordt gevonden door een ander soort band aan te nemen tussen fosfor en chloor en fosfor en zuurstof. Daar bij deze band geen ionen optreden, spreekt men van homopolaire band. Ook tussen de waterstof- en zuurstofatomen in water bestaat zo'n band."

Voor de vaststelling van de formule van water grijpen ze terug op de wet van Avogadro, allereerst toegepast op de reactie tussen waterstof en chloor (Groen e.a., 1963, p. 48):

"Dus nu geldt: 1 mol.[ekuul] waterstofgas + 1 mol.[ekuul] chloorgas → 2 mol.[ekulen] chloorwaterstofgas.

Nu staat het element waterstof in de eerste groep en chloor in de zevende. Waterstof heeft dus 1 elektron in de buitenste schil en zal dat elektron afstaan aan chloor dat er 7 heeft ...

We krijgen dus de formule $H^+ Cl^-$, kortweg HCl voor chloorwaterstofgas, wat ook de eenvoudigste formule is die we ons voor die stof kunnen voorstellen."

Zij laten de formules voor waterstof, chloor en waterstofchloride dus volgen uit een combinatie van de wet van Avogadro en hun deductieve regels. Bij de reactie tussen waterstof en zuurstof komen zij vervolgens tot:

"2 mol.[ekulen] waterstof + 1 mol.[ekuul] zuurstof → 2 mol.[ekulen] waterdamp.

In de volgende paragraaf zal beredeneerd worden dat de formule van water H_2O is."

De door de schrijvers bedoelde redenering houdt in dat zij zich voorstellen dat de atomen in een watermolekuul een edelgaskonfiguratie bereiken als gevolg van homopolaire bindingen. Groen e.a. (1963, p. 49) geven dan een elektronenformule

voor een H₂O-molekuul. De experimentele gegevens komen dus nog wel ter sprake maar spelen in het geheel een ondergeschikte rol.

De overgang naar natuurwetenschappelijke theorie als basis voor formules kunnen we ook zien aan het feit dat auteurs behalve massa- en volumeverhoudingsgetallen bij chemische reacties andersoortige argumenten gaan hanteren. Kaptein e.a. (1954) schrijven¹⁷:

"Op een geheel andere manier kon men deze opvatting bevestigen. In de natuurkunde was men nl. in staat te berekenen, hoe groot de **soortelijke warmte** moet zijn van een gas met één-atomige, tweeatomige en met meeratomige moleculen. De gemeten soortelijke warmten van de genoemde gassen kwamen nu precies overeen met de berekende soortelijke warmte voor een gas met tweeatomige moleculen."

In de periode tot 1930 stonden experimentele gegevens centraal om van daaruit inductief te komen tot een formule voor een gasvormige stof. In de periode 1930-1970 treedt een verschuiving op naar deductieve redeneringen vanuit een atoommodel. Door het ontbreken van voldoende natuurkundige en/of chemische ervaring bij de leerlingen beperken de auteurs zich bij zulke redeneringen vaak tot het aangeven van een aantal regels aan de hand waarvan een formule kan worden gevonden.

1.2.3 Overgang naar formules als 'feiten': 1970-heden

We zagen reeds hoe in de periode 1930-1970 de experimentele, chemische ervaring steeds meer naar de achtergrond schoof bij het toekennen van formules aan stoffen. In de (meeste) tegenwoordige schoolboeken is deze trend nog duidelijker aanwijsbaar: de chemische wet van Gay-Lussac omtrent de eenvoudige, geheeltallige volumeverhoudingen bij gasreacties of de wet van Dalton omtrent de multipele proporties komen niet meer aan de orde. De wet van Avogadro dient nu als verklaring voor het gemeenschappelijke molvolume van stoffen in gasvorm bij een bepaalde temperatuur en druk.

In de gegeven citaten van Hemmes (1914) en van Van Meurs en Baudet (1948, 1961) klinkt een zekere reserve door t.a.v. de toegekende formules die samenhangt met de experimentele basis waarop ze berusten. Door het ontbreken van zo'n basis in tegenwoordige schoolboeken staan formules niet meer ter discussie. Ze worden als vaststaand 'feit' aangereikt. Er is geen sprake meer van 'genese'.

In overeenstemming met het huidige leerplan rijksscholen zijn formules volledig gekoppeld aan atoom- en molekuulvoorstellingen. H₂O heeft alleen nog maar de betekenis van één molekuul water dat is opgebouwd uit twee waterstofatomen en één zuurstofatoom. We treffen dit bijvoorbeeld aan in Reiding en Franken (1984, p. 58), in Groen e.a. (1985, p. 92) en in Pieren e.a. (1983, p. 108).

In deze schoolboeken staan ook tekeningen van eenvoudige molekulen. In die van het watermolekuul is de bindingshoek ter grootte van 105° vermeld. Dit schept een nieuwe situatie. Want in de uitspraak "water heeft de formule H₂O", gedaan in de hele periode 1850-1985, kan "water" zowel 'de chemische stof water' als 'een wa-

termolekuul' betekenen. Maar in de zin: "water heeft een bindingshoek van 105° " kan "water" alleen nog maar het laatste aanduiden.

1.2.4 Konklusie

Een formule als H_2O voor water heeft een lange ontstaansgeschiedenis achter de rug gehad. In de wetenschappelijke gemeenschap ontstond langzaam consensus over de toe te kennen betekenis aan de gebruikte symbolen. Deze betekenisgeving was aanvankelijk sterk verbonden met kwantitatieve uitkomsten van uitgevoerde experimenten. Maar die relatie tussen formule en kwantitatieve, chemische experimenten verdween steeds meer naar de achtergrond, en alleen de interpretatie als molekuulformule bleef over: de genese van een 'feit'.

In de greep uit schoolboeken zagen we hoe de interpretatie van de formule H_2O van 1850 tot 1985 is veranderd. Eerst gaat het om een verhoudingsformule, inductief afgeleid uit experimenteel vastgestelde gewichtsverhoudingen, nu om een molekuulformule, deductief gekonkludeerd uit een atoommodel. Daartussen zien we een geleidelijke overgang van inductieve naar deductieve redeneringen die aan de formulevaststelling ten grondslag liggen.

Als we naast Huizinga (1877), die ervoor pleitte geen elementsymbolen te gebruiken in het scheikunde-onderwijs, de tegenwoordig alom gebruikelijke molekuultekeningen stellen, dan lijkt het alsof er twee verschillende scheikundes bestaan: één waarbij wordt gesproken over waarneembare stoffen en hun eigenschappen; een andere waarin de aandacht wordt gericht op atomen en molekulen en hun samenhang. Ik zie de boeken genoemd onder 1.2.1 en dat van Van der Burg, van Van Meurs en Baudet, van Kaptein e.a. (allen genoemd onder 1.2.2) verbonden met de eerste soort scheikunde. Het boek van Van Arkel en Sniijders, dat van Groen e.a. en de onder 1.2.3 genoemde, reken ik tot de tweede soort.

Een dergelijke tweedeling in scheikundes is al geruime tijd geleden gemaakt door De Miranda (1963), en recenter op iets andere wijze door Johnstone (1982) opnieuw naar voren gebracht. Als we zo'n tweedeling een bruikbare beschrijving mogen noemen, is een spanningsveld tussen de twee scheikundes heel goed voorstelbaar. Bijvoorbeeld doordat geleerde formules niet met concrete stoffen in verband kunnen worden gebracht. In hoofdstuk 2 zal ik een aantal situaties beschrijven waarin bij mij zo'n spanning optrad.

1.3 Noten

1. Ch. F. Gerhardt (1816-1856) publiceerde van 1853-1856 zijn *Traité de Chimie Organique* in vier banden. Met medewerking van R. Wagner begon hij aan een Duitse vertaling die Wagner na Gerhardts overlijden voltooide. Uit dit *Lehrbuch der Organischen Chemie* (1854-1858) is geciteerd.
2. De gegeven cursiveringen, onderstrepingen e.d. in citaten in dit proefschrift zijn steeds afkomstig van de auteur(s).

3. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften Nr. 30, p. 56 (1891), (zie: S. Cannizzaro, 1858).
4. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften Nr. 30, p. 58 (1891), (zie: S. Cannizzaro, 1858).
5. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften Nr. 30, p. 59 (1891), (zie: S. Cannizzaro, 1858).
6. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften Nr. 30, p. 10 (1891), (zie: S. Cannizzaro, 1858). Het geursiveerde gedeelte staat in het origineel gespatieerd.
7. Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften Nr. 30, p. 12 (1891), (zie: S. Cannizzaro, 1858). Het geursiveerde gedeelte staat in het origineel gespatieerd.
8. Ostwald (1909) beschrijft in het voorwoord tot de "vierte, völlig umgearbeitete Auflage" van zijn "Grundriss der Allgemeinen Chemie" vrij uitvoerig waarin deze druk van de voorafgaande verschilt. Hij zegt o.a. (het geursiveerde gedeelte staat in het origineel gespatieerd):

"Ich habe mich überzeugt, daß wir seit kurzer Zeit in den Besitz der experimentellen Nachweise für die diskrete oder körnige Natur der Stoffe gelangt sind, welche die Atomhypothese seit Jahrhunderten, ja Jahrtausenden vergeblich gesucht hatte. ... Damit ist die bisherige atomistische Hypothese zum Range einer wissenschaftlich wohlbegründeten Theorie aufgestiegen und darf ihre Stelle auch in einem zur Einführung in das Wissensgebiet der Allgemeinen Chemie bestimmten Lehrbuche beanspruchen. ... Für die Stöchiometrie hat die Atomtheorie wesentlich die Bedeutung eines bequemen Veranschaulichungsmittels, da bekanntlich die hierher gehörigen Tatsachen ohne ihre Hilfe ausreichend und vielleicht sogar tiefer greifend dargestellt werden können, als bei der üblichen Vorausstellung der atomistischen Auffassung. Hier habe ich somit von der Atomtheorie nur einen subsidiären Gebrauch gemacht."

9. De Burgerschool kan worden beschouwd als een voorloper van het latere MULO. Voor de geciteerde gedeeltes zie Huizinga (1877), inleiding en p. 31.
10. Hierbij moet ik wel opmerken dat Huizinga bij zijn volume-interpretatie van de formule H_2O impliciet laat dat deze verklaring, overigens ten onrechte, vooronderstelt dat aan alle één-elementige stoffen in gasvormige toestand dezelfde formule X_n ($n = 1$ of 2 of 3 ...) moet worden toegekend.
11. Het betreft: Coops (1923), Germs (1926), Hemmes (1914) en Kramers (1923).

12. D_H is gedefinieerd als:

$$D_H(A) = \frac{\text{gewicht } a \text{ liter damp stof A}}{\text{gewicht } a \text{ liter waterstofgas (zelfde } T \text{ en } p)}$$

Als we hierop de wet van Avogadro toepassen, krijgen we:

$$\begin{aligned} D_H(A) &= \frac{\text{gewicht 1 molekuul A}}{\text{gewicht 1 molekuul waterstof}} \\ &= 1/2 \times \frac{\text{gewicht 1 molekuul A}}{\text{gewicht 1 atoom waterstof}} \\ &= 1/2 \times M(A) \rightarrow M = 2 D_H. \end{aligned}$$

Hier is stilzwijgend als eenheid, waarin M wordt uitgedrukt, de 'massa van het waterstofatoom' gekozen en aan waterstofgas de molekuulformule H_2 toegekend. Die komt niet meer overeen met de thans gebruikte eenheid, maar gezien het doel van de berekening - welke waarde heeft n in de relatie $M_d \approx n \times M_v$ - is dit niet belangrijk.

13. Deze overeenkomst in de leerboeken hoeft ons niet te verbazen. In 1932 werd het examenprogramma openbaar. Schrijvers van leerboeken konden zich daarop richten voor de hoofdlijnen.

De volgende auteurs passen de genoemde werkwijze toe:

Van der Burg (1935), p. 38 en 64;

Van Arkel & Snijder (1936), p. 36;

Van Meurs & Baudet (1948), p. 67;

Van Meurs & Baudet (1961), p. 90;

De Gee (1950), p. 62;

Kaptein e.a. (1954), p. 50;

Bokhorst (1956), p. 31.

14. Van Meurs & Baudet (1948), p. 15 en 67. Ze zijn al eerder gekomen tot de molekuulformule H_2 voor waterstof. Vrijwel dezelfde formulering geven zij in hun boek uit 1961 waar de laatste zin uit het citaat luidt: "(Het is gebleken dat de structuur van vloeibaar water en van ijs - van het laatste bestaan verschillende vormen - zeer ingewikkeld is, daarom gebruikt men voor water en ijs de *verhoudingsformule* H_2O .)"

15. Groen e.a. (1963), voorwoord. Dit is gedateerd "Voorjaar 1956" en stond dus al in de eerste druk die in 1956 verscheen.

16. Dit gebeurt o.a. bij Van der Burg (1935), Van Arkel en Snijder (1936), Van Meurs en Baudet (1948, 1961) en De Gee (1950).
17. Kaptein e.a. (1954), p. 57. Ook Bokhorst (1956), p. 32 verwijst naar deze overeenstemming in de gemeten en berekende waarden voor de soortelijke warmtes.

2. MIJN LEREN VAN BETEKENISSEN VAN FORMULES

Tijdens mijn chemie-opleiding (V.H.M.O.: 1962-1965, W.O.: 1965-1972) gebruikte ik uiteraard formules en ik zag ze als weergave van het aantal atomen per molecuul of van de verhouding van aantallen ionen bij zouten. Ik wist niet dat het mogelijk was formules te interpreteren zonder termen als molecuul, atoom of ion te gebruiken. Mijn chemische werkelijkheid bestond uit deeltjes-formules en daarmee beschreven reactievergelijkingen. Voor zover mij is bijgebleven, werden door mij of door mijn docenten geen vragen gesteld naar de begrenzing van gebruikte begrippen, noch op de middelbare school noch op de universiteit. Terugkijkend kan ik wel enige gebeurtenissen beschrijven die ertoe bijdroegen dat er vraagtekens ontstonden bij de 'almacht' van formules en reactievergelijkingen. In 2.1.1 staan drie van zulke situaties die stammen uit de tijd van mijn universitaire chemische opleiding. In 2.1.2 en 2.2.1 komen drie andere aan de orde uit de tijd erna. Ik beschrijf ze eerst als 'relaas', daarna geef ik in een 'interpretatie' weer hoe ik ze nu bekijk.

2.1 Problemen bij mijn leren van scheikundige formules

2.1.1 Scheikundige formule, chemische stof en hun relatie worden probleem

Relaas 1

Tijdens het eerstejaarscollege organische chemie (1965) kwam de Oppenauer-oxidatie van secundaire alcoholen aan de orde. Het gegeven mechanisme klopte volgens mij niet helemaal, zodat ik met een medestudente enige handboeken in de bibliotheek raadpleegde. Daaruit bleek tot onze verbazing geen eenstemmigheid omtrent het mechanisme.

Interpretatie 1

Al eerder waren ons bij het college organische chemie reactie-mechanismen verteld. Deze kwamen er telkens op neer dat een positief geladen ion of gedeelte van een molecuul aanviel op een negatief geladen deel(tje). Dit leek zo logisch dat ik moeilijk kon begrijpen dat bij de Oppenauer-oxidatie chemici hét mechanisme niet konden opstellen. Tijdens het college was mij blijkbaar niet duidelijk geworden dat zij een mechanisme ontwerpen ter verklaring van verkregen onderzoeksgegevens, zoals een experimenteel bepaalde reaktiesnelheids-vergelijking, eventuele bijproducten of geïdentificeerde, dan wel veronderstelde tussenproducten. De in de reaktiemechanismen gebruikte formuletaal had voor mij geen of te weinig binding met de empirische, chemische realiteit verkregen.

Relaas 2

Een ander onderwerp tijdens hetzelfde college organische chemie (1965) was de malonestersynthese. Zij was snel verteld en in mechanismen voor de verschillende stappen op het bord uitgeschreven. Bij het organisch praktikum bleek deze synthese echter tot mijn verwondering een paar weken te vergen.

Interpretatie 2

Ik voelde een afstand tussen de beschrijving van de synthese op het college en de uitvoering ervan in de praktikumzaal. Gelukkig merkte ik toen eindelijk dat een formule of een reactievergelijking niet alles van een stof of experiment vertelt. In 1.2.4 sprak ik over een spanning die kan optreden tussen enerzijds concrete stoffen en daarmee uitgevoerde experimenten en anderzijds formules en de interpretatie ervan in termen van 'atomen', 'ionen' en 'molekulen'. Hier blijkt, misschien nog meer dan uit interpretatie 1, dat zo'n spanning voor mij ten tijde van relaas 1 en 2 bestond en groot was.

Relaas 3

Bij het tweedejaars college anorganische chemie dat ik in 1966-1967 volgde, kwamen ook "Verbindingen van niet-stoichiometrische samenstelling" aan de orde. Eén van de gestelde problemen was: "Welke formule moeten we toekennen aan ijzer(II)oxide: Fe_{1-y}O of FeO_{1+y} ?" Die vraag begreep ik totaal niet want hoe kan in een formule een index niet-geheeltallig zijn? Ik had natuurlijk wel van verhoudingsformules gehoord, bijvoorbeeld bij NaCl of MgF_2 , maar daarin kwamen altijd eenvoudige gehele getallen voor¹. Fe_{1-y}O wekte daarom bij mij de suggestie van zoiets als 'incomplete' ijzerionen en ik had geen flauw idee wat ik me bij die formule moest voorstellen. Ik probeerde wel tijdens het college zo goed mogelijk aantekening te maken van het gegeven antwoord, echter zonder te begrijpen wat ik opschreef.

Interpretatie 3

Verdonk heeft mij pas goed doen inzien dat een begrip 'chemische stof' afhankelijk is van de chemische kontekst waarin het wordt gebruikt (Vogelezang, 1988), bijvoorbeeld: 'kleine molekulen'-chemie, polymeerchemie of vaste stof chemie. In het kader van de laatste kontekst is het al lang bekend dat allerlei metaaloxiden en -sulfiden, waaronder ijzer(II)oxide, zogenoemde berthollide verbindingen zijn. Hun samenstelling, en dus hun formule, blijkt afhankelijk te zijn van de bereiding. Dit feit valt geheel buiten het kader van het gebruikelijke beginonderwijs in de scheikunde. Met dit inzicht kan ik mijn college-aantekeningen uit 1966 nu korrigerend interpreteren. Ten tijde van het betreffende college had ik van mijn 'schoolscheikunde' nog geen afstand genomen.

Uitgangspunten bij beide geopperde formules voor ijzer(II)oxide zijn:

- een monster van de stof is elektrisch neutraal;
- het kristalrooster heeft een keukenzoutstructuur waarbij we moeten aannemen dat de zuurstof-ionen elkaar niet raken;
- naast ijzer(II)- komen ook ijzer(III)ionen in het rooster voor.

De formule Fe_{1-y}O kan ik dan lezen als $\text{Fe}^{2+}_{1-3y}\text{Fe}^{3+}_{2y}\text{O}^{2-}_1$: in het metaalionenrooster komen lege plaatsen voor, en wel op elke twee ijzer(III)ionen één lege roosterplaats. De formule FeO_{1+y} is te lezen als $\text{Fe}^{2+}_{1-2y}\text{Fe}^{3+}_{2y}\text{O}^{2-}_{1+y}$: het metaalionenrooster is compleet en er komen oxide-ionen op tussenroosterplaatsen voor. De eerste mogelijkheid houdt in dat bij toenemende (kleine) y de rooster-

konstante zal afnemen; in het tweede geval zal het omgekeerde gebeuren. Bij onderzoek blijkt de eerste mogelijkheid te voldoen.

Tenslotte wil ik er nog op wijzen dat de in het relaas gegeven vraagstelling impliceert dat in beide formules een structuurchemische notie wordt meegenomen. Indien zij slechts verhoudingsformules voorstellen, zou de vraag zinloos zijn. Want als louter wordt afgegaan op resultaten van een kwantitatieve samenstellingsanalyse, zijn voor kleine y de twee formules gelijkwaardig:



2.1.2 Moeizaam op weg naar een andere betekenis van chemische formule

In de drie situaties uit 2.1.1 komt naar voren dat formules, gelezen als deeltjesformules, mij soms problemen gaven. Een deel van dit proefschrift heeft betrekking op het analyseren van onderwijssituaties waarin leerlingen gebruik maken van een leergang waarin formules niet de gebruikelijke betekenis hebben van aantallen atomen en/of (verhouding tussen) ionen. Ik kwam tijdens het voorbereidende spreken over en het werken met deze leergang problemen tegen inzake de interpretatie van formules. Hierop hebben de volgende twee situaties betrekking.

Relaas 4

Tijdens een scheikundeles (1983) waar ik de leraar was, sprak een groepje van vier leerlingen in het kader van 'formules van stoffen in gas- of dampvorm' over de vraag welke stoffen in een gegeven tabel gekenmerkt worden door 1, welke door 2, welke door 3 etc. 'massaporties' van het element waterstof per volume-eenheid². Het ging om de volgende stoffen: waterstofchloride, waterstof, ammoniak en methaan (gemeten bij dezelfde temperatuur en druk)³:

We herkennen hier in vragende zin een belangrijk aspect van de in 1.1 geciteerde uitspraken van Cannizzaro. De informatie van mijn leerlingen bestond uit een tabel met geïdealiseerde volumeverhoudingsgetallen bij enige gasreacties waarbij o.a. de vermelde stoffen zijn betrokken. Deze reacties worden bovendien gekenmerkt door het voorkomen van het element waterstof in slechts één stof vóór en in één stof ná de reactie. Ik noem dit in het vervolg een '*één-tot-één gasreactie*'. Verder zijn in de tabel, waarover deze leerlingen beschikten, de volumeverhoudingen geïdealiseerd tot gehele getallen overeenkomstig de chemische wet van Gay-Lussac. Ik nam ten behoeve van mijn onderzoek hun gesprek op geluidsband op.

Het eigenlijke relaas begint als ik hun gesprek afluister en uitschrijf (1986). Ik merk dat één van de leerlingen niet begrijpt waarom de anderen bij waterstofchloride over 1 portie (van het element waterstof) willen spreken, bij de stof waterstofgas over 2, bij ammoniak over 3 en bij methaan over 4 porties. In de loop van het gesprek wordt het hem duidelijk dat op grond van de gegeven volumeregelsmaat voor deze getallen wordt gekozen en dat zij alleen een weergave zijn van de verhouding van de aantallen toegekende 'porties van het element waterstof'. Bij het moment dat ze die getallen gaan opschrijven, noteer ik: "ze schrijven nu de juiste aantallen op".

Interpretatie 4

Voor mij was ten tijde van het uitschrijven van de geluidsbandopname de formule van waterstofchloride HCl. Ik zag niet dat deze formule ook geschreven zou kunnen worden als H_2Cl_2 wanneer alleen zou worden gelet op de gegeven volumeverhoudingen zoals die stonden in de genoemde tabel voor het element waterstof en in een vergelijkbare tabel voor het element chloor. Ik leek hier uit te gaan van de gedachte 'een formule is een vaststaande zaak'. Bovendien is het zeer wel denkbaar dat ik in het kader van een dergelijke formule meer dacht aan een (mij vertrouwde) atomaire interpretatie van empirische gegevens dan aan een strikt verhoudingsdenken.

In een onderwijssituatie die ik beschreef (Vogelezang, 1985, p. 119-120), benoemt één leerlinge een troebele vloeistof met 'verzadigde oplossing', een andere met 'suspensie'. Beide hadden voor de benoeming van die vloeistof hun gerechtvaardigde en te respekteren argumenten. Door zulke ervaringen was het mij duidelijk geworden dat ten aanzien van kwalitatieve aspecten van verschijnselen meer dan één gezichtspunt mogelijk is. In dat verband was ik gewend geraakt te spreken over **vrijheid van gezichtspuntkeuze** bij het beschrijven van ervaring⁴.

Bij kwantitatieve aspecten leek mij het innemen van meer dan één gezichtspunt niet mogelijk. De uitkomsten van metingen op grond waarvan formules worden afgeleid, liggen toch vast? De formule van water wordt toch H_2O en niet bijvoorbeeld H_3O_4 ? Mede door het gesprek van de leerlingen uit relaas 4 ben ik gaan zien dat ook bij kwantitatieve beschrijvingen een vrijheid van gezichtspuntkeuze op kan treden. 'Vrijheid van gezichtspuntkeuze' is een term die ik nodig heb voor het beschrijven van onderwijzen en van leren. De eerste keer dat zulke termen voorkomen, staan ze vet gedrukt.

Terugkijkend naar interpretatie 3 kan ik zeggen dat zo'n vrijheid van gezichtspuntkeuze ook optreedt als wordt gekozen voor de formule $Fe_{1-y}O$. Nu is er namelijk niet alleen aandacht voor de verhoudingen in de formule voor ijzer(II)oxide. Want dan zijn de formules $Fe_{1-y}O$ en FeO_{1+y} als gelijkwaardig te beschouwen. De keuze voor $Fe_{1-y}O$ gebeurt juist op grond van een structuurchemische notie.

Relaas 5

Op 17 juni 1978, ongeveer vijf jaar voor de les genoemd in relaas 4, sprak ik samen met een aantal scheikunde-leraren en didactici over het afleiden van formules voor stoffen in gasvormige toestand op grond van volumeverhoudingen bij chemische reacties. Dit is hetzelfde probleemveld als dat van de leerlingen uit relaas 4. Voor de bedoelde reacties gelden dezelfde voorwaarden als daar, alleen spreken wij niet specifiek over het element waterstof. Ook wij gingen in ons gesprek niet uit van een deeltjesmodel.

De anderen zijn de term 'portie' gaan gebruiken. Ik begreep niet wat zij daarmee bedoelden en zei tenslotte wanhopig: *"Ik heb er geen bal van begrepen, ik snap er nog steeds niets van, jij met je porties, ik denk dan meteen aan porties mosselen of zo"*.

Interpretatie 5

De anderen in dit gesprek **konden mij niet uitleggen** wat zij bedoelden met 'portie'. Ik ervoer dat ik geen gesprekspartner voor hen was. Zo'n situatie noemden Van Hiele-Geldof (1957) en Van Hiele (1957) **kloof van niet-verstaan**. Bij het horen van het bekende woord 'portie' bleef ik denken aan een konkrete hoeveelheid, terwijl zij er een andere, door mij niet begrepen betekenis aan hadden gegeven. Ik kan die betekenis nu met behulp van een voorbeeld als volgt omschrijven. Wanneer waterstof en chloor reageren tot waterstofchloride ontstaat, geïdealiseerd volgens de chemische wet van Gay-Lussac, uit 1 volume-eenheid waterstof 2 volume-eenheden waterstofchloride. Het element waterstof aanwezig in 1 volume-eenheid waterstofgas heeft zich dus in twee gelijke (massa)delen gesplitst bij de vorming van twee maal 1 volume-eenheid waterstofchloride. De anderen in dit gesprek benoemden dit gegeven kort met: in één volume-eenheid waterstofgas neem ik twee '(massa)porties' van het element waterstof aan.

Een plausible verklaring voor mijn associatie van "portie" met "mosselen" vind ik in mijn chemische opleiding waarbij ik gewend was geraakt atomen als kleinste hoeveelheidjes, als zeer, zeer kleine voorwerpjes te zien. Later in het gesprek zeg ik nl.: *"ja maar ik voel de hele tijd de geest van Dalton hier rond waren"*. En even daarna: *"ook als jij daar aan het praten bent over groepering van elementen, dan zeg ik: zo deeltjesachtig, dat zijn deeltjes"*. Mijn afwijzen van Dalton en van deeltjes kwam voort uit ons streven niet-corpusculair tot formules te komen, en ik had 'aatom' leren verstaan als 'kleinste hoeveelheid'. Waarschijnlijk vormde dit voor mij een belemmering om 'portie' te gaan opvatten als aanduiding voor het zich kunnen verdelen van het element waterstof bij een chemische reactie in gelijke massa-hoeveelheden per volume-eenheid. De chemische kennis die ik op de middelbare school en op de universiteit had opgedaan, **blokkeerde** mij in het innemen van een nieuw gezichtspunt en vormde zo een oorzaak voor het ontstaan van de genoemde kloof van niet-verstaan.

2.2 Relatie tussen stof en hoeveelheid wordt probleem voor mij

2.2.1 Over het ontstaan van een niet alledaagse vraag

In het dagelijks taalgebruik komen allerlei stofnamen voor: "Geef mij het zout eens aan"; "Marja, wil je suiker in je koffie?" Het resultaat van zulke verzoeken kan zijn dat een vaatje met wat zout wordt aangereikt, of dat Marja een antwoord geeft als: "Ja, twee klontjes" of "Drie schepjes graag." Hoewel in de gegeven vragen geen hoeveelhedaanduiding bij de stofnaam voorkomt, denken we deze er, gezien de reacties, wel bij. We willen immers geen onbepaalde hoeveelheid suiker in een kopje koffie, maar bijvoorbeeld drie schepjes.

Dit hoeveelhedaaspekt blijft op de achtergrond in uitdrukkingen als "suiker is zoet" en "suiker lost goed op in water". En als we suiker en zout van elkaar onderscheiden door vorm of smaak van de korreltjes, gebeurt dit ook onafhankelijk van de hoeveelheid korreltjes en kan dus met elke, praktisch hanteerbare hoeveelheid geschieden. Het zoet dan wel zout smaken hangt blijkbaar samen met 'dat waarvan

de korreltjes gemaakt zijn', of anders gezegd 'waaruit zij bestaan'. We benoemen dat als 'de stof suiker' resp. 'de stof zout' en kunnen daarom de smaak een **stofeigenschap** noemen⁵.

In het dagelijks leven zullen een pluk staalwol en een ijzeren spijker meestal worden geassocieerd met hun gebruik voor resp. schuren en timmeren. Het zou bij werkzaamheden met deze totaal verschillende voorwerpen toevallig kunnen blijken dat beide magnetisch zijn, roesten in contact met water en borrelen in contact met zoutzuur. Voor iemand die dit waarneemt, zou dit mogelijk een aanleiding zijn dergelijke verschijnselen nader te onderzoeken en eventueel tot de konklusie te komen dat het plukje en de spijker misschien uit eenzelfde blok ijzer gemaakt zijn. Mogelijk zou zij zich gaan afvragen waarom deze voorwerpen, om voor hun gewone doel bruikbaar te zijn, van ijzer zijn vervaardigd. Vanuit een globale omgangstaal gaat zij met zulk onderzoek en zo'n vraagstelling **toespitsen op** een fysische en een chemische kontekst (Van Sprang en Ten Voorde, 1986, 2.4).

Bij het overgaan van water in waterdamp veranderen dichtheid, soortelijke warmte e.d. en daarop lettend kunnen we dit beschrijven als de *verandering* van water in waterdamp. Een andere mogelijkheid is de aandacht te richten op hun beider ontleedbaarheid in waterstof en zuurstof, of op hun beider mogelijkheid te reageren met ongebluste kalk en met watervrij kopersulfaat. Als we dat doen, kunnen we water en waterdamp hetzelfde **stofindividu** noemen. "Kunnen" omdat men ook van mening kan zijn dat stofeigenschappen als dichtheid, soortelijke warmte e.d. nog steeds moeten worden meegenomen. Een voorstander van het benoemen van 'water' en 'waterdamp' als verschillende stoffen is bijv. Weninger⁶.

We kunnen spreken over water en waterdamp als te onderscheiden **fysische stofindividen**, wanneer we vooral aandacht hebben voor hun fase en de daarmee samenhangende verschillen. Willen we daarentegen hun bovengenoemde overeenkomst benadrukken, dan kunnen we ze hetzelfde **chemische stofindividu** noemen⁷. Door het gebruik van 'stofindividu' wil ik verschillen tussen de diverse stoffen accentueren. Ostwald (1908), p. V) sprak al over "zuurstof of chloor als chemische individuen". Ik zie stofindividu overigens niet als standaard chemische vakterm, maar hij bleek bruikbaar bij het beschrijven van het leren van chemie⁸.

Als we volgens de geschetste weg onderwijzen, verandert de betekenis van 'de stof water' van 'dat waaruit een druppel water bestaat' in een aanduiding voor een aantal chemische eigenschappen, bijvoorbeeld voor de groep:

- kan ontleden in waterstof en zuurstof;
- maakt wit kopersulfaat blauw;
- reageert met ongebluste kalk tot gebluste kalk;
- kan ontstaan uit waterstof en zuurstof.

Evenzo kunnen we bij de naam voor het chemische stofindividu 'zwavel' onder andere denken aan de volgende chemische eigenschappen:

- reageert met koper tot een zwart stofindividu dat niet merkbaar oplost in zoutzuur en niet sublimiert;
- reageert met ijzer tot een zwart stofindividu dat onder ontwikkeling van een stinkend gas oplost in zoutzuur en niet sublimiert;

- reageert met kwik tot een zwart stofindividue dat sublimeert;
- reageert met zuurstof tot een prikkelend gas.

In het dagelijks leven begrijpt iedereen wat wordt bedoeld met 'de zon komt op' of met 'geef me 5 gram koper'. Gaan we er echter vanuit dat de aarde om een stilstaande zon draait, dan kunnen we in die kontekst vraagtekens zetten bij een 'opkomende zon'. Een soortgelijke situatie zal zich voordoen bij de uitspraak '5 gram koper' als de naam voor het stofindividue koper de betekenis heeft gekregen een groep chemische eigenschappen aan te duiden waarbij kwantitatieve aspecten naar de achtergrond zijn verdwenen. In het volgende relaas staat te lezen wanneer dat bij mij voor het eerst expliciet werd.

Relaas 6

In een van de volgende gesprekken van de groep genoemd in relaas 5, op 28 december 1978, kregen we het over de relatie tussen massa en stof: in hoeverre kunnen we spreken over "5 gram koper"? Deze uitspraak riep toen bij mij de volgende vraag op:

"Wel raar wordt: we spraken af dat een stof een groep eigenschappen is. Wordt nu een eigenschap iets met een massa? Of moet je nu voor de kwantitatieve relaties op andere punten gaan letten dan voor de kwalitatieve?"

Interpretatie 6

Zoals ik in relaas 5 maar op één manier 'portie' leek te kunnen verstaan, schijnt dat hier op te treden rond 'stof'. Hierop kan het gebruik van "is" wijzen in "... dat een stof een groep eigenschappen is." Een ander gezichtspunt ten aanzien van 'stof' leek mij niet mogelijk. In de geciteerde zin staat ook: "Wel raar wordt ...", en dit kan ik zien als een uiting van mijn **ongenoegen** met de noodzaak massa toe te kennen aan "een groep eigenschappen". Zulk ongenoegen kan de voedingsbodem vormen voor een eigen leerproces. In de betreffende groep gingen we ons opnieuw bezinnen op de relatie tussen 'stof' enerzijds en 'massa' en 'volume' anderzijds.

2.2.2 Noodzaak van bezinning op 'hoeveelheid stof'

Het probleem uit relaas 6 van 2.2.1 dook in deze groep leraren en didactici telkens op. Hieronder staat een stukje van een gesprek daarover op 28 juni 1980. Ik ben de spreker aangeduid met H (Huub)⁹.

Protokol 1

H = Huub, J = Joop, P = Paul

- 1 H het probleem is dat je een kenmerk dat het ding-zijn benadrukt, b.v. 5 gram, probeer je toe te gaan kennen aan een niet-dingmatig abstractum: stof
- J hoe kan dat? dat kan omdat we niet over dingen praten, maar over ...
- H doordat je het gaat omzetten in die verhouding
- 5 P een niet-dingmatig abstractum, een mooie kreet! maar ik geloof dat daar nu juist onze zeer eenzijdige toespitsing zit waardoor we zo'n moeite hebben met het vermaterialiseren van de stoffen ... het is geen etherisch beginsel! het is geen veldwerking! neen het gaat in principe om uitspraken over dingen waaraan een massa toegekend kan worden
- 10 H ja, oke, maar als jij zegt: bij die reactie verdwijnen koper en chloor en er ontstaat koperchloride, dan bedoel je ook niet te zeggen dat alle koper verdwenen is, het probleem is natuurlijk dat altijd als je een proef doet je een reactie uitvoert met hoeveelheden en die hoeveelheden meet, maar daarna uitspraken doet die los staan van die hoeveelheden, als ik zeg: koper en
- 15 chloor verdwijnen dan denk ik niet meer aan die stukjes koper en die hoeveelheid chloor

Ik noem in regel 2 stof "*een niet-dingmatig abstractum*". Ik zie stof als het ware als een boven een voorwerp zwevende entiteit. Het is niet meer verbonden met een voorwerp en dat wijst Paul af (7-9): "het is geen etherisch beginsel! het is geen veldwerking! neen het gaat in principe om uitspraken over dingen waaraan een massa toegekend kan worden".

Mijn moeite met de uitspraak "bij die reactie verdwijnen koper en chloor en er ontstaat koperchloride" (10-11) kan ik ook begrijpen als een gevolg van mijn opvatting dat stof een "niet dingmatig abstractum" zou zijn. Met 'de stof koper' bedoelde ik de betreffende **bundel kwalitatieve stofindividu-eigenschappen**. Daarom bleef in mijn visie 'koper' bestaan, ook al verdween er ergens bij een experiment een stukje koper.

Omdat we op de aangegeven wijze *eenzijdig* letten op kwalitatief geformuleerde stofindividu-eigenschappen was het gebruikte begrip 'stof' zó los komen te staan van hoeveelheid dat de genoemde problemen voor ons ontstonden. Om deze **blokkering** op te heffen leek het nodig een uitspraak van de soort 'x gram van stofindividu Y' nader te **analyseren**. Mijn vragen uit relaas 6 ("Wordt nu een eigenschap iets met een massa? of moet je nu voor de kwantitatieve relaties op andere punten gaan letten dan voor de kwalitatieve?") zie ik als begin voor een analyse van de relatie tussen de begrippen stof en massa of volume die ik in 2.3 voortzet.

2.3 Stof, massa en volume

Het smelten en ontleden van onzuiver kaliumchloraat kan een zeer gevaarlijk experiment zijn, in tegenstelling tot het smelten en ontleden van zuiver kaliumchloraat. Geringe bijmengingen van reducerende aard zorgen er soms voor dat zich explosies

voordoen. Het is daarom niet alleen van belang te weten dat het om kaliumchloraat gaat, maar ook welke onzuiverheden het bevat. Spreken chemici onder elkaar over reacties van 'kaliumchloraat', b.v. zijn ontleding, dan hebben zij in gedachten 100 % zuiver kaliumchloraat, een idealisering van feitelijk verkrijgbaar kaliumchloraat. We herkennen dit ook in bijvoorbeeld de volgende aanduidingen voor de materialen: '5 gram ijzerpoeder', '500 ml ethanol p.a.' of '20 ml spectroscopisch zuiver aceton'. De hier gebruikte namen voor de stoffen ijzer, ethanol of aceton wijzen niet op de aspecten 'hoeveelheid', 'structuur' en 'onzuiverheid'.

Het gebruiken van namen voor stofindividueen houdt in zekere zin in dat een gedachtekonstruktie wordt toegekend aan concrete materialen. In dit licht is het te begrijpen dat ik in protokol 1 sprak over "een niet-dingmatig abstractum: stof".

Zoals ik al in 2.2.1 schreef, leverde voor ons de uitspraak '5 gram koper' problemen op omdat we de afspraak hadden gemaakt dat een naam voor een stofindividu verwijst naar een groep kwalitatieve stofindividu-eigenschappen. Om niet aan 'eigenschap' massa toe te moeten kennen - "wordt nu een eigenschap iets met een massa?" (relaas 6) -, werd voor mij een nadere bezinning op deze uitspraak noodzakelijk. In '5 gram' verwijst '5' immers naar een actuele hoeveelheid en is in principe variabel, omdat we ook 4 of 6 gram hadden kunnen nemen. Ik wilde daarom 'het aantal gram' geen stofindividu-eigenschap noemen.

Alle hoeveelheden van elk stofindividu hebben echter een zekere massa. Zo bezien kunnen we 'het hebben van massa' een stoffeigenschap noemen, evenals 'het hebben van volume'. Stofindividueen onderscheiden zich hierin niet van elkaar. Daarom lijkt het niet zinvol te spreken over een stofindividu-eigenschap, maar over een stoffeigenschap. Door deze analyse heeft 'stoffeigenschap' een andere betekenis gekregen ten opzichte van die uit 2.2.1.

Ten tijde van relaas 6 en protokol 1 zag ik '5' en 'gram' nog als een onverbreekelijke eenheid, die wees naar de hoeveelheid stofindividu, en daarom niet als een aanduiding voor een kwalitatieve stofindividu-eigenschap. De naam 'koper' duidde juist wel op een groep bij elkaar horende kwalitatieve stofindividu-eigenschappen. Vandaar dat ik de koppeling tussen '5 gram' en 'koper' onjuist vond.

Nu zie ik 'gram' als aanduiding voor een kwalitatieve stoffeigenschap, nl. 'het hebben van massa'. Dan verbindt '5 gram koper' een stofindividu met een voorwerp. Want gekoppeld aan 'gram', dus 'het hebben van massa', is de vraag: 'Hoeveel gram?', oftewel: 'Hoe groot is de massa?' Het antwoord daarop staat in '5' en vormt zo een verwijzing naar een voorwerp.

Nu wordt het mogelijk te "zeggen dat alle koper verdwenen is", een uitspraak waarmee ik moeite had in protokol 1, regel 10. Hij betekent dat bij een experiment een hoeveelheid stof is verdwenen, waaraan de stof(individu)naam koper kan worden toegekend.

Het hebben van massa of van volume noemde ik stoffeigenschappen en niet stofindividu-eigenschappen omdat stofindividueen zich hierin niet van elkaar onderscheiden. Het zijn wel kenmerken waarmee 'stof' zich onderscheidt van 'niet-stof' zoals warmte of licht. Ten Voorde (1977, i.h.b. p. 139-147; 419-439) ontwikkelde in het

kader van zijn onderzoek, waarbij hij was genoodzaakt zichzelf beperkingen op te leggen, een kwalitatief begrip 'stof'. Hij besteedde alleen aandacht aan die stof-eigenschappen welke een chemicus kwalitatieve, chemische eigenschappen noemt (bijv. 'lost op in zoutzuur onder waterstofontwikkeling', 'kan reageren met zwavel'). Door massa en volume op te nemen in mijn begrip stof breid ik het kwalitatieve begrip stof, zoals het door Ten Voorde is ontwikkeld, dus uit.

'Massa' en 'volume' zie ik als kenmerken waarin stof zich van niet-stof onderscheidt, maar niet als de enige twee. Mach (1913, p. 426) zei over dit onderscheid:

"Die Materie oder ein Körper wird also *so vielfach substanzuell* erscheinen, als Eigenschaften aufweisbar sind, so in Bezug auf das Gewicht, die Wärmecapazität, die Verbrennungswärme, die Masse u.s.w. Für *gleichartige* Körper gehen diese Quantitäten, da sie in jedem Theilchen aneinander gebunden sind, einander *proportional*, und man kann daher jede derselben als Maass der anderen benützen. N e w t o n hat die *Masse* als *Quantität der Materie* bezeichnet, (...) Die Masse ist aber darum noch nicht die "Quantität der Materie", sondern *eine* (mechanische) Eigenschaft des als Materie bezeichneten Complexes, ganz wie die übrigen als Beispiel angeführten".

In het vervolg van dit proefschrift houd ik me alleen met 'massa' en 'volume' als kenmerken van 'stof' bezig, en niet met andere. Maar dit wordt slechts bepaald door de aard van de chemische problematiek die in mijn onderzoek ter sprake komt.

2.4 Konklusie

Het was voor mij ondermeer een verrassing te ontdekken dat het niet noodzakelijk is chemische formules op te vatten in termen van deeltjes. Het verwerven van zo'n nieuwe interpretatie van formules gebeurde bij mij in samenhang met het overwinnen van ongenoegen met een omschrijving van stof(individu) als een bundel kwalitatieve, chemische eigenschappen. Dit ongenoegen ontstond door het eenzijdig benadrukken van kwalitatieve eigenschappen. Hierdoor werd ik geblokkeerd bij het vinden van geschikte termen voor het verwoorden van kwantitatieve relaties bij chemische reacties. Een noodzakelijke stap was daarom het opnemen van de eigenschappen 'hebben van massa' en 'innemen van ruimte' in mijn begrip stof.

In dit hoofdstuk kwamen enige persoonlijke ervaringen bij het interpreteren van chemische formules aan de orde. In het volgende wil ik nader ingaan op kwantitatieve betrekkingen tussen stofindividuen bij chemische reacties voorzover ik die nodig heb bij de bespreking van mijn eigenlijke onderzoek.

2.5 Noten

1. Verdonk vertelde mij dat er bij een college van hem steeds studenten waren die niet konden accepteren dat de formule van natriumchloride niet exact Na_1Cl_1 is.

2. Deze tabel staat in bijlage 7 als tabel 3.
3. In het vervolg van dit proefschrift zal ik in het algemeen niet meer nadrukkelijk aangeven dat gasvolumes zijn gemeten bij of teruggerekend naar dezelfde temperatuur en druk.
4. Zie bijvoorbeeld Vogelesang (1986).
5. Deze aanwijzende omschrijving van de term 'stofeigenschap' is niet bedoeld als een voor alle gevallen geldende definitie. Het opstellen van zo'n definitie zou moeilijk zijn. Dit blijkt al uit het volgende voorval. Een leerlingengroepje vroeg mij eens of het bruisen van ijzerpoeder in zoutzuur wel een stofeigenschap was. Hun motivering was dat als je één druppel zoutzuur bij een heleboel ijzerpoeder deed, je geen bruisen zou zien.
6. Zie bijvoorbeeld Weninger (1984), p. 88.
7. Zie Ten Voorde (1978b), p. 186-190, opgenomen in Ten Voorde (1981) op p. 22-26.
8. Zie bijvoorbeeld Ten Voorde (1977), p. 140; Ten Voorde (1978b) p. 190, opgenomen in Ten Voorde (1981) op p. 26.
9. In bijlage 8 van band 2 staat een beschrijving van de in protocollen gebruikte symbolen en van de daarbij gemaakte afspraken. Voor het hier weergegeven gesprekje is relevant dat de deelnemers zijn aangeduid met gefingeerde namen. Deze gespreksgemeenschap zal in het vervolg van mijn proefschrift regelmatig terugkeren. Ik gebruik daarbij steeds dezelfde naam voor dezelfde persoon. Zo stelt de met 'Huub' aangeduide spreker altijd mijzelf voor.
10. Ik gebruik hier met opzet 'materiaal' om te benadrukken dat het bijvoorbeeld om de concrete inhoud van een flesje gaat of om dat wat bij een experiment wordt gebruikt.

3. RELATIES TUSSEN HOEVEELHEDEN IN CHEMISCHE KONTEKSTEN

Aan het einde van het vorige hoofdstuk heb ik mijn visie op 'stof' en 'stofindividu' gegeven. Nu wil ik mij richten op enkele kenmerken van de chemische reactie die te maken hebben met de hoeveelheden stof die erbij betrokken zijn (3.1). Ik stel alleen die kenmerken aan de orde die nodig zijn voor de bespreking van mijn eigenlijke onderzoek.

Daarna zullen twee visies op 'atoom' ter sprake komen (3.2). In de eerste wordt 'atoom' in de lijn van de mechanistische opvattingen gezien als een op zichzelf staand, afzonderbaar deeltje; in de tweede opvatting speelt 'atoom' de rol van een chemische eenheid.

Tenslotte zal ik drie van elkaar te onderscheiden manieren van spreken beschrijven (3.3) zoals die kunnen worden opgemerkt met betrekking tot chemisch handelen en spreken over dat handelen ten aanzien van de in 3.1 besproken kwantitatieve relaties.

3.1 Enkele kwantitatieve relaties bij de chemische reactie

Bij mijn onderzoek spelen de volgende relaties inzake de hoeveelheden stof betrokken bij de chemische reactie een rol:

- de konstante (massa)samenstelling van samengestelde stofindividueen (wet van Proust);
- het algemeen massabehoud en het elementmassabehoud bij de chemische reactie;
- de volumeverhouding tussen stofindividueen in gasvorm betrokken bij een chemische reactie is er één van (eenvoudige) gehele getallen (chemische wet van Gay-Lussac).

Bij de bespreking van deze wetten zal ik proberen hun ontstaan of eerste expliciete formulering te plaatsen in hun toenmalige wetenschappelijke kontekst. Bij een beschouwing van de aard van deze wetten zal naar voren komen dat ze kenmerken beschrijven van de begrippen 'samengestelde stof' en 'chemische reactie'.

3.1.1 Konstante samenstelling als kenmerk van samengestelde stof

Een chemische verbinding ¹ heeft een konstante samenstelling. Aan deze uitspraak wordt vaak de naam gekoppeld van Proust (1755-1826). Kopp (1873) beschrijft hoe dit gezichtspunt in de achttiende eeuw geleidelijk gestalte kreeg, zonder dat het door iemand uitdrukkelijk werd gesteld. In 1799 tenslotte, in een studie over koperverbindingen, spreekt Proust uit: de eigenlijke chemische verbindingen bevatten hun bestanddelen in een konstante verhouding verenigd. Hij vatte deze konstante verhouding op als het gevolg van de onzichtbare hand van de natuur waardoor wij mensen niets aan de samenstelling van de stoffen kunnen veranderen (Kopp, 1873, p. 225 e.v.).

Berthollet (1748-1822) bestreed in 1801, aldus Kopp, het standpunt van Proust en baseerde zich daarbij op zijn voorstelling over het wezen van de chemische affiniteit. Hij konkludeerde hieruit dat slechts in bepaalde gevallen en niet in het alge-

meen een verbinding een konstante samenstelling zal hebben, zoals bijvoorbeeld water. Berthollet illustreerde dit voornamelijk met onderzoeksresultaten van anderen. Er volgden repliek en dupliek. In deze discussie speelden de noties '(eigenlijke) chemische verbinding' en 'mengsel' een belangrijke rol. In een nabeschouwing zegt Kopp (p. 240) o.a.:

"Welcher Gegensatz in der Art der Forschung und in der Beweisführung für die aufgestellten Behauptungen zeigt sich bei den Männern, über deren wissenschaftlichen und echt wissenschaftlich geführten Streit hier etwas eingehender zu berichten war! Berthollet kommt durch Speculation zu gewissen allgemeinen Sätzen, von welchen aus er deductiv die Thatsachen auffaßt, und auf Thatsachen, welche seinen Deductionen entsprechen, legt er vorzugsweise Gewicht; Proust erhebt sich, von den Resultaten einzelner analytischer Bestimmungen ausgehend, inductiv zu allgemeinen Sätzen, und von der Richtigkeit der letzteren überzeugt betrachtet er die Angaben über Thatsachen, welche mit diesen Sätzen nicht in Einklang stehen, als unrichtige, oder als auf Thatsachen von anderen Ordnung sich beziehend, als die, für welche jene Sätze ausgesprochen seien. Berthollet stützte sich vielfach auf die Angaben Anderer und kämpfte mit Munition, welche er Anderen entlieh; Proust's Waffen waren solche, welche er sich selbst verfertigt hatte: in allen Hauptsachen seine eigenen experimentalen Bestimmungen, an deren Zuverlässigkeit er nicht zweifelte."

We moeten daarbij niet vergeten, aldus nog steeds Kopp, hoe onzeker toen vaak nog de uitkomsten van analyses waren. Er was dikwijls zo'n spreiding in door verschillende chemici gepubliceerde resultaten van één verbinding dat Berthollet dit wel moest zien als een ondersteuning van zijn visie. De beslissing in deze strijd viel niet door voortgezette discussie tussen Berthollet en Proust, maar doordat chemici de konstante samenstelling gingen zien als een noodzakelijk gevolg van de atoomvoorstelling van Dalton (Kopp, 1873, p. 244).

In de strijd tussen Berthollet en Proust ging het in feite om de vraag of *alle* verbindingen een vaste samenstelling hebben. Voor bepaalde soorten verbindingen was zij al wat eerder geformuleerd door Haüy en Richter. Hooykaas (1976, p. 236-238) vermeldt dat Haüy (1743-1826) reeds vóór Proust de wet van de vaste samenstelling formuleerde voor mineralen. Haüy leidde dit af uit zijn onderstelling dat elke mineraalsoort haar eigen karakteristieke molekulen heeft. Deze zijn onderling volkomen gelijk en hun vorm is die van de grondvorm van het kristal.

Richter (1762-1808) realiseerde zich omstreeks 1795 dat, in hedendaagse chemische taal gesproken, het neutraal zijn van een zout moet betekenen dat hierin zuur en base in een vaste verhouding zijn samengegaan. De kwantitatieve uitspraak 'vaste verhouding' is een gevolg van het kwalitatieve begrip 'neutraal' (Kopp, p. 261; Ostwald, 1909, p. 128).

Zowel Haüy als Richter zagen de konstante samenstelling bij een bepaald soort verbindingen (mineralen; zouten) dus als het logisch gevolg van een bepaalde *kwaliteit* van deze stofsoorten (karakteristieke kristalvorm; neutraliteit).

Uit de geschetste geschiedenis trek ik de konklusie dat Haüy, Richter, Proust en Berthollet ieder hun eigen gezichtspunt hadden op grond waarvan zij een uitspraak deden over de konstante samenstelling van (bepaalde) soorten verbindingen. Pas

het eenvoudige beeld dat Dalton van een chemische reactie gaf, stelde de chemici in het algemeen in staat een zekere orde te brengen in de chaos der verschijnselen. Zij hadden in de wet van de konstante samenstelling een criterium om te beslissen of bepaalde analyseresultaten acceptabel waren of niet.

Maar geleidelijk aan werden de analytische methoden betrouwbaarder en nauwkeuriger. Sommige resultaten bleven reproduceerbaar zonder overeen te stemmen met de wet van Proust. Het Fe_{1-y}O dat ik in 2.1.1 noemde, is daarvan een voorbeeld. Bij dit oxide is de vraag gerechtvaardigd of hier nog sprake is van 'één verbinding'. Het antwoord dat iemand daarop geeft, hangt af van zijn visie op 'verbinding'. Koppelt hij dit begrip aan 'konstante kwantitatieve samenstelling' dan zal hij ijzer(II)oxide géén verbinding noemen, maar bijvoorbeeld polyetheen wel. Bij vergelijking van ijzer(II)- met ijzer(III)oxide ligt het daarentegen op grond van kwalitatieve verschillen én vanwege het grote onderscheid in kwantitatieve samenstelling voor de hand om te spreken van twee verschillende stofindividueen. Daar laten we de al te strikte eis van konstante samenstelling dus los. Hooykaas (1976, p. 239) zegt: "In de moderne opvattingen van chemie is de theorie van Dalton verwerkt. ... ondanks alle verfijningen en wijzigingen blijft de *kwantificatie* en de discontinuïteit. In tegenstelling met het scholastieke: 'de natuur maakt geen sprongen', leert zij ons, dat de natuur *sprongen* maakt."

Er is een variant in de formulering van de wet van Proust mogelijk die van pas komt in het volgende. Omdat een samengesteld stofindividueel een konstante samenstelling heeft, geldt voor de chemische reactie waarbij het uit zijn bestanddelen wordt gevormd dat tussen deze laatste een konstante massaverhouding moet bestaan. De wet van Proust kan dan algemener worden geformuleerd als: bij een chemische reactie bestaat er tussen de reactiepartners een konstante massaverhouding. Bijvoorbeeld: magnesium reageert met water tot magnesiumoxide en waterstof in de massaverhouding 12,06 : 8,94 : 20,00 : 1. We kunnen dit een kwantitatieve eigenschap noemen van de stoffen magnesium, water, magnesiumoxide en waterstof. Zonder het tweede gedeelte, dat begint met "in de massaverhouding ..." staat er alleen een kwalitatieve eigenschap van deze stofindividueen. Ik noem hierbij 12,06 enz. het **massaverhoudingsgetal** van magnesium, enz. bij dit **reactie-individueel**. Hier breng ik dus een onderscheid aan tussen 'reactie' en 'reactie-individueel', vergelijkbaar met dat tussen 'stof' en 'stofindividueel' (2.2.1).

De formulering dat stofindividueen bij de chemische reactie in een konstante massaverhouding zijn betrokken, komen we tegen in de tegenwoordige schoolboeken (bijv. Groen e.a., 1985, p. 56; Pieren e.a., 1983, p. 61; Reiding en Franken, 1984, p. 124). Alleen in het eerste van de drie wordt daarbij nog de naam van Proust genoemd.

In de bovenstaande beschouwingen bleef de veronderstelling impliciet dat voor een chemische reactie massabehoud geldt, en ook massabehoud voor elk element afzonderlijk. Daarover handelt de volgende paragraaf.

3.1.2 Massabehoud en elementmassabehoud

Hooykaas (1947a en b; 1976, p. 191 e.v.) heeft erop gewezen dat Lavoisier (1743-1794), net als vele chemici voor hem, uitging van het totale massabehoud bij een chemische reactie en dit niet proefondervindelijk controleerde². Hij is dus niet de ontdekker van de wet van massabehoud, zoals vele schoolboeken beweren. Zijn belangrijke bijdrage aan het massa-aspekt bij de chemische reactie is zijn veronderstelling van massabehoud voor elk **elementindividu** afzonderlijk bij een reactie (Lavoisier, 1790, p. 130-131):

"We may lay it down as an incontestible axiom, that, in all the operations of art and nature, nothing is created; an equal quantity of matter exists both before and after the experiment; the quality and quantity of the elements remain precisely the same; and nothing takes place beyond changes and modifications in the combination of elements. Upon this principle the whole art of performing chemical experiments depends: We must suppose an exact equality between the elements of the body examined and those of the products of its analysis."

De zinsnede "... an incontestible axiom, that, ... nothing is created; an equal quantity of matter exists both before and after the experiment; ..." laat zien dat Lavoisier massabehoud als principe aannam. Hetzelfde geldt m.m. voor het massabehoud van elk elementindividu afzonderlijk: "the quality and quantity of the elements remain precisely the same; ... We must suppose an exact equality between the elements of the body examined and those of the products of its analysis." Hooykaas zegt (1976, p. 191): "Behoudswetten worden in het algemeen niet 'ontdekt' maar gesteld."

Massabehoud en elementmassabehoud zijn voor Lavoisier dus veronderstellingen gedaan t.a.v. experimenteel werk aan chemische reacties of t.a.v. zulke reacties in de natuur. In een experiment wordt gewerkt met concrete hoeveelheden stofindividuen. Daarbij gaat het dus om een relatie tussen 'voorwerpen', elk met een gegeven massa. Om in algemene zin over een bepaald reactie-individu te kunnen spreken, is echter een verhoudingsterminologie nodig. Massabehoud bij een reactie-individu (bijv. dat uit 3.1.1) komt tot uitdrukking in de gelijkheid van de som van de massaverhoudingsgetallen van de stofindividuen die verdwijnen en die ontstaan.

Met betrekking tot het massabehoud bij de chemische reactie³ zegt Hooykaas (1947a, p. 248) nog:

"Het is uit het voorgaande wel duidelijk, dat de wet van massabehoud (van gewichtsbehoud, van stofbehoud) naar zijn oorsprong geen experimentele, empirische wet is. ...

Gezien de steeds nauwkeuriger opzettelijke toetsing achteraf, mogen we deze wet nu als een empirische wet voorstellen. Maar dan toch altijd met deze beperking: geldt voorzoover de nauwkeurigheid der meetinstrumenten reikt."

Zoals uit het vervolg van dat artikel blijkt, bedoelt Hooykaas hier massabehoud voor zover dit met een goede balans konstaterbaar is aan hanteerbare hoeveelheden stof. In die zin is een gelijksoortige opmerking over de wet van elementmassabehoud niet te maken, omdat de massa van een hoeveelheid elementindividu in een

gegeven hoeveelheid samengesteld stofindividue niet door weging is te bepalen. Elementmassabehoud blijft in deze kontekst dus een veronderstelling.

3.1.3 Chemische wet van Gay-Lussac

Stofindividue in gasvorm betrokken bij een chemische reaktie verdwijnen en ontstaan in volumes die zich verhouden als eenvoudige, gehele getallen, mits gemeten bij dezelfde temperatuur en druk. Deze grondwet van de scheikunde staat bekend als de chemische wet van Gay-Lussac en is door hem in 1808 gepubliceerd.

Snelders (1968) vermeldt dat Gay-Lussac (1778-1850) na zijn experiment omtrent de volumeverhouding bij de knalgasreaktie het vermoeden opvat dat waarschijnlijk alle gassen in eenvoudige volumeverhoudingen met elkaar reageren. Hij probeert dit te bevestigen aan de hand van een viertal door hemzelf uitgevoerde, en van de gegevens van een vijftal door anderen bestudeerde gasreakties (Snelders, 1968, p. 50). Deze wet is dus echt een empirische wet, waarbij experimenteel gevonden volumeverhoudingen met meer of minder rechtvaardiging werden afgerond tot verhoudingen van gehele getallen. Relaties met de atoomleer van Dalton legt Gay-Lussac nauwelijks, aldus Snelders.

3.1.4 Konklusie: kwantitatieve kwaliteiten

De wet van Proust en de chemische wet van Gay-Lussac zijn geformuleerd in termen van verhoudingen. Bij een konkreet experiment aan een reaktie-individue worden massa's en/of volumes van hoeveelheden stofindividue gemeten of berekend. Een algemene, kwantitatieve uitspraak over dit reaktie-individue wordt echter in verhoudingen verwoord omdat dat voor alle experimenten een konstante oplevert die we blijkbaar gekoppeld kunnen zien aan dat reaktie-individue.

Een tweede overeenkomst in de formulering van beide wetten valt minder op: zij zeggen niets over de grootte van de verhoudingen. Ik kan dit ook anders formuleren:

- a) 'konstante samenstelling' is een kwaliteit van 'samengestelde stof';
- b) 'konstante massaverhouding' is een kwaliteit van 'chemische reaktie';
- c) 'volumeverhouding van eenvoudige gehele getallen' is een kwaliteit van chemische reaktie voorzover er stofindividue in gasvorm bij betrokken zijn.

Deze drie kwaliteiten zou ik kwantitatieve kwaliteiten kunnen noemen. Ze verwijzen naar kwantiteiten zonder dit zelf te zijn. In a) is sprake van een eigenschap van 'samengestelde stof'. Hierin komt het overeen met 'het hebben van massa en van volume' dat ik een eigenschap van stof noemde (2.3). We kunnen uiteraard ook zeggen dat in a) een eigenschap van de samenstellingsreaktie uit de enkelvoudige stofindividue staat. In b) wordt een eigenschap van 'chemische reaktie' genoemd, oftewel een reaktie-eigenschap. De grootte van de kwaliteit 'konstante massaverhouding' voor het reaktie-individue 'magnesium en water geven magnesiumoxide en waterstof' staat in 3.1.1 vermeld. Ik kan ook zeggen: daar staat een reaktie-individue-eigenschap.

Ostwald (1908) koppelt aan 'stof' ook de kwaliteit 'homogeen'⁴. Ik sluit me hierbij aan. Dan kan ik opmerken dat de kwaliteit 'konstante samenstelling' van een samengestelde stof op soortgelijke wijze is af te leiden uit zijn kwaliteit 'homogeen

zijn', als Richter de konstante samenstelling van een zout afleidde uit zijn kwaliteit 'neutraal'. Als nl. iedere hoeveelheid van een samengesteld stofindividueel als hetzelfde mag worden beschouwd, kan dit alleen indien het een konstante samenstelling bezit. De wet van Proust, die historisch gezien te beschouwen is als een empirische wet, is dus zonder één meting te doen te formuleren als een implicatie van het homogeen karakter van een samengestelde stof.

3.2 Visies op een begrip 'aatom'

3.2.1 'Molekuul' als afzonderbaar deeltje

In relaas 3 van 2.1.1 komt naar voren dat ik een niet-geheel getal in een formule voor ijzer(II)oxide niet kon interpreteren als verhouding tussen de aantallen positieve en negatieve ionen in een rooster. De betreffende formule wekte bij mij de suggestie dat het ging om 'gebroken' ionen en dat druiste in tegen mijn beeld van molekulen, atomen en ionen. Ik was in mijn chemische opleiding zulke 'deeltjes' gaan zien "als kleinste hoeveelheidjes, als zeer, zeer kleine voorwerpjes" (2.1.2). Zo'n zienswijze is niet ongebruikelijk, zoals de volgende uitspraken uit het schoolboek van Reiding en Franken (1984, p. 50, 54, 55) aangeven:

"Elke stof is *deelbaar*. Als een stof wordt gedeeld, blijven de eigenschappen van de stof behouden. Aan deze deelbaarheid komt echter een einde. ...

Een molekuul is het kleinste deeltje van een stof dat die stof 'vertegenwoordigt'.

...

De molekulen bestaan zelf weer uit kleinere bouwstenen, de atomen."

Met name de eerste zin hieruit trekt mijn aandacht. Is suiker deelbaar? Ik kan wel een suikerklontje of een schepje suiker delen, dus een voorwerp dat van suiker is gemaakt, maar niet de stof suiker. Ik vat in de eerste zin "stof" daarom op als 'een zekere, weegbare hoeveelheid stofindividueel' en ik koppel het gebruik van resp. "deelbaar" en "deeltje" in dit citaat aan 'hoeveelheid' en 'voorwerpje'. "Deelbaar" en "deeltje" zijn m.i. hier dan ook gekoppeld aan een zekere, weliswaar zeer kleine maar bepaalde massa. De auteurs roepen, mede door te schrijven "Een molekuul is het kleinste deeltje van een stof dat die stof 'vertegenwoordigt'. ...", het beeld op van een deeltje dat afzonderbaar is.

Tussen de termen "deelbaar", "wordt gedeeld", "deelbaarheid", "molekuul" en "kleinste deeltje", uit bovenstaand citaat en 'voorwerpje' en 'hoeveelheid' zie ik een samenhang, die Ten Voorde *taalveld* noemde⁵. We kunnen een soortgelijke samenhang zien in 2.3 tussen de termen '*aantal gram*', '*niet-stofeigenschap*', '*grootte*' en '*voorwerp*', en ook één tussen de termen '*heeft massa*', '*stofeigenschap*' en '*stof*'. Daar spelen dus twee taalvelden een rol.

3.2.2 'Aatom' als afzonderbaar deeltje

De volgende zin staat ook in het citaat van Reiding en Franken gegeven in 3.2.1: "De molekulen bestaan zelf weer uit kleinere bouwstenen, de atomen." De voorafgaande paragraaf in hun boek heet "Stoffen kunnen veranderen", en daarin komt de

ontleding van water in waterstof en zuurstof aan de orde, gevolgd door de synthese ervan uit deze stofindividuen. Zij schrijven dan (p. 53):

"Uit de twee bovenstaande experimenten volgt dat we water kunnen *maken* en *vernietigen*. Voor het maken van water hebben we stoffen nodig (waterstof, en zuurstof uit de lucht), die fungeren als bouwstenen voor het water. En vernietigen is hier niet het juiste woord, want uit water ontstaan twee nieuwe stoffen: waterstof en zuurstof. We kunnen daarom beter spreken van het *slopen* of *demonteren* van water.

Conclusie:

Water kunnen we veranderen in waterstof en zuurstof en omgekeerd kunnen we uit deze twee gasen weer water maken.

De stof water bevat 'bouwstenen', die ook voorkomen in de stoffen waterstof en zuurstof."

Het taalveld met de termen "bouwstenen", "slopen of demonteren" en "bevat 'bouwstenen'" roept een kontekst op van het samenvoegen en het uithalen van voorwerpen. De auteurs spreken vervolgens over 'atomen als de bouwstenen van molekulen'. 'Atoom' krijgt m.i. hier een betekenis analoog aan die van 'molekuul' zoals die in 3.2.1 naar voren kwam: een klein voorwerpje dat afzonderbaar is.

3.2.3 'Atoom' als chemische eenheid

De volgende uitspraak van Cannizzaro (1858) uit 1.1 luidt in Nederlandse vertaling: "*... De in de verschillende molekulen aanwezige wisselende hoeveelheden van een en hetzelfde element zijn allemaal gehele veelvouden van een gelijke grootte die terecht als atoom wordt betiteld omdat zij altijd ongedeeld in de verbindingen intreedt.*" Cannizzaro geeft atoom dus de betekenis van een voor een groep stofindividuen relatief gezien, kleinste hoeveelheid van een element waarvan de andere hoeveelheden van dat element veelvouden zijn.

Kekulé (1858) gaf de volgende omschrijving van 'atoom'⁶:

"Betrachtet man nun die einfachsten Verbindungen des Kohlenstoffs (Grubengas, Methylchlorid, Chlorkohlenstoff, Chloroform, Kohlensäure, Phosgengas, Schwefelkohlenstoff, Blausäure u.s.w.), so fällt es auf, das die Menge Kohlenstoff, welche die Chemiker als geringst-mögliche, als *Atom* erkannt haben, test 4 Atome eines einatomigen, oder zwei Atome eines zweiatomigen Elements bindet; daß allgemein die Summe der chemischen Einheiten der mit einem Atom Kohlenstoff verbundenen Elemente gleich 4 ist."

De stofindividuen die Kekulé noemt, hebben als overeenkomst dat de molekuulformules met één C-atoom worden geschreven. Daarop slaat "..., die Menge Kohlenstoff, welche die Chemiker als geringst mögliche, als *Atom* erkannt haben, ...". In 1858 was het nog niet mogelijk de massa's van atomen te bepalen. De "geringst-mögliche Menge" kan daarom niet de huidige betekenis hebben gehad van 12,01 atomaire massa-eenheden = $12,01 \times 1,661 \cdot 10^{-27}$ kg⁷.

Cannizzaro en Kekulé verbinden hun omschrijving voor atoom dus met relatieve hoeveelheden van een elementindividu in meer dan één stofindividu en bij meer

dan één reaktie-individu. Zij geven 'atoom' betekenis binnen een dergelijke, wat ik zou willen noemen 'chemische', samenhang. 'Atoom' geeft daarbij o.a. weer dat een geheelallige verhouding wordt gevonden tussen de massa's van een element-individu in een gelijk volume van verschillende stofindividen in gastoestand (z.t.p.). Ik benoemde dit in 2.1.2 bij relaas 4 met de term 'portie'. Ik kom hierop nog terug in 3.3.4.

Dat Kekulé in het zojuist gegeven citaat niet direkt gedacht zal hebben aan een koolstof-atoom met een absolute massa blijkt m.i. ook uit het volgende dat hij in 1876 schreef⁸:

"The question whether atoms exist or not has but little significance in a chemical point of view: its discussion belongs rather to metaphysics. In chemistry we have only to decide whether the assumption of atoms is an hypothesis adapted to the explanation of chemical phenomena. ...

I have no hesitation in saying that, from a philosophical point of view, I do not believe in the actual existence of atoms, taking the word in its literal signification of indivisible particles of matter. I rather expect that we shall some day find, for what we now call atoms, a mathematico-mechanical explanation, which will render an account of atomic weight, of atomicity, and of numerous other properties of the so-called atoms. As a chemist, however, I regard the assumption of atoms, not only as advisable, but as absolutely necessary in chemistry. I will even go further, and declare my belief that *chemical atoms exist*, provided the term be understood to denote those particles of matter which undergo no further division in chemical metamorphoses. ... The chemical atom will always remain the chemical unit; ..."

Kekulé gebruikt hier "*chemical atoms*": een atoombegrip dat is ontleend aan een chemische kontekst en daarbinnen funktioneert ("... those particles of matter which undergo no further division in chemical metamorphoses.")⁹. Ik versta op dezelfde wijze een aantal uitspraken van hem waarin hij het woord "untheilbar" gebruikt, b.v. in¹⁰:

"... ; wird dagegen ein zweiatomiges Radical durch zwei einatomige ersetzt, so spaltet sich das vorher untheilbare Molecül, weil die Ursache des Zusammenhangs wegfällt, in zwei kleinere Molecüle; ..."

Mijn interpretatie hiervan is als volgt: het stofindividu waterstofsulfide bijvoorbeeld bestaat, zodat ik molekulen waterstofsulfide aanneem die ik als zodanig als ondeelbaar opvat ("... vorher untheilbare Molecül ...). De twee waterstofatomen uit dit molekuul verdelen zich echter in reaktie met jood over twee molekulen waterstofjodide ("weil die Ursache des Zusammenhangs wegfällt ..."). Door het optreden van deze chemische reaktie komt een eind aan de aanvankelijke on(ver)deelbaarheid van het waterstofsulfide- resp. het joodmolekuul. Wat Kekulé 'atoom' noemt, blijft (per definitie) onverdeelbaar.

In de gegeven uitspraken van Kekulé hoef ik aan 'molekuul' of 'atoom' niet de betekenis te hechten van 'delen van voorwerpjes' of 'minuscule hoeveelheden van een stofindividu'. Ze beschrijven m.i. wel chemische entiteiten, funktionerend in en opgesteld ter verklaring van een complex van chemische verschijnselen. Om zo'n

atoom- en molekuulbegrip te kunnen ontwikkelen, zullen lerenden dus eerst ervaring moeten opdoen met een voldoende rijke verzameling chemische reacties en met name ook met kwantitatieve aspecten ervan.

In het begin gaf ik een (vertaald) citaat van Cannizzaro en konkludeerde daaruit dat hij over 'atoom' sprak als over een relatieve eenheid. In het citaat dat staat in noot 7 van 3.5 kunt u lezen dat hij zijn studenten voorhoudt dat de gegeven relatieve atoommassa's gelezen kunnen worden als absolute massa's indien het mogelijk zou zijn de massa van een half waterstofmolekuul te bepalen. Waarna hij vervolgde met: "Nachdem dieser Kunstgriff seinem Zwecke gedient hat, beeile ich mich, ihn zu beseitigen, indem ich sogleich hinzufüge, dass es uns in der That unmöglich ist, den absoluten Werth dieser Einheit zu bestimmen." Ik acht het niet onmogelijk dat iemand op grond hiervan uitspreekt dat Cannizzaro toch op de eerste plaats denkt aan een heel klein deeltje, waarvan helaas echter de massa nog niet bepaalbaar is. Om hierover tot een beslissing te kunnen komen, is nader onderzoek nodig van de manier waarop Cannizzaro zich heeft uitgelaten over 'atoom' en 'molekuul'. Dit valt echter buiten het bestek van dit proefschrift.

In aansluiting hierop kan ik het begrip atoom zoals dat ter sprake kwam in 3.2.2 ook benoemen als 'atoom in absolute zin'. Het atoombegrip, zoals verwoord door Kekulé, wil ik benoemen als 'atoom in relatieve zin'.

Aanvankelijk was Ostwald sterk gekant tegen het gebruik van de atoomhypothese in de chemie. In noot 8 van 1.3 staat te lezen dat hij er echter in 1909 van overtuigd is geraakt dat het experimentele bewijs is geleverd voor de 'korrelige natuur van de stoffen'. Hij aanvaardde hiermee de atoomtheorie. Verder noteerde hij: "Für die Stöchiometrie hat die Atomtheorie wesentlich die Bedeutung eines bequemen Veranschauligungsmittels, da bekanntlich die hierher gehörigen Tatsachen ohne ihre Hilfe ausreichend und vielleicht sogar tiefer greifend dargestellt werden können, als bei der üblichen Vorausstellung der atomistischen Auffassung."

Uit het besprokene in 3.1.1 en 3.2.3 trek ik twee konklusies:

1. hoewel de atoomhypothese in de tijd van Dalton een noodzakelijk instrument was om te kunnen beslissen tot een konstante samenstelling van de stofindividen, is zij in 1900 daarvoor niet meer noodzakelijk nu de chemici vertrouwd zijn geraakt met de idee van "kwantificatie en de discontinuïteit" (Hooykaas, 1976, p. 239; 3.1.1);
2. Ostwald bestreed aanvankelijk wel een naïef-realistische¹¹ voorstelling van 'atoom' als afzonderbaar voorwerpje, maar niet die van 'atoom' als 'chemische eenheid'.

3.2.4 Atoom als hybride van een absolute en een relatieve interpretatie

Groen e.a. (1985, p. 64, 65) zetten, net als Reiding en Franken (3.2.2), in één paragraaf de ontleding en de synthese van water bij elkaar. Zij spreken naar aanleiding daarvan niet over 'bouwstenen' of iets dergelijks, maar benadrukken, net als in een vorige paragraaf, het veranderen van stofindividen bij chemische reacties door te zeggen: "... een mengsel van waterstof en zuurstof (erg explosief) is heel iets an-

ders dan de verbinding, die daaruit kan ontstaan." Zij roepen door zo'n formulering een kontekst op, die ik zojuist 'chemisch' noemde.

Zij introduceren op bladzijde 87 als volgt een atoombegrip, waarbij ze de term 'bouwstenen' wél gebruiken:

"... een stof die kan worden ontleed bevat moleculen die splitsbaar zijn. Dit bracht Dalton er toe aan te nemen, dat moleculen uit kleine bouwstenen bestaan. Hij noemde deze bouwstenen atomen. Dalton stelde zich voor dat atomen een soort bolletjes waren en dat ieder element zijn eigen atoomsoort bezit. De atomen van elke soort (elk element) zijn gelijk, maar de atomen van verschillende elementen verschillen onderling in grootte en massa."

De auteurs spreken, zoals ik zoëven liet zien, in een chemisch taalveld over ontledingsreacties. We kunnen de volgende zinsneden uit bovenstaand citaat in samenhang zien met zo'n chemische kontekst: "stof die kan worden ontleed", "moleculen die splitsbaar zijn" en "ieder element zijn eigen atoomsoort bezit". Daarentegen wijzen "een soort bolletjes waren" en "verschillen ... in grootte en massa" op een niet-chemische achtergrond met de bijbehorende aandacht voor de feitelijke grootte van de massa en van het volume en niet, zoals bij Cannizzaro en bij Kekulé (3.2.3), voor de massaverhouding. Ik constateer daarom in het citaat t.a.v. het te ontwikkelen begrip atoom een **vermenging van twee taalvelden**.

3.2.5 Conclusie

De termen 'atoom' en 'molekuul' kunnen in (minstens) twee onderscheiden samenhangen worden ontwikkeld: in één waarin zij zijn gekoppeld aan de absolute groottes van de massa, of in één waarin zij zijn verbonden aan onderlinge massaverhoudingen. 'Atoom' en 'molekuul' in de eerste zin benoem ik als 'afzonderbaar deeltje', in de tweede zin als 'chemisch relatie-principe' of als 'chemisch atoom' en 'chemisch molekuul'.

De ontwikkeling van een begrip 'chemisch atoom' vereist allereerst de tot stand koming van een uitgebreide ervaring met chemische reactie-individuen en bijbehorende kwantitatieve relaties. Anders kan het gewenste atoombegrip niet functioneren als een chemisch relatie-principe.

Bij scheikunde-leerboeken voor het secundair onderwijs signaleerde ik een trend om steeds vroeger deeltjes in te voeren (1.2.3). Ik kan dat nu uitbreiden voor wat betreft de kwaliteit van de deeltjes: het gaat steeds sterker om een fysisch begrip atoom en molekuul met de bijbehorende aandacht voor de absolute grootte van de massa en soms zelfs van 'het volume'¹².

Het ontwikkelen van een begrip atoom als afzonderbaar deeltje houdt het gevaar in dat 'atoom' wordt gezien als 'kleinste voorwerpje' (3.2.1, 3.2.2). Daarbij liggen onbeantwoorbare vragen op de loer als van de leerling die vroeg: "Waarom kan een atoom niet verder worden gedeeld? Ik lees toch in de krant steeds over atoomsplitsing?"

3.3 Verschillende wijzen van chemisch verwoorden

3.3.1 Visuele en beschrijvende kontekst

Berzelius was een van de grondleggers van het huidige systeem van formules voor stofindividueen in de gastoestand en hij schreef over de door hem voorgestelde formules (1814, p. 51):

"I must observe here that the object of the new signs is not that, like the old ones, they should be employed to label vessels in the laboratory: they are destined solely to facilitate the expression of chemical proportions, and to enable us to indicate, without long periphrases, the relative number of volumes of the different constituents contained in each compound body. By determining the weight of the elementary volumes, these figures will enable us to express the numeric result of an analysis as simply, and in a manner as easily remembered, as the algebraic formulas in mechanical philosophy."

Berzelius wijst het gebruik van een formule, in plaats van een stofnaam, af "... to label vessels in the laboratory ...", maar niet om kwantitatieve relaties bij gasreacties weer te geven. In zijn uitspraak kan ik twee konteksten onderscheiden: de eerste, die direkt samenhangt met het konkrete handelen bij experimenten en die ik voorlopig **visuele kontekst** wil noemen; en een tweede, waarin kwantitatieve regelmaat bij gasreacties een plaats krijgt. Deze wil ik **beschrijvend** noemen. Voor een nadere beschouwing van de tweede ga ik naar het werk van een tijdgenoot van Berzelius.

Dumas beschrijft (1826, p. 337) hoe binnen de toenmalige atoomtheorie, ondanks duidelijke vorderingen, nog geen overeenstemming bestaat over de "... poids absolus des atomes ...". Hoewel hij de term 'absoluut gewicht' gebruikt, kan ik dat, gezien de stand van de wetenschap destijds, niet anders verstaan dan als 'relatieve atoommassa'.

Hij gaat voor zijn onderzoek uit van de veronderstelling dat gelijke gasvolumes onder gelijke omstandigheden eenzelfde aantal molekulen bevatten. Dumas (1826, p. 338) trekt hier de konsekwentie uit dat het bij sommige reaktie-individueen noodzakelijk is "... considérer les molécules des gaz simples comme étant susceptibles d'une division ulterieure, division qui se produit au moment de la combinaison et qui varie suivant la nature du composé."

Dumas bepaalt nu in een aantal experimenten de dampdichtheid van onder andere jood, kwik, fosfortrichloride, arseentrihydride en arseentrichloride. (Hij gebruikt overigens niet deze namen waarin de samenstelling al zit verdiskonteerd.) Hij berekent hieruit en uit reeds bekende dichtheden van andere gassen en dampen onder meer waarden voor de dichtheid van fosfor- en arseendamp. Bij zijn berekeningen ziet hij de wet van Avogadro als zijn enige aanname (Dumas, 1826, p. 338). Om te komen tot deze dichtheden, maakt hij in feite nog een veronderstelling, namelijk dat ze in de gasfase voorkomen als twee-atomige molekulen. Dit zit opgenomen in de volumeverhouding 1 : 3 die Dumas aanneemt tussen fosfor- of arseendamp en waterstofgas in hun reaktie tot fosfor- of arseentrihydride. Hij steunt daarbij op de overeenkomsten in chemische eigenschappen tussen stikstof, fosfor en arseen¹⁴ (Dumas, 1826, p. 366; 1832, p. 173). De laatste veronderstelling

komt op de tocht te staan als hij de dichtheid van fosfor- en arseendamp rond 1832 werkelijk bepaalt¹⁵:

"Il faut donc modifier cette analogie entre l'azote et le phosphore généralement prise pour guide dans la classification des combinaisons du phosphore. ...

Relativement aux lois des combinaisons gazeuses, il faut noter comme un fait important que dans chaque volume d'hydrogène protophosphoré ou de protochlorure de phosphore, il n'entre qu'un quart de volume de vapeur de phosphore. Jusqu'à présent, la limite de ces sortes de divisions s'était arrêtée à un demi-volume."

Dumas ging bij zijn berekeningen van 1826 uit van de ervaring dat stikstof, fosfor en arseen overeenkomstige, chemische eigenschappen hebben. Deze analogie bleek in 1832 niet op te gaan voor de samenstelling van hun molekulen. Hij moest daarom aan fosfor- en arseendamp een andere formule toekennen dan aan stikstof. De gemeten waarden voor de dichtheid van fosfor- en arseendamp waren dus in strijd met het beeld dat hij en andere chemici van deze enkelvoudige stofindividuen hadden. Deze strijdigheid woog bij hem zó zwaar ten gunste van het beeld dat hij lang heeft geaarzeld zijn resultaten te publiceren. Hij wachtte ermee tot hij zijn experimenten tezamen met Mitscherlich had herhaald en ze tot dezelfde dampdichtheden voor de betreffende stofindividuen waren gekomen (Dumas, 1832, p. 179).

Het verwoorden van regelmatigheden zoals Dumas deed voor stikstof, fosfor en arseendamp gebeurt bij het reflekteren op het direkte, chemische handelen en spreken. Net als zojuist bij Berzelius, kan ik dus ook hier naast de visuele kontekst een beschrijvende onderscheiden.

3.3.2 Verandering in de kwaliteit van de argumentatie

Dumas bepaalde in zijn werk op grond van dampdichtheden niet alleen relatieve molekuul- en atoommassa's, maar kende tevens, overeenkomstig het concept van Berzelius (3.3.1), formules toe aan stofindividuen in de gasfase. Ook bij de leergang die tijdens het onderzoek werd gebruikt, speelde de opvatting een rol dat formules o.a. een weergave zijn van de volumeverhouding volgens welke twee stofindividuen in de gasfase bij een chemische reactie in elkaar kunnen worden omgezet. Docentgebruikers van die leergang spraken regelmatig met elkaar en met chemie-didaktici over problemen die zij bij het onderwijzen hadden ontmoet. Relas 5 (2.1.2), relaas 6 (2.2.1) en protokol 1 (2.2.2) zijn fragmenten uit drie van zulke gesprekken. Deze groep kwam meestal bijeen in Amersfoort en daarom zal ik haar voortaan aanduiden als 'de Amersfoortse groep'.

In het gesprek van deze groep op 20 mei 1978 komt, naar aanleiding van een door een van de deelnemers aangedragen probleem, onder meer de vraag aan de orde of beredeneerd kan worden hoeveel liter waterstofchloride maximaal kan ontstaan uit 1 liter pentaan (beide onder dezelfde omstandigheden). We gaan er daarbij vanuit dat we niet beschikken over formules, maar wél over een reeks waarin staat in welke volumeverhoudingen waterstofgas staat tot verschillende van zijn reaktieprodukten in gasvorm. We denken hierbij aan eenzelfde reaktietype als genoemd bij relaas 4 (2.1.2): waterstofgas verdwijnt of ontstaat en er ontstaat of verdwijnt één met het element waterstof samengesteld stofindividu. Wij beperken ons

dus tot de één-tot-één gasreactie. In de loop van het gesprek worden twee mogelijkheden geformuleerd om een antwoord te geven op deze vraag:

1. eerst pentaan ontleden in o.a. waterstof, daaruit waterstofchloride maken en bij deze twee reacties de volumeverhoudingen berekenen;
2. de volumeverhouding tussen pentaan en waterstofchloride door een redenering afleiden.

Voor een chemisch geschoolde lezer zal de uitkomst volgens elk van beide wegen vanzelfsprekend gelijk zijn. Hij of zij gebruikt daarbij impliciet een kwalitatief en een kwantitatief behoudsconcept, b.v. atoom als deeltje en dat soorten en aantallen atomen niet veranderen. We beperkten ons in ons gesprek echter tot de gekonstateerde volumeverhoudingen en namen nog geen kwantitatief behoudsconcept tot uitgangspunt. Onder die voorwaarde konden wij geen overtuigende reden geven waarom volgens beide wegen dezelfde volumeverhouding moet worden gevonden tussen pentaan en waterstofchloride¹⁶.

We bemerkten in ons gesprek dat **de ervaring ons beperkingen oplegt**, want het ging om de volumeregelmaat die in een beschrijvende kontekst thuis hoort. We kunnen hier een analogie opmerken tussen deze konstatering van beperkt geldige regels en de situatie waarin Dumas zich bevond (3.3.1). Wij in onze situatie konden niet aangeven waarom dezelfde volumeverhouding gevonden moet worden, onafhankelijk van de gevolgde redenering. Dumas' ervaring leidde hem aanvankelijk tot het aannemen van de formule P_2 , maar hij kon geen reden opgeven waarom het zo zou moeten zijn.

Eén van de gespreksdeelnemers verwoordde de spanning tussen dit feitelijk niet-kunnen maar als vanzelfsprekend aannemen als volgt: "*en dat is wel gek dat is vragen naar een theoretische verklaring*". Bij het geven van zo'n verklaring wordt een stap gezet die zich kan uiten in wat een andere deelnemer toen een "*verandering in de kwaliteit van de redenering*" noemde. Deze verandering bleek in ons gesprek door het gebruik van een taalveld met de termen "*niet anders kan*" en "*moet*".

Hierboven heb ik overeenkomsten opgemerkt tussen zinsneden uit een artikel van Dumas en uitspraken gedaan binnen de Amersfoortse groep. Er is echter ook een belangrijk verschil tussen beide, dat berust op de onderscheiden achtergronden van waaruit de mensen spreken. Dumas is betrokken bij het ontwikkelen van chemie. Zijn handelingen worden in belangrijke mate bepaald door het natuurwetenschappelijke raamwerk waarbinnen hij werkt. Daarbij treedt een voortdurende wisselwerking op tussen experimentele en chemisch-theoretische kennisverwerving in een proces van voortgaande, wetenschappelijke taalvorming.

De deelnemers aan de Amersfoortse groep zijn gericht op het formuleren van onderwijsaanbod waarmee lerenden, in onderlinge samenspraak zicht kunnen gaan krijgen op mogelijke betekenissen van kwantitatieve, chemische formules, uitgaande van door de chemie opgedane experimentele ervaring. Het samenspreken van de leerlingen dient daarbij om hen in staat te stellen in hun eigen taal van gedachten te wisselen over de hen voorgelegde opgaven en zo nieuwe gezichtspunten te kunnen formuleren. Zulke processen van taalvorming kunnen vervolgens worden beschreven met onder andere de termen 'visuele' en 'beschrijvende' kontekst.

3.3.3 Karakterisering van twee soorten vragen

In de gebruikte leergang komt op een bepaald moment aan de orde dat, geïdealiseerd volgens de chemische wet van Gay-Lussac, uit V liter waterstof bij de één-tot-één gasreactie *maximaal* $2V$ liter van een met het element waterstof samengesteld stofindividue kan ontstaan. Maar ook V en $2/3 V$ liter zijn mogelijkheden. Mij was daarbij opgevallen dat tussen $2V$ en V liter geen andere waarden voorkomen. Dit intrigeerde mij weliswaar, maar vormde geen aanleiding intensief te proberen er een verklaring voor te vinden. Ik bracht dit naar voren tijdens het gesprek van 20 mei 1978¹⁷.

Protokol 2

A = Ans, D = Dik, H = Huub, K = Ko, T = Ted

- 1 H er is één heel gek argument, waar nooit aandacht aan besteed wordt (...) en wat bij mij ook lang geduurd heeft voor ik dat ging ontdekken: waarom is er nou nooit iets tussen die 1 en die 2 liter? wat dat betreft is het wel jammer dat we altijd die waterstof nemen (...) we zouden veel beter tevoren naar fosfor kunnen kijken (...) het wordt of verdund tot 2 liter of het wordt geconcentreerd maar het zit er nooit tussenin (...) dat is eigenlijk een heel gek aspect: de leerlingen beantwoorden dat en daar gaan géén vragen over (...) en ik denk dat daar iets heel bijzonders aan de hand is
- A dat zou kunnen ja
- 10 K maar dat was (...) toch ook?
- T ja maar andere getallen
- K ja vier
- T dus niks tussen de 4 en de 2
- D met andere woorden je zou kunnen zeggen dat da't feit is in het beschrijvend niveau
- 15 A een onverklaarbaar feit
- ? ja
- A een te verklaren feit
- D omdat daar in zit (...) in het beschrijvend niveau daar uitkomt(?)
- 20 H dat vermoed ik
- D het stijgt daarboven uit (...) dan denk ik: wat hoger
- T die waarom-vragen die kan je niet meten
- K die waarom-vraag heeft ...
- T dat is een heel ander soort vraag

De vragen uit de leergang waar ik over sprak in regel 7 zijn de volgende:

- "Komt er een volume groter dan twee liter voor?"
- "Komt er een volume voor tussen één en twee liter?"

Ik wil deze nu karakteriseren als **klopt-dit?-vragen**. Zij beperken zich hier tot het toekennen van het antwoord 'ja' of 'nee' aan een voorkomende, individuele volumeverhouding. Ik zou ook kunnen zeggen dat het geven van een antwoord op deze

vragen betekent dat wordt nagegaan of een gevonden resultaat bij een experiment overeenstemt met reeds vastgestelde regels. In 3.3.1 noemde ik zulke regels *beschrijvend*. Voorlopig verbind ik een antwoord zoeken op een **klopt-dit?-vraag met een beschrijvende kontekst**.

Ted vindt de vraag waarom, uitgaande van waterstof, geen volumeverhoudingsgetal wordt gevonden tussen 1 en 2 "*een heel ander soort vraag*" (22 + 24). Ik versta zijn toevoeging "*die kan je niet meten*" (24) als volgt: een onderzoeker richt zich bij de beantwoording van **déze waarom?-vraag** niet op het bepalen van een nieuw volumeverhoudingsgetal volgens een bekende meetprocedure, maar hij gaat nu op zoek naar een verklaring voor de gevonden getallen, bijvoorbeeld door een reden te geven voor het ontbreken van volumeverhoudingsgetallen tussen 1 en 2. Nu richt onze aandacht zich niet op één bepaalde waarde voor de volumeverhouding maar op alle reeds gevonden en ooit nog te vinden volumeverhoudingsgetallen. Daarom zei ik: "... de leerlingen beantwoorden dat en daar gaan géén vragen over (...) ik denk dat daar iets heel bijzonders aan de hand is" (7-8). Voor mij was (en is) het belangrijk dat lerenden zelf een probleemstelling ontmoeten waardoor zij kunnen gaan ervaren dat andersoortige vragen mogelijk zijn. Ik zag een dergelijke mogelijkheid intuïtief in 'waarom vinden we bij waterstof geen getallen tussen 1 en 2?'. Ik wil in de volgende paragraaf aantonen dat bij het beantwoorden van deze waarom?-vraag inderdaad iets anders gebeurt dan bij het beantwoorden van de bovengenoemde klopt-dit?-vragen.

3.3.4 Eigen ervaring met gericht zijn op een beschouwende samenhang

Mijn vraag uit protocol 2 was voor Paul aanleiding dit feit nader te onderzoeken. Het onderstaande komt uit zijn notitie van 2 september 1978:

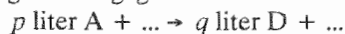
"Wet van Gay-Lussac: p liter A(g) + ... \rightarrow q liter D(g) + ... (z.t.p.)
 $p \in \mathbb{N}$; $q \in \mathbb{N}$

Welke waarde kan het verhoudingsgetal q/p aannemen? Stel $q \leq 8$."

Volgens de chemische wet van Gay-Lussac is q/p een echte breuk. Paul geeft een matrix van mogelijke waarden van q/p , waarin b.v. de volgende rij voorkomt:

$$q = 2 : q/p = 2 \ 1 \ 2/3 \ 1/2 \ 2/5 \ \text{enz.}$$

De stilzwijgende bedoeling van het gegeneraliseerde reactieschema



is dat A en D één elementindividueel gemeen hebben en dat dit niet voorkomt in de andere betrokken stofindividueel; dat we dus te maken hebben met de één-tot-één gasreactie. Verder wordt in het midden gelaten of een reactie-individueel dat met zijn q/p -waarde in de matrix van volumeverhoudingsgetallen staat vermeld, werkelijk bekend is of niet.

Met waterstof(gas) als A gelden de volgende q/p -waarden voor respectievelijk waterstofchloride, waterstofsulfide, ammoniak, methaan en chloorethaan als D:

$$2 : 1; 1 : 1; 2 : 3; 1 : 2; 2 : 5.$$

Dit is de hierboven voor $q = 2$ gegeven rij. We zien in deze getallen een gedeelte van de reeks $2 : n$.

Paul neemt in zijn notitie stilzwijgend aan dat de mogelijke volumeverhoudingen q/p bij een stof A in gasvorm kunnen worden gevonden door een bepaalde waarde van q (voor waterstofgas als A is dat $q = 2$), te delen door de natuurlijke getallen, dat zijn de waarden van p ¹⁸. Zo is de matrix gekonstrueerd. Deze konstruktie levert voor waterstofgas als A dus automatisch de reeks $2 : n$, en is daarmee een antwoord op mijn vraag waarom voor waterstofgas geen q/p -waarden tussen 1 en 2 voorkomen. Maar wat rechtvaardigt die matrixkonstruktie? Ik wil met het nu volgende betoog proberen hierop een antwoord te geven.

We zagen in 3.3.3 dat voor waterstofgas als A q/p maximaal 2 blijkt te zijn. Een enigszins andere formulering luidt: er is nooit anders gevonden dan dat het element waterstof uit a liter waterstofgas zich kan verdelen over maximaal $2a$ liter van een stof D in gasvorm. We kunnen dit interpreteren als de eigenschap van het element waterstof bij het verdwijnen van de stof waterstof(gas) zich in maximaal twee gelijke delen te splitsen.

Ik introduceer nu het begrip 'standaard(gas)volume'. Dit is een volume gas bij een bepaalde druk en temperatuur, waarbij echter de grootte van volume, druk en temperatuur niet ter zake doet. Wél belangrijk is dat gedurende een betoog waarin met dit begrip wordt gewerkt, de grootte van de drie variabelen niet verandert. Tenslotte wordt aangenomen dat de betrokken gassen zich ideaal gedragen, dus voldoen aan de (fysische) wet van Boyle en Gay-Lussac.

De zojuist genoemde splitsing in maximaal twee gelijke delen kan ik m.b.v. 'elementmassabehoud' (3.1.2) en 'standaardvolume' ook formuleren als: wanneer voor een reactie-individu geldt $q/p = 2$ dan bedraagt de massa van het element waterstof in een standaardvolume van het ontstane stofindividu de helft van die in een standaardvolume waterstofgas.

Indien D ammoniak voorstelt en A nog steeds waterstofgas, weten we dat $q/p = 2/3$; dus $3a$ liter waterstofgas geeft $2a$ liter ammoniak. Dit betekent dat in een standaardvolume ammoniak $3/2$ maal zoveel van de massa van het element waterstof aanwezig is als in een standaardvolume waterstofgas. Ook nu kunnen we ons de reactie voorstellen als het splitsen van de massa van het element waterstof in een standaardvolume waterstofgas in twee gelijke delen. Elk van de drie benodigde standaardvolumes waterstofgas levert daarbij één deel op voor één van de twee standaardvolumes ammoniak.

Veronderstel nu (nog steeds met waterstof als stof A) dat er een stof D bestaat waarvoor $q/p = 3/2$. Dit is niet in strijd met de (empirische) chemische wet van Gay-Lussac. In dit geval zou $2a$ liter waterstofgas $3a$ liter D geven, wat betekent dat in een standaardvolume D $2/3$ maal zoveel massa van het element waterstof aanwezig is als in een standaardvolume waterstofgas. Het bestaan van deze stof D zou dan in strijd zijn met het andere, empirische uitgangspunt dat bij het verdwijnen van waterstofgas het element waterstof zich maximaal in twee gelijke delen kan verdelen. Voor de vorming van D zou immers een opdeling in drie gelijke delen nodig zijn geweest. En daarmee is mijn vraag naar het niet voorkomen bij waterstofgas van q/p -waarden tussen 1 en 2 beantwoord. Want de gegeven redenering laat zich

herhalen voor elke q/p -waarde tussen 1 en 2. Maar hiermee is echter nog geen rechtvaardiging gegeven van de konstruktie van de matrix als geheel.

Voor het verkrijgen van een nader inzicht in die konstruktie veronderstel ik dat A en D een elementindividu gemeen hebben waarvan empirisch is vastgesteld dat voor A q/p maximaal 4 is. Dit elementindividu kan bij het verdwijnen van A zich dus maximaal in vier gelijke delen splitsen. Dan kan het zich bij het verdwijnen van A natuurlijk ook in twee gelijke delen splitsen, of in zijn geheel in een stof D overgaan. De vraag die ik nu wil beantwoorden, is: kan dit elementindividu bij het verdwijnen van stof A zich ook in drie gelijke delen splitsen? Een bevestigend antwoord op deze vraag zou niet in strijd zijn met een opsplitsing in onderling gelijke delen, maar wel met de rij in de matrix voor $q = 4$:

$$q/p = 4/1 \quad 4/2 \quad 4/3 \quad 4/4 \quad \dots$$

Want in het veronderstelde geval zou q/p namelijk de waarde 3 krijgen. Om andere dan in de rij genoemde q/p -waarden uit te sluiten, en zodoende de konstruktie van de matrix te rechtvaardigen, neem ik opnieuw aan dat de massa van een elementindividu, aanwezig in een standaardvolume van een verdwijnend stofindividu, zich in gelijke delen kan opsplitsen. Maar bovendien veronderstel ik dat die opsplitsing van het element altijd voorgesteld moet kunnen worden in eenheden van de empirisch gevonden maximale verdeling van de elementmassa. We zien de één-tot-één gasreactie dus als een hergroepering van het **maximaal verdeelde element**.

Samengevat berust de konstruktie van de matrix van q/p -waarden voor de reactie p liter A + ... \rightarrow q liter D + ... op de volgende veronderstellingen:

- er is massabehoud voor het elementindividu dat A en D gemeenschappelijk hebben;
- de hergroepering van dit elementindividu vindt plaats volgens eenheden van het maximaal verdeelde element.

Aangezien in deze veronderstellingen niets specifiek over A, D en het gemeenschappelijke elementindividu is aangenomen, behalve dat A en D in gasvorm bij de reactie zijn betrokken en dat het betreffende elementindividu alleen in A en D voorkomt, ligt het voor de hand in het algemeen voor een chemische reactie tussen stofindividuen in gasvorm te veronderstellen:

- er is massabehoud voor elk betrokken elementindividu;
- de hergroepering van de elementindividuen afkomstig uit de stofindividuen die verdwijnen over de stofindividuen die ontstaan, vindt plaats volgens eenheden van het maximaal verdeelde element¹⁹.

Al eerder besprak ik konklusies t.a.v. formules die te trekken zijn uit gegeven volumeverhoudingen bij chemische reacties tussen stofindividuen in gasvorm. Cannizzaro had het hierover in de citaten gegeven in 1.1. We troffen ze ook aan bij de behandeling van formules in schoolboeken (1.2). Mijn relazen en interpretaties 4 en 5 (2.1.2) hadden hiermee te maken, evenals uitspraken van Berzelius en Dumas geciteerd in 3.3.1. Bij relaas 4 kwam de term '(massa)portie' ter sprake. Bij vergelijking hiervan met de zojuist gebezigde term 'maximaal verdeeld element' zien we dat het om twee verschillende benoeringen van eenzelfde zaak gaat. Bij nader inzien vermeldde ik in 3.2.3 nog een derde: '(chemisch) atoom'. Van deze drie gelijk-

waardige benoemingen roept waarschijnlijk 'maximaal verdeeld element' de minste associaties op met 'afzonderbaar deeltje'. Maar ik wil nogmaals benadrukken dat deze termen alle drie zijn ontwikkeld en thuishoren in een taalveld dat wordt beheerst door verhoudingsuitspraken.

We kunnen dus op grond van de twee genoemde veronderstellingen aangeven welke volumeverhoudingen we *wel* en welke we *niet* kunnen verwachten bij een reactie tussen stofindividueen in gasvorm binnen de algemenere grenzen gesteld door de chemische wet van Gay-Lussac. Zien we de volumeverhoudingen als beschrijvende relaties, dan **brengen** de gegeven veronderstellingen een bepaalde **structuur daarin aan**. Ik wil dit 'structuur aanbrengen in beschrijvende relaties' gaan gebruiken als een kenmerk voor uitspraken, die ik **beschouwend** zal noemen. Met deze term geef ik aan, dat zulke uitspraken worden gedaan bij het nadenken over 'het waarom' van beschrijvende regels. Destijds gaf Paul de redenering in zijn notitie de kwalifikatie "beschrijvend" waarmee ik toen instemde. Nu vind ik dat niet meer juist.

We zagen in 3.1.3 dat de chemische wet van Gay-Lussac te beschouwen is als een empirische wet, een algemene uitspraak over volumeverhoudingen bij reacties tussen stofindividueen in gasvorm, en verkregen door generalisatie van geïdealiseerde, experimentele resultaten. Snelders (1968) noemt bijvoorbeeld de volgende idealisering die Gay-Lussac zelf voltrok. De samenstelling van het gasmengsel dat ontstaat door ontleding van ammoniak met behulp van een elektrische boog, bleek proefondervindelijk te zijn: 0,755 volumedelen waterstof op 2,325 volumedelen stikstof. Dit is een verhouding van 1 : 3,08. "Zonder hierover te spreken rondt Gay-Lussac dit af op 3!", aldus Snelders²⁰.

Bij de opstelling van de chemische wet van Gay-Lussac zijn geen veronderstellingen gemaakt die naar hun aard overeenkomen met de zojuist bij de gegeven redenering genoemde twee. Met zulke veronderstellingen worden de experimenteel gevonden mogelijke volumeverhoudingen begrijpelijk. Aan de wet van Gay-Lussac zijn dus geen beschouwende aspecten te onderkennen, zodat ik haar beschrijvend noem. Ter onderscheiding van bijvoorbeeld de beschrijvende uitspraak: drie standaardvolumes waterstofgas reageren met één standaardvolume stikstofgas tot twee standaardvolumes ammoniak, reikte in een samenspraak met Van Sprang en De Miranda de laatste de term **overkoepelende structuur** in een beschrijvende kontekst aan voor deze wet.

In de geciteerde, algemene voorstelling van een gasreactie staat geen concreet experiment aangegeven. Mijn twijfel aan de benoeming "beschrijvend" voor de gevolgde redenering kwam ten tijde van het onderzoek op toen ik ging zien dat in de notitie van Paul geen bepaalde gasreactie staat, maar een algemeen geldig geachte formulering. Deze dient als uitgangspunt voor een redenering die is gericht op het verkrijgen van inzicht in de mogelijke volumeverhoudingsgetallen. Het gebruik van formuleringen los van klopt-dit?-vragen of los van concrete experimenten zou wel eens een aanwijzing kunnen zijn dat er wordt gezocht naar een overkoepelende structuur of dat een overgang naar een beschouwende vraagstelling op gaat treden.

3.3.5 Kontekstgebonden en kontekstloze verwoordingen

Relaas 6 (2.2.1) is ontleend aan de bijeenkomst op 28 december 1978 van de Amersfoortse groep. Ik wil op dit relaas nu dieper ingaan en daarom herhaal ik het hier. We kregen het toen over de relatie tussen massa en stof: in hoeverre kunnen we spreken over "5 gram koper"? Deze uitspraak riep bij mij destijds de volgende vraag op:

"Wel raar wordt: we spraken af dat een stof een groep eigenschappen is. Wordt nu een eigenschap iets met een massa? Of moet je nu voor de kwantitatieve relaties op andere punten gaan letten dan voor de kwalitatieve?"

Uit "Wel raar wordt" blijkt mijn *ongenoegen* met de gemaakte afspraak omtrent 'stofindividu'. Het maken van zo'n afspraak wil ik, overeenkomstig het in vorige paragrafen gemaakte onderscheid een beschrijvende activiteit noemen. Ik hoor echter in "iets met een massa" geen beschrijvende handeling doorklinken maar juist een van de visuele kontekst, nl. wegen.

Uit mijn toentertijd neergeschreven zin komt niet naar voren dat ik (voor deze situatie) het verschil zag tussen de twee betrokken konteksten. Als dat wel het geval was geweest, zou ik er misschien op bedacht zijn geweest dat de gemaakte afspraak omtrent 'stofindividu' er één was van verschillende mogelijke. Ik schijn het echter maar op één manier te kunnen verstaan ("een stof ... is").

Ook ten aanzien van mijn visie op 'kwalitatieve en kwantitatieve eigenschap' lijkt ik destijds geblokkeerd te zijn geweest. In 3.1.4 merkte ik namelijk op dat de wet van Proust en van Gay-Lussac te zien zijn als kwalitatieve uitspraken. Daarvoor had ik ten tijde van relaas 6 nog geen oog.

Tijdens het werken met en het spreken over de bewuste leergang was ik eraan gewend geraakt over 'stofindividu' te spreken als over een groep bij elkaar behorende kwalitatieve stofindividu-eigenschappen. Maar achteraf moet ik konkluderen dat ik niet volledig had doorzien waarom deze afspraak was gemaakt en binnen welke randvoorwaarden. 'Stofindividu een groep bij elkaar behorende eigenschappen' houdt bijvoorbeeld in dat bij een chemische reactie zo'n groep als geheel verdwijnt of ontstaat. Het gaat om een sterk verkorte weergave van uitgebreide ervaring, een **gereduceerde formulering**. Omdat ik tijdens genoemde bijeenkomst niet alle ins en outs wist van de randvoorwaarden, wil ik mijn uitspraak daar benoemen als **niet-legitiem gereduceerde taal**. Deze valt niet te plaatsen in een van de drie onderscheiden konteksten, zodat ik het een kontekstloze verwoording noem. U trof een ander voorbeeld hiervan aan in de vraag van een leerling op het einde van 3.2.5: "Waarom kan een atoom niet verder worden gedeeld? Ik lees toch in de krant steeds over atoomsplitsing?".

Hiertegenover staat de situatie dat er wel een verband blijft bestaan tussen ervaring enerzijds en de verwoording ervan in gereduceerde regels anderzijds. De citaten van Cannizzaro en Kekulé geven dit weer voor wat betreft hun visie op een begrip atoom als chemische relatie-kwaliteit (3.2.3).

Leren op grond van eigen ervaring leidt ertoe dat de lerende zelf kan nagaan welke uitspraken wel en welke niet in overeenstemming zijn met die ervaringen. Ik had, wat de hier beschreven situatie betreft, als onderwijzende in de klas leerlingen wel horen spreken over een stofindividu als groep bij elkaar horende stofindividu-

eigenschappen. Desondanks was dit onvoldoende leer-ervaring voor mij om dit gezichtspunt uitputtend op zijn waarde te schatten.

We ontkomen in de praktijk blijkbaar vrijwel niet aan leren door **overdracht** van 'vaststaande' kennis, met het gevaar dat we kontekstloze verwoordingen gebruiken. Daarom vind ik het belangrijk onderwijssituaties te scheppen, waarin door middel van eigen, authentieke inbreng alsnog een betreffende kontekst kan worden verworven.

3.4 Konklusie

In 2.4 omschreef ik de uitbreiding die ik gaf aan mijn begrip 'stof': niet alleen meer gezien als gekenmerkt door fysische konstanten en door 'kunnen verdwijnen' en/of 'kunnen ontstaan', maar nu ook door 'hebben van massa' en 'innemen van ruimte'. In 3.1.4 kwam naar voren dat de wet van Proust, het (element)massabehoud en de chemische wet van Gay-Lussac zijn op te vatten als kwaliteiten van resp. 'samengestelde stof', 'chemische reactie' en 'chemische reactie tussen stofindividueen in gasvorm'.

Door mij zijn drie verschillende manieren van spreken onderscheiden met betrekking tot chemisch handelen in het kader van het komen tot een empirisch gefundeerde formule van een stofindividu:

- *visueel*: uitspraken hebben direkt te maken met praktisch chemisch handelen;
- *beschrijvend*: uitspraken over regelmatigheden binnen een visuele kontekst;
- *beschouwend*: uitspraken over regelmatigheden binnen een beschrijvende kontekst.

Zowel beschrijvende als beschouwende uitspraken brengen structuur aan: de eerste binnen de handelingen in een visuele kontekst, de tweede binnen die in een beschrijvende kontekst. Als voorbeeld van een beschouwende uitspraak is genoemd het beantwoorden van de vraag waarom bij ieder stofindividu in gasvorm experimenteel beperkingen worden gevonden ten aanzien van mogelijke volumeverhoudingen. Het door mij gegeven antwoord berust op de volgende twee veronderstellingen:

1. er is massabehoud voor elk betrokken elementindividu;
2. de hergroepering van de elementindividueen afkomstig uit de stofindividueen die verdwijnen over de stofindividueen die ontstaan, vindt plaats volgens eenheden van het maximaal verdeelde element.

De indeling naar drie soorten, kwalitatief verschillende, uitspraken toegepast op de kwantitatieve regelmatigheden uit 3.1 levert het volgende beeld: de (empirische) wetten van Proust en van Gay-Lussac zie ik als overkoepelende structuren in een beschrijvende samenhang; de wet van het totale massabehoud en van het elementmassabehoud, zoals Lavoisier deze als uitgangspunt aannam, zie ik als beschouwend. Vanwege de steeds nauwkeuriger toetsing achteraf met behulp van steeds gevoeliger wordende balansen van de gelijkheid van de massa van de verdwenen stofindividueen aan die van de ontstane stofindividueen bij een reactie-individu, is dit nu als beschrijvend te karakteriseren. Het elementmassabehoud onttrekt

zich echter aan een dergelijke toetsing, zodat daar beschouwend m.i. nog steeds op zijn plaats is.

Ten aanzien van 'atoom' zijn twee interpretaties te onderscheiden:

- a) als afzonderbaar deeltje met een experimenteel te bepalen massa;
- b) als chemische element-eenheid: een massaverhoudingsgrootte in het kader van massarelaties tussen elementindividuen bij de chemische reactie.

De interpretatie onder b), expliciet aangetroffen in een aantal uitspraken van Cannizzaro en van Kekulé, kwam mede voort uit hun beschouwingen over volumeverhoudingen bij 'gasreacties'. Het ligt daarom voor de hand het begrip 'atoom' als chemische element-eenheid - een begrip dat nadrukkelijk relatief is bedoeld - te vereenzelvigen met het hierboven genoemde 'maximaal verdeelde element' en met het in 2.1.2 ter sprake gebrachte '(massa)portie'.

Omdat beschouwende uitspraken betrekking hebben op andere zaken dan beschrijvende, en deze weer op andere dan visuele, kan de betekenis van een term afhangen van de kontekst waarin hij wordt gebruikt. Verstaat de lerende mens zo'n kontekst-afhankelijke nuancering niet, dan kan het gemakkelijk gebeuren dat een kontekstloze taal ontstaat waarbinnen vragen opkomen die in feite onbeantwoordbaar zijn. Ik vind het wenselijk dit soort situaties bij onderwijzen zoveel mogelijk te voorkomen.

Gezien de belangrijke rol die het kontekstonderscheid speelt bij mijn onderzoek, beschreven in de hoofdstukken 6, 7 en 8, wil ik in het volgende hoofdstuk een nadere analyse geven van een visuele, beschrijvende en beschouwende kontekst.

3.5 Noten

1. Bij de bespreking van enkele facetten van de geschiedenis van de wet van Proust gebruik ik de door chemici algemeen gebezigde term 'chemische verbinding'. Deze term is niet gelijkwaardig met 'stofindividu', maar met 'samengesteld stofindividu'.
2. We kunnen een uitspraak als de volgende van Reiding en Franken (1983, p. 127) over Lavoisier en de wet van behoud van massa historisch gezien onjuist noemen:

"Het enige wat deze wet in feite zegt is, dat tijdens een reactie geen materiaal uit het niets kan ontstaan of in het niets kan verdwijnen. Dit lijkt nogal vanzelfsprekend, maar Lavoisier was eigenlijk de eerste die ooit de moeite heeft genomen om de juistheid van deze gedachte te controleren met behulp van een balans."

3. Massagelijkheid is gemakkelijk te konstateren in een gesloten systeem. Bij zulke voorbeelden in schoolboeken wordt niet de massa van elk stofindividu afzonderlijk bepaald (zie bijvoorbeeld Groen e.a. (1985) p. 52, Pieren e.a. (1983) p. 65, Reiding en Franken (1984) p. 126). R.A.M. de Jong deelde mij mee dat hij bij zijn ontwikkelingswerk voor een scheikunde-onderwijsplan voor het Lager Agrarisch Onderwijs niet in staat was een geschikte proef te vinden waarbij leerlingen in een open systeem massagelijkheid aan zouden kunnen tonen door de grootte van alle afzonderlijke massa's te bepalen.

4. Ostwald (1908) p. 4:

"Daar de hoeveelheid en de vorm van een lichaam tot zijn willekeurige eigenschappen behoren, daar zij naar goedvinden veranderd kunnen worden, beschouwt men in de chemie de lichamen, zonder op hoeveelheid en vorm te letten. Lichamen die op deeze wijze slechts ten opzichte van hun specifieke eigenschappen beschouwd worden, noemt men *s t o f f e n*. De chemie beschouwt dus deze stoffen. Men noemt stoffen dezelfde, indien zij overeenstemmende specifieke eigenschappen bezitten.

Wil men iets bepaalds mededeelen over de specifieke eigenschappen van een lichaam, wat soort en bedrag betreft, dan moeten deze eigenschappen begrijpelijkerwijs in alle deelen van dat lichaam volkomen gelijk zijn, daar anders onbeslist zou blijven, welke van de eigenschappen, die op verschillende plaatsen voorhanden zijn, men als aan het lichaam toekomend zou kunnen aanwijzen.

Nu voldoen echter geenszins alle lichamen, die wij aantreffen of vervaardigen, aan deze vooropstelling. Beschouwen wij bijvoorbeeld de verschillende steensoorten, die wij in een beek vinden, dan zijn er onder deze vaak zulke, die in al haar onderdeelen hetzelfde blijken te zijn, zoodat ieder stukje, dat wij er van afslaan, dezelfde kleur, hardheid, dichtheid enz. bezit. Daarnaast echter vindt men andere steenen, die reeds door de verscheidenheid hunner kleur doen zien, dat zij uit verschillend materiaal bestaan. Bij nader onderzoek blijken in het algemeen de anders gekleurde deelen ook met betrekking tot hun overige eigenschappen af te wijken. Lichamen van de eerste soort noemt men *g e l i j k d e e l i g* of *h o m o g e e n*, die van de tweede soort worden *m e n g s e l s* genoemd."

5. Ten Voorde (1977) p. 368; of Ten Voorde (1978a), p. 80. Het laatste artikel is opgenomen in Ten Voorde (1981) vanaf p. 8.

6. Kekulé (1858), p. 153. Wat Kekulé omschrijft als "einaatmig" dan wel "zweiaatmig", noemen we tegenwoordig 'eenwaardig' en 'tweewaardig'.

7. Cannizzaro (1858, p. 9) geeft een tabel met waarden voor de dampdichtheid t.o.v. waterstofgas van een aantal stofindividueen in de gasfase. Hij kent aan ieder elementindividueel in een samengesteld stofindividueel een bijdrage toe: "Gewichte der Bestandtheile eines Volums oder einer Molekel, sämmtlich auf das Gewicht einer halben Wasserstoffmolekel = 1 bezogen." Hij geeft bijvoorbeeld bij alcoholvapor voor het getal 46 de onderverdeling: 6 waterstof, 16 zuurstof en 24 koolstof. Hij vervolgt met:

"Die in der vorstehenden Tafel verzeichneten Zahlen sind mit einander vergleichbar, weil sie sich auf die gleiche Einheit beziehen. Um das meinen Schülern ins Gedächtniss einzuprägen, wende ich einen sehr einfachen Kunstgriff an, indem ich ihnen sage: "Stellen Sie sich vor, man könne beweisen, dass eine halbe Wasserstoffmolekel ein Milliontel Milligramm wiege; dann werden alle Zahlen der vorstehenden Tafel concrete Zahlen, indem sie die absoluten Gewichte der Molekeln und deren Bestandtheile durch Milliontel Milligramme ausdrücken. Dasselbe würde natürlich geschehen, wenn die gemeinsame Einheit einen anderen concreten Werth hätte." Somit lasse ich sie sich einen klaren Begriff von der Vergleichbarkeit der in Rede stehenden Zahlen bilden, welchen concreten Werth auch immer die gemeinsame Einheit haben möge. Nachdem dieser Kunstgriff seinem Zwecke gedient hat, beeile ich mich, ihn zu beseitigen, indem ich sogleich hinzufüge, dass es uns in der That unmöglich ist, den absoluten Werth dieser Einheit zu bestimmen."

8. Kekulé (1867), p. 366. Hij bedoelt met "atomicity" valentie. Het citaat is ook te lezen in Freund (1904), p. 624; Cohen (1959) neemt dit citaat van haar over op p. 358.
9. Het is verleidelijk om "chemischen Einheiten" uit het eerste citaat te zien als de Duitse term voor "chemical unit" uit het tweede citaat. Dit lijkt mij onjuist omdat hij in het eerste zegt dat "... die Summe der chemischen Einheiten der mit einem Atom Kohlenstoff verbundenen Elementen gleich 4 ist." Hij spreekt daar o.a. over koolstofdioxide ("Kohlensäure") waarvoor niet geldt dat het koolstofatoom verbonden is met vier andere atomen. Het lijkt mij daarom juist voor "chemischen Einheiten" in het eerste citaat 'equivalenten' te lezen.
10. Kekulé (1858), p. 139. Ik zie als voorbeeld de reactie van jood met waterstofsulfide tot zwavel en waterstofjodide.
11. Het bijvoegelijke naamwoord 'naïef-realistisch' ontleen ik o.a. aan Hooykaas (1976), p. 233 die zegt: "Vrijwel niemand merkte op, dat bijna alle eigenschappen der elementen in de verbinding verdwijnen en alleen de massa blijft en dat dit toch wel vreemd is als de atomen onveranderlijk zijn en naïef-realistisch als kleine deeltjes van de substantie 'zwavel' enz. opgevat worden."

12. Reiding en Franken (1984), p. 56 en 57: "De modellen zijn hier simpele gekleurde rondjes. De rondjes zijn niet allemaal even groot, omdat de atoomsoorten zelf ook in afmetingen verschillen (zie de laatste kolom)." In de bedoelde tabel staan een aantal atoomsoorten met hun massa (in atomaire massa-eenheden) en een atoomstraal. Zij gaan niet in op de betekenis van deze 'atoomstralen'.
13. Dumas (1826), p. 338. Hij schrijft deze veronderstelling toe aan Ampère welke haar een paar jaar na Avogadro verwoordde.
14. Hij berekent als volgt een waarde voor de dampdichtheid van fosfordamp:
- hij gaat ervan uit dat 1 liter fosfordamp met 3 liter waterstofgas 2 liter fosfortrihydride geeft;
 - met behulp van de bekende litergewichten van waterstofgas en van fosfortrihydride berekent hij op grond van het totale massabehoud het litergewicht van fosfordamp.
- Hij gebruikt vervolgens deze waarde om de gevonden dampdichtheid van fosfortrichloride te beoordelen. Ook daar neemt hij de overeenkomstige volumeverhouding 1 : 3 : 2 aan (Dumas, 1826, p. 353-354).
- De berekening van de dichtheid van arseendamp verloopt analoog aan die van fosfordamp.
15. Dumas (1832), p. 173-174. Hij bedoelt met "hydrogène protophosphoré" PH_3 en met "protochlorure de phosphore" PCl_3 .
16. Voor chemici lijkt dit moeilijk voorstelbaar, omdat hun denkwijze heel sterk uitgaat van kwantitatief behoudsdenken. Ik heb er al eerder op gewezen dat voor veel leerlingen in beginonderwijs scheikunde zulk een vanzelfsprekend aannemen van b.v. massabehoud bij een chemische reactie niet bestaat (Vogelezang, 1987, p. 526).
17. In dit protocolfragment staat tweemaal "beschrijvend niveau" (regel 13 en 17). Ik kom op het gebruik van de term 'niveau' in hoofdstuk 4 terug. U kunt hier 'beschrijvende kontekst' lezen.
18. Persoonlijke mededeling van Paul na een analyse van zijn notitie.
19. De veronderstelling dat bij een chemische reactie tussen stofindividuen in gasvorm de elementindividuen zich hergroeperen volgens eenheden van het maximaal verdeelde element, is gemaakt ter verklaring van gevonden regelmaat in volumeverhoudingen bij dit type reacties. Stofindividuen in gasvorm worden, afgezien van ontleding en van polymerisatie, gekenmerkt door een konstante samenstelling. Daarom ligt het wel voor de hand te veronderstellen dat dit 'hergroeperen volgens eenheden van het maximaal verdeelde element' een ruimere toepassing kan vinden. Namelijk t.a.v. uitspraken over de massaverhouding bij een chemische reactie tussen stofindividuen die een konstante

samenstelling hebben, maar niet in gasvorm bij de reactie zijn betrokken. Alleen moet dan het zojuist ingevoerde begrip 'maximaal verdeelde element' worden aangepast aan deze algemenere situatie, want dat is thans nog gekoppeld aan 'standaard(gas)volume'.

20. In Snelders (1968), p. 52 staat letterlijk:

"A. Berthollet (1783-1811) zelf vindt als gemiddelde van 6 proeven, dat 1 volumedeel NH_3 bij ontleding met een elektrische boog een gasvolume geeft van 2,046. In het laatste mengsel bevindt zich 0,755 waterstof op 0,245 zuurstof. Met andere woorden, de verhouding is niet 1 op 3, maar 1 op 3,08, een fout van 2,7%. Zonder hier over te spreken rondt Gay-Lussac dit af op 3!"

Ik heb "0,245 zuurstof" vervangen door "2,325 volumedelen stikstof", omdat het hier m.i. om een drukfout gaat.

4. LEREN OP GROND VAN DIREKTE ERVARING

Een belangrijke plaats is in dit proefschrift ingeruimd voor het spreken over en het werken met een onderwijsontwerp waarin de keus is gemaakt formules aanvanke-lijk anders te lezen dan in termen van atomen en molekulen als afzonderbare deel-tjes. Er is daarbij naar gestreefd deze leergang op te zetten naar een geleding volgens de in 3.3 genoemde drie elkaar opvolgende chemische konteksten (zie 3.4).

Voor het beschrijven van het leren van de mensen uit de Amersfoortse groep en van leerlingen die met die leergang werkten, zijn ook begrippen nodig die niet-chemisch te noemen zijn. Ik wil ze rekenen tot een (chemie-)didaktische kontekst. Enige daarvan kwamen reeds ter sprake in 2.2.1, andere daarna, steeds vetgedrukt de eerste maal dat ik ze gebruikte.

In dit hoofdstuk zal ik die (chemie-)didaktische terminologie uitbreiden met behulp van eigen ervaringen inzake een visuele en beschrijvende kontekst chemie-di-daktiek.

4.1 Niet kunnen uitleggen

In relaas 5 uit 2.1.2 heb ik een situatie beschreven waarin ik anderen niet kon verstaan en zij mij *niet konden uitleggen* wat zij precies bedoelden. Dat deelnemers aan een gesprek **elkaar niet verstaan** en elkaar **niet kunnen uitleggen** wat hen geschei-den houdt, is niets bijzonders en iedereen heeft er waarschijnlijk wel eens ervaring mee opgedaan. Wel bijzonder is dit "niet-kunnen-uitleggen" grondig te analyseren en vervolgens als een belangrijk gezichtspunt bij onderwijzen te gebruiken.

De wiskundigen Van Hiele-Geldof (1957) en Van Hiele (1957) voerden zo'n analyse uit naar aanleiding van het door hen gegeven beginonderwijs in de meet-kunde op een Montessori-school waar de leraar een minder centraal docerende rol vervult. Ze constateerden dat een gedeelte van de klas soms woorden gebruikte in een betekenis die de rest niet begreep. Dit gedeelte bedoelde b.v. met 'bewijzen': 'aantonen dat iets logisch volgt uit bepaalde gegevens'. De rest verstond eronder 'in zelf getekende en/of geknipte figuren kunnen zien of laten zien dat iets 'waar' is (door delen van) figuren b.v. op of naast elkaar te leggen'.

De Van Hieles schreven dit 'niet-verstaan' niet toe aan 'domheid' of 'luiheid' van leerlingen uit de tweede groep, omdat allen elkaar na verloop van enige tijd weer wel verstonden. Zij interpreteerden dit verschil in spreken en handelen aan-vankelijk als het *denken* in verschillende niveaus. Van Hiele is later gaan spreken over **niveaus in het argumenteren**, ieder met een eigen bijbehorende taal (Van Hiele, 1973, p. 98-104; 1982, p. 211).

4.1.1 Het vormen van een vakkontekst als probleem bij onderwijzen

Koning's proefschrift (1948) beschrijft duidelijk dat in beginnend scheikunde-on-derwijs niet kan worden uitgegaan van de natuurwetenschappelijke denk- en rede-neermethoden. Onder andere op dit proefschrift baseerden Kaptein, Koning, De Miranda en Vogel (1954) zich bij het schrijven van hun "*Scheikunde-werkboek*". De Miranda (1955) gaf in zijn proefschrift mede een pedagogisch-didaktische verant-

woording van de opzet van dit Werkboek. Hij schreef in 1977 bij de heruitgave van zijn dissertatie in het voorwoord o.a. het volgende over de ideeën die destijds de achtergrond vormden bij het Werkboek en over de kritiek van Van Hiele daarop:

"Onderwijsvernieuwing bestond tot voor kort hoofdzakelijk hieruit, dat men onderwijs in de vorm van kennisoverdracht trachtte te vervangen door onderwijs in de zin van persoonlijke vorming, hulp bij zelfontplooiing. De beschreven verkenningstocht [= het onderzoek voor zijn proefschrift, M.J.V.] werd door dit streven beheerst. Daarom kregen leerlingen volgens de ontworpen leergang in het begin eenvoudige proefjes te verwerken over verbranding edgl., zonder een voor hen oncontroleerbare verklaring met molekulen en atomen. In het kader van Langeveld's fenomenologie van handelen en denken meende ik dat zo te mogen beschrijven, dat de leerlingen in beginopdrachten handelen met chemische objecten (stoffen) en daardoor reeds qua intentie chemicus zijn, terwijl de chemisch-theoretische kennis nog ontbreekt. Denkend over dat chemische handelen zou die chemische kennis ontwikkeld moeten worden en hierbij zou ... de beheersing van werkmethoden belangrijker moeten zijn dan bezit van parate kennis. Op deze gedachtengang leverde Van Hiele twee jaar later (in 1957) fundamentele kritiek. Van Hiele sprak uit ervaring met de opbouw van een nieuwe didaktiek van het wiskunde-onderwijs. De beginnende leerling kan - volgens die ervaring - nog niet qua intentie wiskundige zijn.

Wiskundige zaken kunnen nog niet voor hem bestaan. ... Ik heb die kritiek als rechtmatig en terzake bevonden."

De vermelde kritiek van Van Hiele betekent dat in beginonderwijs scheikunde voor de leerling nog geen kontekst bestaat die een vakchemicus als 'chemisch' zou betitelen. De beginnende leerling bezit nog niet de terminologie, indeling, zienswijze e.d. van de vakman. Het bestaan van grote verschillen tussen de manier waarop een leek verschijnselen beschouwt en verwoordt en die van een vakman, beschreef Koning (1948, p. 19) als volgt:

"Men zou nu kunnen menen, dat het er niet veel toe doet welke ervaringen het kind reeds heeft, mits we de leerlingen maar voldoende nieuwe ervaringen op het betreffende gebied laten opdoen en ons onderwijs dan bij die nieuwe ervaringen aansluiten. Uit deze nieuwe ervaringen kunnen dan definities en begrippen worden opgebouwd. Voor de vorming van deze begrippen zou de oorspronkelijke ervaring van het kind slechts storend werken.

Men vergeet dan echter, dat de oorspronkelijke, door noëtische abstractie uit de werkelijkheid verkregen ervaringsbegrippen, zich niet zo maar laten verdringen door begrippen, die door logische definitie verkregen zijn. De natuurwetenschappelijke denkwijze staat n.l. wel zeer ver af van de kinderlijke denkwereld. Men kan het kind deze denkwijze niet leren door het maar vast enkele logische definities in te prenten en het dan voldoende of althans veelvuldig met deze aangebrachte" begrippen te laten manipuleren. Dan blijft het brok kennis, dat zo wordt gekauwd en herkauwd, toch een onverteerbare massa en het wordt niet geassimileerd. Telkens interveniëren de primitieve ervaringsbegrippen: zij hebben de primeur en zijn diep in de persoon verankerd."

Wat Koning hier schrijft, doet merkwaardig modern aan: het lijkt of hij spreekt over de invloed van 'leerlingbeelden' bij onderwijzen en de hardnekkigheid van hun bestaan¹. We mogen er bij onderwijzen dus niet vanuit gaan dat de gewenste vakcontext voor de leerlingen reeds bestaat, maar we moeten er juist voor zorgen dat deze tot stand kan komen.

4.1.2 Ontstaan van een Scheikunde Werkgroep

De kritiek van Van Hiele leidde ertoe dat De Miranda een aantal jaren met hem en zijn vrouw samenwerkte bij het onderwijzen van wiskunde. Hij richtte zich vervolgens, met zijn oud-scheikundeleraar Roest, vanuit de opgedane, nieuwe inzichten weer op het scheikunde-onderwijs. Roest analyseerde vanuit een kenniskritische opvatting het gangbare scheikunde-onderwijs en benadrukte dat bij leren **direkte ervaring** een centrale rol speelt². Hij bedoelde daarmee dat de lerende mens een ervaring heeft dat iets-zo-is-en-niet anders. Voor de persoon in kwestie is dit heel precies, maar voor een buitenstaander kan het globaal overkomen. Ik beschreef in relaas 5 (2.1.2) een situatie waarin ik de *direkte ervaring* opdeed dat ik niet meer mee kon spreken en dat de anderen mij niet konden uitleggen waarover het gesprek ging. Het uitspreken ervan noemt Roest een belangrijk aspect van 'direkte ervaring' (De Miranda, 1985, p. 7): "Wat voor directe ervaring wel nodig is, is het zich bevinden in een cultuur en de taal van deze cultuur in een zekere mate kunnen spreken. Het is misschien juist te zeggen dat deze taal in de directe ervaring spreekt."

De Miranda en Roest ontwierpen een opzet voor onderwijsaanbod voor het eerste leerjaar scheikunde h.b.s./v.h.m.o. die De Miranda in eigen onderwijspraktijk gebruikte (1959-1963). Zij riepen in november 1963 tijdens een bijeenkomst van de scheikunde-werkgroep van Velines docenten op om over deze opzet van gedachten te wisselen³. Het was hun bedoeling dit ontwerp in de te vormen groep te bespreken en het aldus veranderde onderwijsaanbod daarna in de klas uit te voeren en de opgedane ervaringen onderling te bespreken. Hierdoor zou de mogelijkheid ontstaan te komen tot een gesprek over de niet-chemische aspecten van deze leergang zoals de keuze voor en structurering van de opgaven. Zo ontstond op 2 december 1963 de Werkgroep Empirische Inleiding tot de Scheikunde (W.E.I.-S.), wat later leidde tot het onderzoek en tot het proefschrift van Ten Voorde (1977).

Ik hoorde in 1970 te Leiden in het kader van het college vakdidactiek tijdens een gastcollege van Rundervoort voor het eerst over 'de WEI'. Dit sprak mij zó aan dat ik vroeg te mogen hospiteren op een school waar scheikunde-onderwijs volgens deze leergang in de praktijk werd gebracht. Deze hospiteerstage bleek realiseerbaar en werd in 1971 mede basis voor een aanstelling aan een school waar werd 'ge-WEId'. Daar raakte ik steeds meer vertrouwd met de achtergronden van deze aanvankelijk als zeer ongewoon overkomende leergang.

Dit onderzoek is dan ook verricht vanuit gezichtspunten die te vinden zijn in publicaties van de Van Hieles, van De Miranda, van Roest en van Ten Voorde⁴. Zij spraken over 'niveau' en niet, zoals ik in hoofdstuk 3 deed, over kontekst. Ik wil me in het vervolg van dit proefschrift daarbij aansluiten.

Ik wijk af in de benoeming 'beschouwend niveau'. Van Hiele, De Miranda en Ten Voorde gebruikten daarvoor 'theoretisch niveau'. Ik geef de voorkeur aan 'be-

schouwend' omdat de ervaring mij heeft geleerd dat 'theoretisch' verwarring op kan roepen doordat men denkt aan 'theorie' in de zin van b.v. 'de atoomtheorie van Dalton'.

De Van Hieles introduceerden de term 'visueel niveau' op grond van hun werken met beginnend meetkunde-onderwijs waarbij vormen van figuren een belangrijke plaats innemen. In scheikunde-onderwijs zijn ook andere zintuiglijke waarnemingen dan het zien van belang, zodat daar de term 'grondniveau' in gebruik is geraakt welke benoeming ik in het vervolg zal hanteren. Ik zal in resp. 4.2 en 4.3 eigen ervaring beschrijven met het komen tot resp. een grond- en een beschrijvend niveau chemie-didaktiek.

4.2 Mijn komen tot een grondniveau in chemie-didaktiek

Door te werken met de 'WEI-S-leergang' en daarover met andere gebruikers te spreken, ontstond bij mij een zekere vertrouwdheid met de opzet ervan. Ik leerde daarbij woorden te gebruiken als 'beschrijvend', 'direkte ervaring', 'kwaliteit in de argumentatie'. Terugkijkend kan ik uit de tijd voorafgaande aan mijn onderzoek en uit de beginperiode ervan verschillende situaties aanwijzen waaruit naar voren komt dat mij niet precies duidelijk was wat met deze en andere soortgelijke termen werd bedoeld of hoe hun onderlinge samenhang was.

Ik was nog niet in staat ze als een beschrijvend relatienet te hanteren en moet ze voor mezelf daarom thans plaatsen in een grondniveau, of misschien benoemen als **flardenkennis**. Deze termen hebben echter geen betrekking op het vak chemie, maar op het beschrijven van leren en onderwijzen van chemie. Ik wil ze **didaktische** termen noemen, eventueel gepreciseerd tot chemie-didaktische termen. Het gaat dus in deze paragraaf om mijn komen tot een grondniveau (chemie-)didaktiek.

4.2.1 Getroffen worden door uiterlijke overeenkomsten

In 1985 nam ik deel aan een workshop in Kiel (West-Duitsland) over de plaats van het stofbegrip bij scheikunde-onderwijs. Verschillende deelnemers spraken over hun visie op onderwijzen/leren waarbij zij twee of drie 'lagen' onderscheidden. Ik meende hierin een overeenkomst te zien met de Van Hiele-niveaus waarover ik al had gehoord in het kader van het werken met en spreken over de 'WEI-S-leergang'. Een andere overeenkomst die mij trof, was dat verschillenden spraken over het optreden van een kloof-van-niet-verstaan bij onderwijzen.

Destijds werd ik dus getroffen door **uiterlijke overeenkomsten** in de gepresenteerde visies. Deze waren later voor mij een aanknopingspunt om te komen tot een nadere bezinning en ik kon toen ook verschilpunten aangeven (Vogelezang, 1988).

4.2.2 Persoonsgebondenheid

Tijdens de workshop in Kiel lichtte iedere deelnemer zijn eigen visie en/of vooraf rondgestuurde, schriftelijke bijdrage toe. De anderen luisterden hiernaar en gaven er commentaar op. Daarbij werden woorden gebruikt als 'niveau', 'kloof', 'kunnen uitleggen'. Ik meen dat we regelmatig grote moeite ervoeren elkaar hierin te verstaan doordat we er nog niet in slaagden tot een afspraak te komen omtrent hun be-

tekenis. Hierdoor konden we voor elkaar niet beargumenteren waarom we een bepaalde benoeming hanteerden of relatie zagen. We bleven steken in 'ja zo noem of zie ik dat nu eenmaal'.

Ik vond het teleurstellend dat wij niet gedurende langere tijd één van de vooraf ingezonden stukken centraal konden stellen om dit vervolgens samen kritisch te vergelijken met één van de andere. De bijdragen bleven **persoonsgebonden** en wij spraken niet over een **gemeenschappelijke zaak**.

4.2.3 Kontekstervaring

Vanuit mijn onderwijsvisie vind ik het belangrijk dat leerlingen de mogelijkheid krijgen langzamerhand ervaring op te doen met (chemische) verschijnselen en zo beginnen te werken in een nieuwe vakkontekst. Ik kan, terugkijkend naar de workshop in Kiel, ons toenmalig zoeken ook zo benoemen: we moesten proberen samen aan te geven welke aspecten we wel en welke we niet wilden rekenen tot een didactische kontekst.

Uiteraard had ieder vanuit eigen achtergrond bepaalde ideeën en voorstellingen over mogelijk te onderzoeken onderwerpen en over (de) methode(s) die daarbij gebruikt zou(den) kunnen worden. De bereidheid met elkaar te blijven spreken en zo ernaar te streven elkaar te gaan verstaan, wijst erop dat we in elkaars opvattingen punten van overeenkomst meenden te herkennen. Bovendien interpreteer ik dit als een uiting van het gevoel **elkaar nodig te hebben** bij het vormen van zo'n nieuwe didactische kontekst. Ik wil in de volgende paragrafen aangeven hoe een dergelijke kontekst enigszins vorm kreeg in volgende workshops⁵.

4.2.4 Anderen iets aanwijzen als bron voor directe ervaring

In Kiel hadden de gesprekken als gevolg van de gekozen werkwijze (zie 4.2.2) een algemeen karakter. In de volgende workshops werd ervoor gekozen om zoveel mogelijk te spreken over concrete onderwijsteksten of -situaties (bijvoorbeeld in de vorm van een protocol). Mijn ervaring was dat als wij bij zulk concreet materiaal bleven, het goed mogelijk was elkaar te verstaan doordat we **aanwijzend konden benoemen** wat werd bedoeld. In plaats van slechts te kunnen zeggen 'dat vind ik nu eenmaal' ontstond de mogelijkheid zo'n voorbeeld te vergelijken met de eigen voorstelling. Dit kon leiden tot uitspraken als 'oh, nu snap ik wat je bedoelt'. Ik zie dit als een voorbeeld van *direkte ervaring* (4.1.2), door Roest (1985, p. 7) als "*de grondslag van alle empirische kennis*" beschouwd.

Als we dergelijk concreet materiaal verlieten, kwamen we snel terecht in zeer algemene uiteenzettingen, of in situaties waar de spreker of spreekster moest zeggen dat hij of zij 'het nu eenmaal zo zag'. Dan hadden we niet meer de mogelijkheid samen tot een afspraak te komen omtrent de betekenis van een term. Ik merkte dat ik in zulke situaties geen aantekeningen meer maakte van datgene wat er werd gezegd.

Door elkaar aan te wijzen, slaagden we er soms wel in iets van een **gemeenschappelijke zaak en taal** te vormen; we begonnen een dialoog te voeren. In het andere geval hield een spreker een monoloog.

4.2.5 Streven naar een nieuw soort gespreksituatie

Tijdens de vervolgworkshop in Siegen (1986) ⁶ spraken we gedurende lange tijd achtereenvolgens over twee van de schriftelijk rondgestuurde bijdragen. Naar aanleiding van deze discussie schreef één van de deelnemers wiens bijdrage werd besproken (Bericht-2, p. 8):

"Ein Unterschied kann darin liegen, daß man die Anliegen, die mit dem Text der Didaktiker vermittelt werden sollen, ernster oder bedrohlicher ansieht als die von Schülern: Man nimmt an, daß sie besser gesichert sind. Es liegt deshalb für jeden Leser nahe, zunächst das herauszufinden, was nicht mit der eigenen Sicht übereinstimmt, weil an diesen Stellen auch Unstimmigkeiten des Textes in sich vermutet werden. Dies Vorgehen birgt auch nicht die mögliche Gefahr, daß man sich selbst beziehungsweise seine eigenen Ansichten aufgeben könnte, wenn man sich auf den fremden Text, das heißt auf die fremde Denkweise einläßt."

De woordkeus van de schrijver vind ik opmerkelijk: "... ernster oder bedrohlicher ansieht ..." en "... die mögliche Gefahr, daß man sich selbst beziehungsweise seine eigenen Ansichten aufgeben könnte ...". Voor mij spreekt hieruit dat de schrijver het als zeer moeilijk inschat om open met elkaar te spreken en zo samen tot een nieuw gezichtspunt te komen. Hij ziet het, zeer begrijpelijk, als een moeilijk te nemen stap om een eigen, vertrouwde visie op te geven.

Hiertegenover staat de situatie die is aangeduid in de vorige paragraaf. Daar sprak ik over het vormen van een gemeenschappelijke zaak door middel van een dialoog. Dit vereist dat de deelnemers zich open naar elkaar toe opstellen. Blijkens het gegeven citaat is zo'n houding niet vanzelfsprekend. Dat toch geprobeerd werd dit te bereiken, kwam voort uit een intuïtief vermoeden dat op die manier iets nieuws tot stand te brengen is.

4.2.6 Protokollen als noodzakelijk onderzoeksmateriaal

De keuze van de organisatoren voor de vorm 'workshop' was mede ingegeven door de wens de deelnemers zoveel mogelijk betrokken te laten zijn bij het gezamenlijk tot stand brengen van een didaktische kontekst. Wij probeerden deze betrokkenheid onder andere vorm te geven door allemaal een persoonlijk verslag van een zitting te maken. Bundeling hiervan vond plaats in Bericht-2. Door deze verslagen met elkaar te vergelijken, is te zien of verschillende deelnemers door eenzelfde thema werden aangesproken, en zo ja, op welke wijze.

Er bestond een algemeen gevoel dat het niet mogelijk was een kwalificerende uitspraak over een onderwijssituatie te doen als daar geen protocol van beschikbaar was (Bericht-2, p. 7, 9, 11, 15) ⁷. Ik meen dit te mogen zien als gemeenschappelijk gevoel dat de uitspraken, gedaan tijdens onderwijzen, belangrijke informatie bevatten. Bovendien betekent dit dat de voorkeur wordt gegeven aan een onderling controleerbare weergave van een onderwijssituatie boven een persoonsgebonden verslag. Dat dit een algemeen gevoel was blijkt uit het volgende (Bericht-2, p. 33):

"Gemeinsam kommen wir zu folgenden Ergebnissen:

Eine Didaktik bilden kann nicht über Bekenntnisse erfolgen (was übrigens wohl ein Stadium bei der Entstehung eines neuen Paradigmas ist), sondern muß anfangen mit personengebundenem und anschließend intersubjektivem Beschreiben einer konkreten Unterrichtssituation (Schüler, Lehrer und Inhalt im Zusammenhang)."

De deelnemers stellen hiermee overigens ook impliciet vast dat onderwijsgesprekken onderzoeksobject kunnen zijn, en hebben dus samen een zekere vakkontekst afgesproken (4.2.3).

4.2.7 Verschillend taalgebruik bij leraar en leerling

Het gevoel protocollen nodig te hebben om over onderwijssituaties uitspraken te kunnen doen, wijst erop dat het tijdens zo'n situatie gesprokene en de wijze waarop het is gezegd, als belangrijk worden beschouwd. Een van de deelnemers schreef het volgende over de wijze van invoeren van begrippen in de leergang die door medewerkers van het IPN te Kiel ontworpen was (Bericht-2, p. 7):

"Im Sinne des Schlagworts "Kommunikationsfähigkeit durch kategoriale Klarheit" als Zielvorstellung wurde die Wichtigkeit von Vereinbarungen (Definitionen) im Sprachgebrauch für den Unterricht betont und den relative Erfolglosigkeit dieser für den IPN-Lehrgang zentrale Grundlage, da die Schüler eben doch von ihren (andersartigen) Vorstellungen aus sprechen."

De schrijver ziet een spanningsveld ontstaan doordat, ondanks de pogingen in de IPN-leergang helderheid te verschaffen door definities te geven, de leerlingen hun eigen voorstellingen behouden. De volgende opmerking komt uit de schriftelijke weergave van een voordracht die één van de deelnemers elders had gehouden, en is in mijn ogen in dit kader interessant (Bericht-2, p. 19)⁸:

"Man hat uns gelehrt, daß Fachsprache auf Definitionen aufbaut und auf diese Weise unmißverständlich ist. Abgesehen davon, daß auch in einem Fachtext noch hinreichend viele nicht-definierte Worte vorkommen und daß in einem Unterrichtsgespräch, insbesondere im einführenden Unterricht, die meisten Worte nicht definiert sind, daß also schon aus diesen Gründen sowohl Fachtext wie Unterrichtsgespräch durchaus mißverständlich bleiben können, macht KELLY mit seinen Feststellungen auf etwas Weiteres aufmerksam, was wir gern übersehen. Wissenschaft und eine Gemeinschaft von Wissenschaftler kommt zwar unter anderem ... dadurch zustande, daß Reproduzierbarkeit des Mitgeteilten angestrebt wird. Nuancen im Gebrauch beziehungsweise Verständnis definierter Worte ergeben sich jedoch unabdingbar aus den individuellen Unterschieden der unterliegenden Konstrukte."

Hier wordt erkend dat niet alle begrippen in voor ieder eensluidende definities zijn te vatten. In het licht van het in 4.2.2 aangeduide verdwijnen van persoonsgebondenheid door samen-spreken vind ik positief dat is geschreven: "Wissenschaft und eine Gemeinschaft von Wissenschaftler kommt zwar unter anderem ... dadurch zustande, daß Reproduzierbarkeit des Mitgeteilten angestrebt wird." Leerlingen zijn weliswaar geen wetenschappers en zij houden zich nog niet bezig met wetenschap.

Wel moeten zij, onder (bege)leiding van een docent en een leergang, komen tot een vakkontekst die eventueel later kan dienen als basis voor een vakwetenschap. Zij kunnen dus al eerder ervaring opdoen met 'leren door met elkaar in gesprek te zijn'.

Verskil in de taal van leerling en van leraar is als volgt door een andere deelnemer beschreven (Bericht-2, p. 14):

"Der Schüler ist unterwegs von der Alltagssprache aus. Der Chemielehrer kennt wissenschaftliche Sprache und Laborsprache, die nach Alltagssprache aussieht, aber eine solche nicht ist; wohl abkürzt, aber abgekürzt in Kenntnis der Abkürzungen."

De schrijver ziet het gevaar dat de wetenschappelijk gevormde docent zaken op een wijze verwoordt die verstaanbaar lijkt voor een leerling, maar het in feite niet is. Zo is mijn ervaring dat leerlingen bij het horen van het woord 'kookpunt' uit zichzelf niet de verbinding leggen met een konstante temperatuur tijdens het koken, maar juist met de temperatuur waarop een vloeistof begint te koken⁹. Of bij 'goed oplosbaar' vooral denken aan 'snel oplossen' en minder aan 'veel oplossen'. Ik schreef destijds dan ook (Bericht-2, p. 15):

"Wenn Schülern Wörter brauchen, die uns als Chemiker bekannt sind, bedeutet dies nicht, daß die Schüler jene Wörter auch als chemische Termini hantieren. Der Kontext bestimmt die Bedeutung, die wir ihnen geben können."

Mijns inziens is dit ook te lezen in de volgende verwoording (Bericht-2, p. 11): "Wortkombinationen und Sprachfelder rufen unterschiedliche Kontexte wach und kennzeichnen diese; ...". Bepaalde woorden kunnen door de schrijver van een leerboek wel in een hem vertrouwde en vanzelfsprekende betekenis zijn gebruikt, maar roepen bij leerlingen soms toch een heel andere betekenis op.

Er is dus een zekere mate van eenstemmigheid ontstaan over het optreden van verschillen tussen de taal van de leraar-chemicus en die van de niet-chemisch ingewijde leerling. Dit leidt tot twijfel aan de effectiviteit van het aanreiken van definities in het begin-onderwijs, en tot een opvatting van onderwijzen waarbij in een gespreksituatie wordt geprobeerd elkaar te begrijpen en nieuwe thema's te doen ontstaan.

4.2.8 Leren-in-gemeenschap

In de vorige paragraaf kwamen opvattingen ter sprake, zoals deze uit verslagen van de deelnemers naar voren kwamen met betrekking tot de taal die leerling en leraar gebruiken. Taal wordt hier gezien als instrument om met elkaar te kunnen spreken over ervaringen en over daarmee samenhangende voorstellingen e.d. Dit komt voor in verschillende verslagen, bijv. in het volgende gedeelte waar het gaat om de aan een bepaalde workshop-deelnemer toe te kennen "erkenntnistheoretische Position" (Bericht-2, p. 26):

"Ich - Welt

↑ ↑

Wahrnehmungen nicht in ihrer Totalität, sondern von mir bereits vorselektiert (aufgrund von Fragehaltungen, Interessen, Begriffen, Vorstellungen). Daher be-

nötige ich Situationen (sachlich) und Personen (sozial), die meine Wahrnehmungsselektion anregen (herausfordern). Didaktische Konsequenz: Als Lehrer muß ich aufgreifbare Wahrnehmungssituationen schaffen. Dabei werde ich in der Auswahl gesteuert durch ein stringentes (widerspruchsfreies) (theoretisches) Aussagesystem (Definitionen)."

We komen hier weer tegen dat de schrijver aangeeft dat de leraar vanuit een speciale achtergrond spreekt ("... ein stringentes (widerspruchsfreies) (theoretisches) Aussagesystem (Definitionen)"). Maar ook lezen we dat hij 'leren' niet louter als een persoonlijke, kwestie ziet, maar als iets van een gemeenschap: "Daher benötige ich Situationen (sachlich) und Personen (sozial), die meine Wahrnehmungsselektion anregen (herausfordern)." Ik meen dit ook op te kunnen merken in het al eerder gegeven citaat (Bericht-2, p. 33):

"Gemeinsam kommen wir zu folgenden Ergebnissen:

Eine Didaktik bilden kann nicht über Bekenntnisse erfolgen (was übrigens wohl ein Stadium bei der Entstehung eines neuen Paradigmas ist), sondern muß anfangen mit personengebundenem und anschließend intersubjektivem Beschreiben einer konkreten Unterrichtssituation (Schüler, Lehrer und Inhalt im Zusammenhang)."

Ik zie leren-in-gemeenschap hier opgesloten in de omschrijving van een onderwijssituatie als: "... Schüler, Lehrer und Inhalt im Zusammenhang ...", m.i. een zekere afbakening van waarmee chemie-didaktiek zich bezig kan houden. Ik meen dit ook te kunnen lezen in de uitnodigingsbrief voor de in 1989 gehouden workshop te Oosterbeek¹⁰:

"Eine Möglichkeit die Entwicklung der gewählten Formel und des gewählten Begriffs "Stoff" zu beschreiben/besprechen liegt gemäß unserer Erfahrung (Kiel, Siegen, Bremen) in einen didaktischen Kontext. Für die Bedeutung "didaktischen Kontext" verweisen wir auf das Workshop in Bremen, wo ausgesagt wurde daß Didaktik betrachtet werden könnte als einen "Kommunikationswissenschaft". Dadurch kamen wir zu dieser nächsten Schlußfolgerung: "Eine didaktische Frage ist die Bewältigung der Kommunikation über Fachinhalte". Als Kriterien für diese Bewältigung wurden genannt: "Sprache"; "Schüler"; "Lehrer" und die Sache", wöber die Lernende (und Lehrer) sprechen und die sie benennen.

Wir erwarten darum von den Teilnehmern, daß ihres Forschungsmaterial, worauf sie ihren Beschreibung des Begriffsentwicklung gründen, auch eine Struktur der Unterrichtssituation benennbar macht in bezug auf diesen didaktischen Kontext. Dadurch kann nicht nur die Brauchbarkeit dieser Benennungen überprüft werden, aber auch haben alle Teilnehmer die Möglichkeit neue Gesichtspunkten kennen zu lernen/zu entdecken. Zugleich sind die Teilnehmer im Stande zusammen eine Sprache zu bekommen (worin man einander versteht) um die Begriffsentwicklung in möglichst verschiedenen Bezugszusammenhängen beschreiben zu können."

Door met elkaar te spreken en naar elkaar te luisteren, hebben we woorden en uitdrukkingen gevonden waarin we elkaar verstaan. Wij hebben samen een begin ge-

maakt met het vormen van een nieuwe taal en kunnen dan ook al enigszins als één gespreksgemeenschap communiceren.

4.2.9 Konklusie

In de manier waarop wij tijdens de workshops met elkaar gingen spreken, tekent zich af wat ik 'leren op grond van directe ervaring' wil noemen. Komende vanuit een leefwereld met zijn ongeordende veelheid aan verschijnselen die wij ervaren, kunnen *uiterlijke overeenkomsten* tussen eerst als verschillend beschouwde zaken worden opgemerkt. Gesprek hierover met anderen zal aanvankelijk niet in argumentatieve zin plaats kunnen vinden, maar in een *aanwijzend benoemende* welke nog *persoonsgebonden* is.

Door zo *met elkaar te spreken*, ontstaat een idee omtrent dat wat wel en wat niet tot de *nieuwe vakkontekst* zal worden gerekend. *Déze gespreksituatie* wordt gekenmerkt door de afwezigheid van een 'wetende' leraar en een of meer 'niet-wetende' leerlingen. In plaats daarvan moeten alle gespreksdeelnemers open staan voor elkaar en de bereidheid hebben om naar elkaar luisterend samen de nieuwe vakkontekst gestalte te gaan geven en zo ervaring op te doen met '*leren-in-gezamenlijk gesprek*'. In de volgende paragraaf ga ik hier verder op in door mijn komen tot een beschrijvend niveau chemie-didaktiek te bespreken.

4.3 Een overgang naar een beschrijvend niveau chemie-didaktiek

4.3.1 Komen tot argumentatie als overgang naar een beschrijvend niveau

In de inleiding van 4.2 heb ik geschreven dat ik mij, in de beginperiode van mijn onderzoek, ten aanzien van didaktiek in een situatie bevond die ik nu karakteriseer als grondniveau. Een van de kenmerken daarvan heb ik benoemd met 'persoonsgebondenheid' (4.2.2). Het schrijven van bijv. paragraaf 4.2 houdt in dat ik mijn toenmalig handelen moet bezien los van deze persoonsgebondenheid en moet komen tot een voor de lezer controleerbaar en consistent gebruik van begrippen.

Dit betekent dat de betreffende begrippen een betekenis hebben verkregen die door de betrokken personen in onderling gesprek op grond van eigen, zo mogelijk directe, ervaring is vastgesteld. Zijn zulke onderling afgesproken betekenissen aanvaard, dan wordt het mogelijk een **voor de betrokkenen controleerbare argumentatie** op te zetten met gebruik van zulke termen. Vanwege de vaste, afgesproken betekenis ervan hoeft hier geen situatie meer voor te komen met het karakter 'zo zie ik dat nu eenmaal' (4.2.4). Het ontstaan van zulk kunnen-argumenteren zie ik als een kenmerk van het komen tot een beschrijvend niveau.

4.3.2 Empirisch chemie-leren als voorloper op chemie-didaktiek-leren

In het begin van 3.3.4 staat een klein gedeelte van de door Paul gegeven beantwoording van de vraag waarom de volumeverhoudingsgetallen tussen waterstof en zijn reactieproducten bij een één-tot-één gasreactie samen de reeks $2 : n$ vormen. Destijds meenden we dat voor de gegeven afleiding alleen de chemische wet van Gay-Lussac nodig was. In 3.3.4 heb ik aangetoond dat dit niet juist is. Hieruit blijkt

dat ik chemie leerde. Door de plaatsing van de chemische wet van Gay-Lussac in een beschrijvend niveau chemie (vgl. 3.3.4) én de betreffende redenering van Paul alleen als een gevolg van deze wet te zien, kwalificeerde ik zijn beantwoording toen als 'beschrijvend'. Gezien 3.3.4 zeg ik nu: de argumentatie heeft een beschouwend karakter.

Als criterium voor 'beschouwend' hanteerde ik een notie die te omschrijven is met 'inzicht verkrijgen'. Door de gegeven notitie te bestuderen en de beschouwende, chemische redenering op te stellen, kreeg een nieuw kenmerk voor een beschouwende zienswijze betekenis voor mij. Namelijk dat 'structuur ontstaat in de beschrijvende handelingsmogelijkheden'. Ik ging zien dat deze didactische formulering hier betekent dat de gegeven redenering aangeeft welke volumeverhoudingsgetallen wél, en welke niet kunnen worden gevonden. Ik leerde dus chemie-didaktiek. Dit leren werd pas mogelijk nadat ik de chemische redenering uit Pauls notitie had doorzien.

Tijdens de workshops (4.2) konden we didactische benoemingen (aanwijzend) gaan gebruiken door met elkaar te spreken over chemische thema's die aan de orde kwamen in onderwijssituaties of in onderwijsteksten. Ook daar speelden twee verschillende kennis-gebieden: zowel het bezinnen op chemie als op chemie-leren.

Ik noem het leerproces in het laatst genoemde vakgebied gericht op vorming van mijn *chemie-didactische kontekst*. Uit de gegeven voorbeelden komt naar voren dat chemie-didaktiek leren optreedt ná, of aan de hand van empirisch chemie-leren. Van Hiele-Geldof (1957, p. 146) heeft een gelijksoortige relatie reeds opgemerkt omtrent wiskunde-leren en wiskunde-didaktiek-leren.

Onder chemie-didaktiek versta ik nu de wetenschap die zich bezig houdt met de bestudering van genese van chemische begrippen in onderwijs- of onderzoeksleersituaties. Ik verricht deze bestudering vanuit de opvatting dat leren niet uitsluitend een individuele bezigheid betreft, maar een sociaal proces dat optreedt in een gesprekssituatie die wordt gekenmerkt door *datgene wat de deelnemers wanneer en waarover zeggen*. De Miranda¹¹ benoemde dit als een **Veranderende Taal Zaak Gemeenschap** (= V.T.Z.G), door Ten Voorde (1977, 4.2, p. 479) **veranderende groep-taal-zaak** (= V.G.T.Z.) genoemd. Ik geef de voorkeur aan 'gemeenschap' boven 'groep' omdat daarin sterker naar voren komt dat het niet gaat om een aantal mensen die toevallig samen zijn, maar dat het gaat om personen met een samenbindende taal en zaak. De Werkgroep Empirische Inleiding (1968, p. 46) omschreef dit als een **productieve groep**.

4.3.3 Ongenoegen, analyse, explicitering

De vraag kan gesteld worden waarom in een gesprekssituatie als bedoeld op het einde van 4.3.2 een nieuwe wijze van verwoorden, overeenkomstig het volgende niveau, wordt nagestreefd door de deelnemers. (Ik bedoel met "volgend niveau" een beschrijvend t.o.v. een grondniveau, of een beschouwend niveau t.o.v. een beschrijvend.) Ik wil een antwoord proberen te geven door terug te kijken naar twee eigen leersituaties waarbij het gaat om de vorming van een beschrijvend niveau chemie en een waar het handelt om het komen tot een beschrijvend niveau didaktiek.

In de relazen 1, 2 en 3 (2.1.1) heb ik drie situaties uit mijn universitaire chemie-studie beschreven waarin ik een zeker ongenoegen voelde tussen resultaten van experimenten enerzijds en de weergave ervan in formules en/of reactievergelijkingen anderzijds. In relaas 2 ging het om het niet-zien van een verband tussen het, snel uitgeschreven, reactiemechanisme van een malonestersynthese en de feitelijke, langdurige handelingen tijdens het chemisch, preparatief praktikum. Dit leidde tot het inzien wat het in de praktijk kan betekenen als wordt gesproken over een langzame reactie.

Ik herinner me dat tijdens een praktikum op het gymnasium, ik de opdracht kreeg vast te stellen welk van een aantal mogelijke stofindividueen aan mij was gegeven. Eén van de genoemde stoffen was natriumthiosulfaat. Ik voegde aan de oplossing van de gekregen stof zoutzuur toe, maar zag geen troebeling ontstaan in de vloeistof. Mijn konklusie dat het hier niet om natriumthiosulfaat ging, bleek onjuist te zijn. De leraar liet mij zien dat ik enige tijd moest wachten. Net als bij de malonestersynthese bleek, chemisch gesproken, *de snelheid van betrokken reacties* in de praktijk een essentiële rol te spelen. Ik bracht toen onder woorden dat ik dacht dat reactiesnelheid alleen van belang was bij reacties tusen organische stof-individueen: 'die verliepen immers langzaam'.

Didactisch gezien, kan ik beide situaties kenmerken als het ondervinden van een verschil tussen de handelingen van een grondniveau chemie (vloeistoffen samenvoegen, roeren, wachten, veiligheidsmaatregelen nemen i.v.m. het gebruik van kaliumcyanide) en die van een beschrijvend niveau chemie (reactiesnelheid omschrijven als de concentratieverandering per tijdseenheid). Het toentertijd ondervonden ongenoegen werd later aanleiding de betreffende situaties nader te analyseren en ze te benoemen zoals net is gedaan.

Zulk ongenoegen is ook beschreven in relaas 6 (2.2.1 en 3.3.5). Daar is de problematiek het komen tot een afspraak wat zal worden opgenomen in het begrip 'stof'. Het resultaat van de erop volgende analyse, welke aanvankelijk plaats vond in de Amersfoortse groep, is te lezen in 2.2.2 en 2.3. Het betreft dus niet een produkt van louter individueel denken en studeren, *maar ook één* van het met elkaar spreken over deze zaken in een produktieve groep (4.3.2).

In de genoemde leerprocessen kan ik dus drie fasen onderscheiden:

- er wordt **ongenoegen** met een bepaalde formulering of regel geuit;
- de betreffende relaties worden voorwerp van een (gezamenlijke) **analyse**;
- er vindt een **explicitering** plaats van de nieuwe inzichten.

Het laatste leerproces heeft geleid tot een zekere vulling van een beschrijvend, didactisch niveau. Het kwam tot stand zonder dat we beschikten over een boek of over een opdrachtenreeks. Evenmin was er een docent die ons aan kon geven welke weg we moesten gaan. Ik wil hier dan ook liever spreken van een onderzoek-leerproces dan van een onderwijs-leerproces. De drie genoemde fasen zie ik als **leerfasen**.

4.4 Nabeschuwing

Zowel bij het leren van chemie als bij het leren van (chemie-)didaktiek kunnen van elkaar onderscheiden niveaus worden opgemerkt. Ik heb voor beide vakgebieden

uitspraken in verband gebracht met het vormen van een grond- en een beschrijvend niveau. Een redenering met een beschouwend karakter chemie staat in 3.3.4. Ik voel mij nog niet in staat uitspraken te doen die ik zou kunnen kwalificeren als beschouwend niveau didaktiek.

Het accent bij de beschrijving van de leerprocessen lag in het vorige hoofdstuk meer op de resultaten dan op de manier waarop zij tot stand kwamen. Zo zagen we nu dat een leerproces in de door mij bedoelde zin begint met een *ongenoegen* om-trent een gegeven resultaat of regel, gevolgd door een *analyse* van het ongenoegen, die uitmondt in een *explicitering* van een nieuw leerresultaat.

Bij de beschrijving van mijn komen tot een grondniveau in chemie-didaktiek heb ik sommige aspecten benoemd met gelijke of naar inhoud overeenkomstige termen als Ten Voorde (1977) gebruikte bij zijn analyse van het ontstaan van een grondniveau in chemie of bij zijn vorming van een grondniveau didaktiek. Het gaat om: '*uiterlijke overeenkomsten als aandachtspunten*', '*elkaar aanwijzen als bron van directe ervaring*', '*kontekstervaring*', '*persoonsgebondenheid*' en '*voor elkaar niet kunnen argumenteren*'¹².

Ik zie het komen tot één van de genoemde niveaus niet als een individuele prestatie, maar als het resultaat van een gesprek in een gemeenschap: die daartoe een onderling bindende taal en zaak heeft ontwikkeld. Dit betekent dat voor didactisch onderzoek een punt van aandacht wordt gevormd door de samenhang tussen 'gespreksdeelnemers' (bijv. 'leerling' en 'leraar') 'inhoud' en 'taal waarin wordt gesproken': **de structuur van de onderwijssituatie** (Bericht-2, p. 29, 30) oftewel een **Veranderende Taal Zaak Gemeenschap** (= V.T.Z.G.). Als we leren en onderwijzen zo beschouwen, doen we dit volgens het **gespreksmodel voor onderwijzen** (De Miranda, 1962, 1980).

Uit deze visie op onderwijs-leer-situaties vloeit als een (chemie-)didactisch onderzoeksinstrument voort het met behulp van protocollen beschrijven van een veranderende taal-zaak-gemeenschap in zulke situaties. In het volgende hoofdstuk zal ik daarom nader ingaan op deze manier waarop ik begripsgenese heb proberen aan te wijzen in protocollen van gespreksgroepen.

4.5 Noten

1. Pfundt en Duit (1985) hebben een bibliografie samengesteld over het thema van leerlingbeelden en hun relatie met het onderwijs in de natuurwetenschappen die op de peildatum juli 1982 al ruim 500 titels telde.
2. Roest (1985). Dit betreft een heruitgave van een door hem op 2 maart 1968 gehouden lezing voor de Werkgroep Empirische Inleiding tot de Scheikunde.
3. Velines (= vereniging van leraren in natuur- en scheikunde) kan worden beschouwd als een voorloper van de NVON. Ten Voorde (1977, p. 72) bericht over zijn visie op het verloop van deze bijeenkomst.

4. Van deze publikaties zijn in het kader van mijn proefschrift vooral van belang: Van Hiele-Geldof (1957), Van Hiele (1957, 1973, 1982), De Miranda (1955, 1962, 1963, 1985), Roest (1963, 1985) en Ten Voorde (1977, 1981).
5. 1986 Siegen, 1987 Bremen, 1989 Oosterbeek.
6. De deelnemers waren in alfabetische volgorde: Buck, Dierks, Scharf, Verdonk, Vogelesang, Ten Voorde en De Vos.
7. De betreffende uitspraken zijn achtereenvolgens:

"Da keine Unterrichtsprotokolle vorlagen, konnten Fragen 3 und 5 nicht angesprochen werden."

"Es kann im Moment nicht anhand von Unterrichtsprotokollen geprüft werden, ob diese Vorstellungen tatsächlich den Vorstellungen der Schüler entsprechen."

"Bedürfnis nach überprüfbaren Beschreibungen von Unterrichtssituationen zur Fundierung der Aussagen in den "Bemerkungen"."

"Um Aussagen über stattgefundenen Unterricht machen zu können, braucht man unter anderem Protokolle."

De vragen 3 en 5 waarop in het eerste citaat wordt gewezen, zijn:

- "(3) Wie entstehen und funktionieren die Änderungen der Kontexte, in denen diese [Stoff]Namen gebraucht werden?"
 - (5) Zu welchen Konsequenzen führt der Vergleich von geplantem Unterricht und tatsächlichem Zusammenwirken von Lehrern und Schülern, einerseits für die Grundlagen der Unterrichtsplanung, andererseits für die Art des Zusammenwirkens?"
8. De tekst van dit citaat is niet tijdens de workshop opgeschreven, maar achteraf op schrift gesteld. Wel heeft de betreffende deelnemer tijdens de workshop in een toelichting op zijn materiaal hierover gesproken (Bericht-2, p. 3).

Onder 'Konstrukt' verstaat de schrijver ieders persoonlijke voorstelling van een bepaalde zaak. In het citaat verwijst de schrijver naar een aspect van een dergelijk 'Konstrukt', "(k)" genoemd. Dit komt uit Kelly (1955). Kelly zegt naar aanleiding van de term "construct"

"*Construction system.* A system implies a grouping of elements in which incompatibilities and inconsistencies have been minimized. They do not disappear altogether, of course. The systematization helps the person to avoid making contradictory predictions."

9. Goedhart (1990, p. 143) merkte dit laatste ook op bij eerste-jaars chemiestudenten, maar hij brengt nog een tweedeling in dit 'beginnen' aan. Hij zegt:

"'Kookpunt' werd door veel studenten opgevat als een tijdstip ('het *punt* waarbij het kriterium dat de vloeistof

kookt aanschouwing-gebonden kan zijn (het borrelen) of meting-gebonden (de konstante aanwijzing van de thermometer). Alleen in het laatste geval wordt het zinvol te spreken over *kooktemperatuur*: de temperatuur als thermometeraanwijzing en het koken worden met elkaar verbonden."

10. Deze workshop vond plaats in oktober 1989. Het thema was 'een formule toekennen aan een stof'.
11. De Miranda gebruikte deze term tijdens een inleiding op 3 juni 1988 die hij te Utrecht hield bij de Vakgroep Chemiedidaktiek.
12. Ten Voorde bespreekt het vormen van een grondniveau chemie in zijn proefschrift (1977) in 4.1. De vorming van een grondniveau didaktiek komt ter sprake in deel 2 (b.v. in 21.4). De door mij genoemde aspecten komen hierin en in andere artikelen van zijn hand ter sprake op de volgende plaatsen:
 - 'globale overeenkomsten als aandachtspunten' (Ten Voorde, 1977, p. 187, 411.2, p. 336; 1978c, p. 246;
 - 'elkaar aanwijzen als bron van directe ervaring' (Ten Voorde, 1977, p. 85; 411.1, p. 335);
 - 'kontekstervaring' (Ten Voorde, 1977, 413.5 en 413.6);
 - 'persoonsgebondenheid' in samenhang met 'voor elkaar niet kunnen argumenteren' (Ten Voorde, 1978c, p. 244 e.v.; zie ook Van Sprang en Ten Voorde, 1986, p. 159).

5. ONDERZOEKEN VAN BEGRIPSGENESE

In 4.3.2 omschreef ik didaktiek als de wetenschap die begripsgenese in onderwijs- of onderzoeksleersituaties bestudeert. Ik zal in dit hoofdstuk aangeven wat dat voor mijn onderzoek betekent, door in te gaan op de vragen:

- met welk onderzoeksinstrument bestudeerde ik begripsgenese (5.1)?
- in welke gespreksgemeenschappen (5.2)?
- t.a.v. welk onderwerp (5.3)?
- vanuit welke gezichtspunten (5.4)?

5.1 Protocol-analyse als geëigend onderzoeksinstrument

Bij dit onderzoek ga ik uit van de idee van een Veranderende Gemeenschap die in een zekere Taal spreekt over een Zaak, waarbij "Veranderende" niet hoeft te slaan op "Gemeenschap" alleen, maar op het geheel van genoemde onzelfstandige aspecten (V.T.Z.G., 4.3.2). Daarnaast huldig ik de opvatting dat bij zulke gesprekken soms een diskontinue verandering in spreken valt op te merken. Ik heb als gevolg van deze uitgangspunten in mijn onderzoek gesprekken geanalyseerd van mensen in leersituaties.

Voordat een, op zich vluchtig, gesprek kan worden geanalyseerd, moet het zijn opgenomen en uitgeschreven. Mijn onderzoeksmateriaal bestaat daarom o.a. uit protocollen van gesprekken van zowel de Amersfoortse groep, als van leerlingen die met onderwijsaanbod werkten dat mede door leden van deze groep was ontwikkeld.

Reeds in hoofdstuk 2 en 3 staan twee protocollen van de Amersfoortse groep. Ik probeerde hierin aan uitspraken van de gespreksdeelnemers een betekenis toe te kennen. Dit betekent dat ik hun bijdragen opvat als meer dan alleen maar klanken. Ik ga ervan uit dat ze spreken vanuit een zekere gerichtheid. De Boer (1980, p. 81) schreef over deze intentionaliteit in een hoofdstuk getiteld "Postulaten van de dialoog":

"Dit zeer algemene uitgangspunt heeft reeds een praktische betekenis voor zover we beginnen met aan te nemen dat de gesprekspartner zinnige uitspraken doet, en pas als het niet houdbaar blijkt, aannemen dat hij slechts geluid produceert. ...

De term 'zinnige uitspraken' is namelijk dubbelzinning. We kunnen ermee bedoelen een uitspraak met zin als oppositum van een zinledige klank, of een uitspraak met een zinnige zin, dat wil zeggen een betekenis die geen onzin is. In het laatste geval hanteren we een inhoudelijk criterium. Het postulaat van de intentionaliteit impliceert dan dat een uitspraak van een gesprekspartner in eerste instantie als begrijpelijke informatie wordt opgevat en niet als de mening van een zonderling die om psychologische verklaring vraagt. Dat intentionaliteit ook in deze zin een voorwaarde is van elk gesprek, kan ieder in eigen ervaring nagaan."

Zulk zoeken naar een door een spreker bedoelde betekenis gebeurt bijvoorbeeld door een samenhang te konstrueren tussen de uitspraken in een protocol. Als ik dit doe, leg ik mezelf de eis op dat in het geheel van het onderzochte gesprek mijn interpretatie vrij is van interne tegenspraak.

De Boer zet het zojuist gegeven citaat aldus voort:

"Pas wanneer het gesprek stopt, betrek ik de eigenaardigheid van de gesprekspartner in mijn overwegingen. Wat hij beweert, klinkt zo vreemd dat ik ter verklaring naar niet bewuste motieven grijp. Ik kan de argumentatie niet meer serieus nemen. In ernstige gevallen haal ik er een psychiater bij."

Terwijl ik het geheel eens ben met het eerste citaat, zet ik bij het tweede een vraagteken. Ik ben als analysator van een leer-gesprek juist zeer genteresseerd in situaties waarin het stopt, omdat gesprekspartners elkaar dan vaak a.h.w. uitnodigen een poging te doen hun gezichtspunt voor elkaar te verduidelijken. Hun eigen woorden dienen zo als ijk materiaal voor mijn interpretatie.

Een gesprek kan stokken doordat een kloof van niet-verstaan optreedt als gevolg van het spreken vanuit verschillende niveaus. Een analyse van een dergelijke gespreksituatie kan dit aan het licht brengen. Zo kan gerichter worden gezocht naar gesprekken waaruit naar voren kan komen in hoeverre een onderscheiding naar grond-, beschrijvend en beschouwend niveau van toepassing is bij het leren van kwantitatieve, chemische formules.

5.2 Gespreksgemeenschappen

In mijn onderzoek spelen gesprekken van twee verschillende soorten groepen een rol. Allereerst die van de leerlingen waarvan ik leraar scheikunde was. Hierop ga ik nader in in 5.2.1. Vervolgens komen in 5.2.2 de gesprekken in de Amersfoortse groep aan de orde. Daar sprak ik met andere leraren scheikunde en met chemiedidaktici over ontmoete problemen bij het onderwijzen met de 'WEI-leergang' (3.3.2).

5.2.1 Leerlingengesprekken (1982-1984)

5.2.1.1 Gedurende welke jaren werden opnamen gemaakt?

In 1981 werd het plan voor het onderzoek opgevat. Het verzamelen van materiaal en het maken van aantekeningen van mijn klasse-ervaringen gebeurde vóór die tijd niet systematisch. Ik begon op het einde van het schooljaar 1981-1982 gesprekken van leerlingengroepjes bij het werken met het kwantitatieve deel (= K-deel) op te nemen op geluidsband. Ook probeerde ik dagelijks zoveel mogelijk aantekening te houden van dat wat in de les was voorgevallen. Dit betrof o.a. mijn gesprekjes met leerlingengroepjes en mijn indrukken van de wijze waarop zij aanspreekbaar (b)leken voor de onderwijstekst. Ik ging met het maken van opnames in de klassen voort tot het laatste jaar dat we met dit onderwijsaanbod werkten (schooljaar 1983-1984).

5.2.1.2 In welke klassen?

Als gevolg van de volgende drie redenen heeft het verrichte onderzoek niet het karakter van longitudinaliteit over een periode van meer dan één jaar:

1. leerlingen begonnen in 4 atheneum met het K-deel en werkten daarbij de eerste drie hoofdstukken door. In de vijfde klas volgden de overige hoofdstukken. Bij de overgang van de vierde naar de vijfde klas vond een herschikking plaats van de leerlingen over de nieuw gevormde klassen en clusters, zodat de leerling-samenstelling in de opeenvolgende klassen verschilde;
2. niet ieder hield scheikunde in het pakket;
3. de leerlingen formeerden zelf de groepjes, die overigens de rest van het jaar konstant bleven.

De enige vorm van longitudinaliteit bestaat erin dat ik de gesprekken van een groepje een aantal keren achtereen registreerde, óf die van een groepje opnam gedurende vrijwel de gehele periode dat de leerlingen met het K-deel werkten.

5.2.1.3 Bij welke leerlingengroepjes en waarom?

De taal die mij toentertijd ter beschikking stond om problemen bij of mijn indrukken tijdens het onderwijzen mee te beschrijven, was (meestal) die van een didactische leefwereld, galardeerd met woorden en uitdrukkingen die ik had leren kennen tijdens mijn werken met de betreffende leergang. Vaak zullen die toch als flardentaal hebben gewerkt, want ik bediende mij desondanks van uitdrukkingen als 'het werkt niet goed' of 'er is iets aan de hand maar ik weet niet precies wat'. Ik was niet in staat didactisch meer geanalyseerd met behulp van beschrijvende termen aan te geven wat de aard van de problemen kon zijn.

Het feit dat andere leraren die met hetzelfde leergangontwerp werkten soortgelijke ervaringen opdeden, steunde mij in zoverre dat ondervonden problemen niet persé alleen aan mij of alleen aan de leerlingen zouden liggen. Er was een intuïtieve overtuiging dat de oorzaak te vinden zou zijn in een samenhang tussen het onderwijsaanbod van de leergang en de manier waarop leerlingen en ik, als docent, erover spraken: *de structuur van de onderwijssituatie* (4.4).

Mijn vorderingen in mijn didactisch leerproces waren zowel van belang bij mijn spreken met de leerlingen als bij het aangeven van argumenten voor de keuze van de op te nemen gesprekken. Ik nam in het eerste jaar bij iedere les telkens een ander groepje op. Dit gebeurde niet alleen met het oog op het uittesten van de technische mogelijkheden van de apparatuur, maar ook omdat ik geen reden kon aangeven waarom ik het niet zo zou doen.

De jaren erna registreerde ik de gesprekken van minstens één vaste groep gedurende vrijwel de gehele periode dat zij met het K-deel werkten. Ik hoopte daarin later een ontwikkeling aan te kunnen wijzen in de gesprekken over langere termijn. Dit kan ik nu zien als een didactisch gezichtspunt. Mijn keuze voor het gespreksgroepje kwam tot stand op grond van de manier waarop het werkte in de klas. Ik lette er met name op of ze probeerden met elkaar te blijven spreken over de opdrachten en niet te snel vervielen in welles-nietes argumentaties of mij er bijhaalden om 'het voor hen op te lossen'.

5.2.1.4 Motieven voor het uitschrijven van leerlingengesprekken

Vanwege de overvloed aan bandmateriaal moest een keus worden gemaakt wat in aanmerking kwam voor het geheel of gedeeltelijk uitschrijven. Mijn aanvankelijke aandacht in dit onderzoek is gericht op het aanwijzen van de overgang van een beschrijvend naar een beschouwend niveau. Het lag daarom voor de hand die gesprekken nader onder de loupe te nemen waarvan ik vermoedde dat zo'n overgang daar een rol zou kunnen spelen. Dit betrof allereerst die waarin een aanvang werd gemaakt met het afleiden van kwantitatieve formules van stofindividueen in gasvorm. Deze vonden plaats een paar maanden nadat de leerlingen in de vijfde klas kwamen.

Een tweede reeks onderzochte gesprekken vond plaats op het einde van de vierde klas. Ik noemde de aan de orde zijnde problematiek die van 'het derde equivalentgetal' en daarmee bedoelde ik het equivalentgetal dat hoort bij bijvoorbeeld het redoxkoppel ferro/ferri [chemisch: ijzer(II)/ijzer(III); er is gekozen voor ferro/ferri omdat de naamgeving kwalitatief is bedoeld]. We kunnen namelijk niet alleen letten op de massaverhouding waarin de *stof* ijzer met een oxidator reageert tot de toestanden ferro en ferri, maar ook op die waarin het *element* ijzer met een oxidator verandert van ferro in ferri.

Leerlingen bleken met kwantitatieve aspecten inzake het redoxkoppel ferro/ferri elk jaar veel problemen te hebben. Bij mij ontstond daardoor het idee dat de ontwerpers een of meer aspecten van een overgang naar een beschouwend niveau ter zake van reageren volgens equivalenten mogelijk niet opgemerkt en bijgevolg niet in hun opdrachten verwerkt hadden.

5.2.2 De Amersfoortse groep (1978-1982)

In 3.3.2 noemde ik reeds "de Amersfoortse groep", enige scheikunde-leraren en chemie-didaktici die zich bezig hielden met de 'WEI-leergang'. Ik hoorde daar ook toe. In 3.3.3 besprak ik protocol 2 dat een gedeelte weergeeft van het eerste gesprek, op 20 mei 1978, over kwantitatieve aspecten van de chemische reactie gezien vanuit empirisch chemisch, dan wel vanuit chemie-didactisch gezichtspunt. In relaas 5 (2.1.2), relaas 6 (2.2.1) en protocol 1 (2.2.2) kwam deze groep ook ter sprake. Vanaf mei 1978 tot en met april 1982 hield hij ongeveer dertig bijeenkomsten. Uit deze samenspraken is mijn onderzoek voortgevloeid.

De gesprekken van de Amersfoortse groep werden meestal opgenomen op geluidsband. De banden van die gesprekken waarvan de deelnemers het gevoel hadden dat er bijzondere zaken ter sprake waren geweest, zijn geheel of gedeeltelijk uitgeschreven. Ik gebruikte hiervan in de protocollen 1 en 2 al twee gedeeltes. De overige, niet uitgeschreven, opnamen zijn destijds vaak gebruikt voor het maken van een verslag van de bijeenkomst.

De indertijd verkregen protocollen werden niet uitvoerig bestudeerd, maar dienden als middel om elkaar b.v. *aan te wijzen* wat met bepaalde uitspraken werd bedoeld, of waar een belangrijke wending in het gesprek plaats greep.

De mensen van de Amersfoortse groep spraken elkaar naast de plenaire bijeenkomsten soms als kollega scheikunde-leraren op een school, of 'bilateraal'

per telefoon. We vinden een doorwerking van de bijeenkomsten ook in het maken van een verslag of in het opstellen van een persoonlijke of (sub)groepsnotitie. Het bespreken van Paul's notitie (3.3.4) betekent dat ik zulke schriftelijke stukken ook tot het onderzoeksmateriaal reken. Redenen zijn dat daarin de meningsvorming verder gaat en dat ze een rol speelden in onze taalvorming. Mede door deze stukken was er sprake van een **durend gesprek** tussen de groepsleden (Ten Voorde, 1977, band 1, p. 482).

5.3 De gespreksthema's zoals neergelegd in leergangontwerpen

Chemisch gezien gaat het in mijn onderzoek om de vraag hoe te komen tot kwantitatieve formules met gebruikmaking van het begrip element. Daarom zal ik eerst iets zeggen over "toestandsverandering van een element". Hoe versta ik deze term? Het lijkt wel een *contradictio in terminis* (5.3.1).

In 5.3.3 komt het leergangontwerp aan de orde, dat handelt over kwantitatieve betrekkingen bij chemische reacties, voorzover het voor mijn onderzoek relevant is. Ik trof als leraar dit zogenoemde K-deel, aan op de school waar ik werkte. In 5.3.4 bespreek ik mijn bewerkingen ervan. In 5.3.2 geef ik een overzicht van de leergangontwerpen die aan het K-deel vooraf zijn gegaan.

5.3.1 Toestandsverandering van een element

Zojuist opperde ik dat "toestandsverandering van een element" een *contradictio in terminis* kan lijken. Om dit én mijn ontkenning ervan te verduidelijken, wil ik eerst kort iets zeggen over het begrip 'element' zoals ik het versta. Want ik sprak reeds over 'massabehoud voor elk elementindividue bij de chemische reactie' (3.1.2) en over 'maximaal verdeeld element' (3.3.4), maar zei nog niets over 'element' als zodanig.

Hooykaas (1947b) heeft erop gewezen dat Mendelejeff een scherp onderscheid maakte tussen de begrippen "eenvoudige stof" en "element". Hij citeert Mendelejeff o.a. aldus: "Vele eenvoudige lichamen komen in verschillende modificaties voor, *terwijl een element, naar het begrip, iets is, dat geen verandering ondergaat*" ... "Kool, grafiet en diamant zijn *verschillende*, maar toch *eenvoudige* stoffen, terwijl hun element steeds dezelfde koolstof is" ... Volgens Mendelejeff, aldus Hooykaas, zijn de meetbare eigenschappen van een element, waardoor elementindividue zich van elkaar onderscheiden, "vooral *atoomgewicht* en *valentie*." Als iemand bezwaar mocht maken tegen de term "atoomgewicht" omdat die de atomistische hypothese vooronderstelt, suggereert Mendelejeff in plaats daarvan "elementairgewicht". Hooykaas zelf zegt:

"De eenvoudige stof is een empirisch-chemisch ervaringsobject, een chemisch individu; het element is een abstractie, geen direct ervaringsobject, maar de veronderstelde oorzaak van eenvoudige stoffen (allotrope vormen: grafiet en diamant; polymere vormen: O₂ en O₃) en chemische verbindingen beiden. De koolstof is niet zwart en niet wit, niet hard en niet zacht, niet vast en niet vloeibaar, maar zij is wel vierwaardig en heeft het atoomgewicht 12."

Ook bij Ten Voorde meen ik, net als bij Mendelejeff, te beluisteren dat 'element', naar het begrip, iets is dat geen verandering ondergaat. Hij schrijft (Ten Voorde, 1977, p. 434):

"Het begrijpen van 'verdwijnen, maar niet spoorloos' is niet mogelijk met het begrip 'enkelvoudige stof', zolang dit nog een begrip B[beschrijvend niveau] is. Bij bespreken van de samengesteldheid moet 'enkelvoudige stof' dus vervangen worden door een nieuw begrip ofwel principe: chemisch element. Met behulp van dit principe kan dan een c e n t r a l e h y p o t h e s e worden geformuleerd: elementen blijven behouden. 'Niet-spoorloos-verdwijnen' wordt pas begrijpelijk vanuit deze hypothese (T) [= beschouwend niveau]."

Even verder zegt hij (p. 436):

"Relaties zoals: 'verdwijnen van een reagens' en 'ontstaan van (de bijbehorende) enkelvoudige stof' worden daardoor beschrijfbaar Van deze (benoemde) relaties kan nu de structuur worden beschouwd op grond van de hypothese: behoud van element"

Ook in 1984 spreekt hij zich in deze zin uit (Ten Voorde, 1984, p. 113):

" "Grundstoff" benennt dann allerdings etwas, das weder verschwinden noch entstehen kann. Um dies zum Ausdruck zu bringen und um den vielleicht irre-führenden Wortteil "...stoff" zu eliminieren, können wir in diesem Kontext "Grundstoff" durch "**Element**" ersetzen."

We zien hieruit dat wij met 'element' iets uitdrukken dat bij de chemische reactie:

- geen verandering ondergaat (Mendelejeff);
- behouden blijft oftewel noch verdwijnen noch ontstaan kan (Ten Voorde).

Is daarmee de titel van een hoofdstuk uit het S-deel: "De chemische toestandsverandering van een element" (Ten Voorde, 1977a, p. 90) niet in strijd? Kan iets dat "geen verandering ondergaat" veranderen? Om een antwoord op deze laatste vraag te geven, ga ik summier na hoe in deze leergang 'toestandsverandering van een element' aan de orde wordt gesteld. In het kader van mijn onderzoek ga ik er in 6.1.1 nog nader op in.

In het hoofdstuk uit de leergang dat voorafgaat aan het zojuist genoemde, worden de begrippen oxidatie, reductie en redoxkoppel heel concreet gekoppeld aan beschrijfbare veranderingen in galvanische cellen. Deze betekenisomschrijving is gekoppeld aan een bepaalde richting van de elektrische stroom. Als bijvoorbeeld een koperelektrode wordt geoxideerd, krijgt de oplossing rond de elektrode een specifieke groep eigenschappen die weer verdwijnt als aan de elektrode een reductieproces optreedt waarbij opnieuw koper ontstaat.

Vanwege dit niet-spoorloos verdwijnen van de enkelvoudige stof koper, dan wel van de specifieke groep eigenschappen van die oplossing, spreken de auteurs van de leergang van een "chemische toestandsverandering". Zij doen dit in analogie met de fysische toestandsverandering van water bij bevriezen of verdampen. De specifieke groep eigenschappen van de oplossing rond de koperelektrode wordt reagens 'geoxideerd koper' genoemd. In de leergang staat dan:

"De samenhang tussen onze ervaringen met de enkelvoudige stof 'koper' en het reagens 'geoxideerde koper' enerzijds en die tussen de enkelvoudige stof 'zwavel' en het reagens 'gereduceerde zwavel' anderzijds duiden we aan met de term: element. Men heeft elk element dezelfde naam gegeven als zijn grondtoestand."

Zo beschreven, duidt 'element' aan wat bijv. 'koper' en 'geoxideerd koper' gemeenschappelijk hebben, en wat deze twee groepen eigenschappen onderscheidt van bijvoorbeeld de groep eigenschappen aangeduid met 'geoxideerd zink'. (De leerlingen moesten eerder de vraag beantwoorden: "Kun je 'geoxideerd zink' veranderen in 'geoxideerd koper'? Hoe?") In die formulering heb ik geen moeite met het gebruik van 'element' als iets dat geen verandering ondergaat en beschouw ik haar analoog met: we duiden onze ervaring met de samenhang tussen de fysische stoffen ijs en waterdamp aan met de term 'de chemische stof water' (2.2.1).

Nu kan ik ook met termen die ik in hoofdstuk 3 invoerde, onder woorden brengen dat ik "toestandsverandering van een element" niet zie als een contradictio in terminis. Gelet op de invoering in de leergang interpreteer ik deze uitdrukking als een gereduceerde formulering (3.3.5), een verkorte weergave van min of meer uitgebreide ervaring. Ik zie daarbij "chemische toestandsverandering" als een overkoepelende structuur in een beschrijvend niveau, terwijl ik de samenhang die in de term 'element' is weergegeven, reken tot een beschouwend niveau (3.3.4).

Ik kom door bovenstaande overwegingen wel tot de konklusie dat ik bij mijn onderzoek van onderwijs gesprekken verdacht zal moeten zijn op het gebruik van "toestandsverandering van een element" als 'niet-legitiem gereduceerde taal' (3.3.5).

5.3.2 Ontwerpen voorafgaande aan het K-deel

Ten Voorde (1977, p. 265-310) beschrijft hoe hij in het kader van zijn onderzoek het zogenoemde S-deel van de WEI-leergang (4.1.2) ontwikkelde. S staat voor "Systematische cursus" (p. 268). Hierin komt, chemisch gezien, slechts kwalitatieve scheikunde aan de orde. Ik schreef reeds in 2.3 dat dit, gezien de omvang van zijn onderzoek, een noodzakelijke beperking was. In aansluiting op het S-deel, en zo goed mogelijk gebaseerd op dezelfde principes, is in 1971-1972 het K-deel door Koets, De Miranda en Van Sprang ontworpen. K staat hier voor kwantitatieve chemie.

Voordat het S en K-deel waren ontwikkeld bestond al "Inleiding tot de Scheikunde" geschreven door De Miranda "met medewerking van een werkgroep van scheikunde-leraren". Een overzicht van de achtereenvolgende versies van deze Inleiding geeft Ten Voorde (1977, p. 233, 2.A.31). In de daar genoemde leergang L6, deel 2, geschreven door De Miranda en Ten Voorde, handelen resp. hoofdstuk XII t/m XV over "Kwantitatieve regelmaat bij chemische reacties", "Chemische formules", "Een nieuwe eigenschap van vluchtige stoffen" en "Formulebepaling". In de tekst zijn mede inzichten verwerkt zoals Roest (1963) die gaf in zijn "Algemene Scheikunde".

In de volgende en laatste omwerking, L7, van de hoofdstukken XII t/m XV (Ten Voorde, 1977, p. 230, 2.A.46):

"... komen De Miranda en Ten Voorde ertoe, om waar nodig in het kwantitatieve deel beter bruikbaar geachte termen te gaan gebruiken. Kriterium hierbij is dat de term bruikbaar - en aansluitend op de leefwereld van de leerlingen - moet zijn om hun ervaringen te verwoorden.

Onder meer worden de volgende termen dan ingevoerd: chemische verdunbaarheid, maximale chemische verdunbaarheid, formulehoeveelheid, formulegetal, elementhoeveelheid, elementgetal, equivalentgetal, formulemassa, formulevolume."

Beide leergangen, L6 en L7, worden gekenmerkt door een leestekst, telkens onderbroken door één of enkele opdrachten. (U treft in Ten Voorde (1977a, p. 51) een voorbeeld aan van een paragraaf uit het kwalitatieve deel van L7.)

Zoals gezegd concipieerden De Miranda en Ten Voorde, ten behoeve van het onderzoek van laatstgenoemde, na L7 het S-deel. De auteurs brengen in de tweede omwerking hiervan vrij ingrijpende veranderingen aan (Ten Voorde, 1977, p. 270):

"b Het onderwijzen wordt nu hoofdzakelijk in werk- en gespreksgroepjes van leerlingen georganiseerd. Daarom moet in de formulering van de opdrachten worden geanticipeerd op een verandering van aanspreekbaarheid van leerlingen. Immers er treedt een verschuiving in de wijze van leiding geven op, nl. de directe leiding door de leraar maakt meer en meer plaats voor de indirecte leiding via de opdrachten. In de formulering van de opdracht moet de beoogde onderwijsfase dus worden ingebouwd.

c Om (eigen) explicitering te bevorderen, verdwijnen de stukken tekst. De opdrachtschrijver kan (en mag!) immers de ervaringen van leerlingen niet voor-zeggen (dus geen stukjes tekst, die bedoeld zijn als een soort samenvatting). Om de wederzijdse informatie te bevorderen worden de stukjes tekst aan het begin van een paragraaf weggelaten en wordt gepoogd deze informatie in de vorm van opdrachten te verbeteren. ...

d Overnemen van 'vaktermen' (d.i. vaktaal van leraar-ontwerper;) via stukjes tekst, wordt vervangen door aanreiken van termen in opdrachten. Verandering in het woordgebruik, waarin de opdrachten worden geformuleerd, gaat een belangrijke rol spelen om niveauverhoging te realiseren (d.i. indirecte leiding)."

5.3.3 Het K-deel

De zojuist geciteerde overwegingen werden ook gebruikt bij het ontwerpen van het K-deel. Andere die Ten Voorde verder ter plaatse noemt, werden hoogstens veronderstellender wijze meegenomen omdat voor een explicietere hantering daarvan voorafgaand didactisch onderzoek nodig is en het een eerste ontwerp in betref volgens de genoemde gezichtspunten.

Nu volgt een schets van vooral de chemische problematiek die in de eerste zeven hoofdstukken van het K-deel, genoemd K 1 t/m K 7, aan de orde wordt gesteld. Hieraan ligt de bijstelling van het oorspronkelijke ontwerp ten grondslag zoals Van

Sprang die formuleerde onder de codering WEI-S-75. Op deze K-editie zijn mijn bewerkingen gebaseerd.

De inhoudsopgave van dit K-deel, de motto's waarmee K 1 t/m K 7 beginnen, en de titels van de eerste vijf tabellen (KT 1 t/m KT 5) staan vermeld in bijlage 2. In bijlage 3 zijn de teksten van enige, hieronder of in de motto's genoemde opdrachten bijeengebracht. Deze teksten en die van de motto's geven een indruk van de wijze waarop de leerlingen in het K-deel werden aangesproken.

Bij doorlezen van de hoofdstuktitels en de motto's van K 1 t/m K 7 (bijlage 2) blijkt dat, uit chemisch gezichtspunt, de kern van dit gedeelte van de leergang voor de ontwerpers is geweest het langs empirische weg komen tot:

- één massagetal voor een elementindividue, het 'elementgetal' (relatief atoomgewicht);
- valenties van metalen;
- formules van stofindividueen in gasvormige toestand;
- reaktievergelijkingen van eenvoudige redoxreacties¹ en van gasreacties.

K 1 t/m K 4 zijn te zien als een soort 'inleiding', waarin aan de hand van 'eenvoudige' redoxreacties equivalentgetallen van toestandsveranderingen geleidelijk een begrip kunnen worden. Uit de titel van K 5 blijkt dat de ontwerpers ervoor hebben gekozen eerst elementgetallen van metalen aan de orde te stellen. Hiervoor wordt de regel van Dulong en Petit² gebruikt, de regel van de 'konstante' warmtecapaciteit per elementhoeveelheid³ van de enkelvoudige stofindividueen in vaste toestand. Ik kom daar zo dadelijk op terug. Pas daarna wordt aandacht besteed aan de elementgetallen van niet-metalen m.b.v. regelmaat beschreven bij de één-tot-één gasreactie (3.3.4). Dat was, zoals mij persoonlijk is meegedeeld, geen principiële keuze. Voor de ontwerpers is het wel belangrijk dat in de laatste opdracht van K 7 (K7-12, bijlage 2) aan de orde komt dat de elementgetallen numeriek op elkaar zijn af te stemmen door die van zwavel en van arseen omdat deze langs beide wegen afzonderlijk kunnen worden bepaald.

Naast deze schets in grote lijnen wil ik nog enkele, min of meer losse opmerkingen over K 1 t/m K 7 maken. In de hoofdstukken 6 en 8 van dit proefschrift ga ik in verband met mijn analyse van leerlingenprotokollen uitvoeriger op een aantal opdrachten in.

In het motto van K 1 wordt de term 'reagens' gebruikt. Zoals in de leergang met (chemische) 'stof' een groep samenhangende, chemische stofindividue-eigenschappen wordt bedoeld (vgl. 2.2.1) zo duidt 'reagens' een groep samenhangende, chemische eigenschappen van een elektrolyt-oplossing aan; bijv. het reagens 'geoxideerd koper' (zie verder 5.3.1).

In K1-2, speciaal vanaf onderdeel e), wordt elementmassabehoud geproblematiseerd met als konklusie dat dit behoud de eenvoudigste veronderstelling is. Zoals uit de tekst van K1-2a blijkt, worden experimenten beschreven, niet zelf gedaan. Nog afgezien van de uitvoerbaarheid van de beschreven experimenten door leerlingen, gingen de ontwerpers er vanuit dat na het doorwerken van het S-deel de leerlingen aanspreekbaar zouden zijn voor een geschematiseerde proefbeschrijving.

Overigens waren ook overwegingen van beschikbare lestijd een reden om te kiezen voor deze opzet.

K 1 eindigt met de wet van Proust (K1-6; zie 3.3.1). In K2-3 wordt aan de orde gesteld dat de 'reeks' van (massa)verhoudingsgetallen bij eenvoudige redoxreacties geen logisch gevolg is van de wet van Proust. In K 4 wordt nader ingegaan op het waarom van het bestaan van deze reeks van massaverhoudingsgetallen. In het S-deel werd al een voorstelling ontwikkeld van elektriciteitsoverdracht bij redoxreacties. In K4-9a is sprake van "het stromingsmodel van de elektriciteit". Hiermee wordt een in de voorgaande opdracht ontwikkelde analogie bedoeld tussen de 'elektriciteits'-stroom in het lichtnet en de waterstroom in de waterleiding thuis. In de tekst van die opdracht wordt gesuggereerd dat het feit dat de verbruikte hoeveelheid van resp. 'elektriciteit' en 'water' op een centraal punt kan worden gemeten, berust op de wet van behoud van resp. 'hoeveelheid elektriciteit' en massa. Op grond van dit model kan worden verwacht dat de massaverandering van anode en kathode van de zilvecoulometer gelijk zal zijn. Dat het een zilvecoulometer betreft, is uiteraard voor de opgezette redenering niet essentieel. Op die informatie mikt onderdeel e).

In K4-12 wordt de konsekventie getrokken van de voorstellingen van elementmassabehoud en van elektriciteitsoverdracht bij een redoxreactie: aan elektriciteit kan binnen dit model geen massa worden toegekend.

In een, in gedeelten aan de leerlingen uitgereikte handreiking voor het maken van een overzicht van het K-deel, stond ten aanzien van de reeks van massaverhoudingsgetallen van redoxkoppels de volgende tekst met opdrachten:

"c.- Overdragen betekent? (K4-8)

d.- Kun je je voorstellen dat voor de reductie van het element D van D^0 tot D^- voor iedere gram een andere hoeveelheid elektriciteit nodig is?

Aangezien we ons niet anders kunnen voorstellen dan dat elektriciteitsoverdracht een stofeigenschap van een bepaald redoxkoppel is, moet bijvoorbeeld gelden: Bij de toestandsverandering van het koppel A^0/A^+ resp D^-/D^0 resp. E^0/E^+ resp. G^-/G^0 wordt p resp. q resp. r resp. s Coulomb per gram overgedragen. Hierbij zal i.h.a. gelden $p \neq q \neq r \neq s$.

e.- In welke massaverhouding kunnen deze elementen de binaire stoffen (A,D), (A,G), (E,D) en (E,G) vormen?

De antwoorden bij e gevonden, laten zich beslist niet eenvoudig tot één reeks van massaverhoudingsgetallen combineren (K2-3). Dit zou uitgelegd kunnen worden als een aanwijzing dat de gram voor de chemie misschien niet zo'n geschikte massa-eenheid is. ...

We kunnen verwachten dat het bij een redoxreactie veel relevanter zal zijn om de massa van het element af te stemmen op de hoeveelheid elektriciteit die wordt

overgedragen dan omgekeerd, zoals hierboven. Dit kunnen we aldus tot uitdrukking brengen:

bij de toestandsverandering van de zojuist genoemde koppels is a resp. d resp. e resp. g gram nodig om één Coulomb over te kunnen dragen.

f. - Beantwoord opnieuw vraag e.

Uit de antwoorden bij f zien we dat de beschouwing van de redoxreactie als elektriciteitsoverdracht én de hypothese van de massaloosheid van elektriciteit als gevolg hebben dat voor deze reacties moet gelden:

- de wet van Proust;

- het bestaan van één reeks van massaverhoudingsgetallen van redoxkoppels.

...

Bij een reeks van verhoudingsgetallen wordt eigenlijk altijd één van de getallen als 1 gekozen. Wij hebben afgesproken: kies het kleinste als 1. De bij deze keuze behorende verhoudingsgetallen noemen we equivalentgetallen (G)."

We kunnen opdracht d) in dit citaat zien als een modifikatie van de redenering, gegeven in 3.1.4 waarbij we uit het 'homogeen zijn' van een samengesteld stofindividu besluiten tot zijn konstante samenstelling uit de betrokken enkelvoudige stofindividen. Na opdracht e) preluderen de auteurs op wat later in de leergang 'formulehoeveelheid' en 'elementhoeveelheid' heet.

Inzake het begin van K 5 lezen we in deze handreiking o.a.:

"De kwantitatieve betekenis van het elementsymbool

Herlees het motto van K 5. In een reactieschema beelden we het elementbehoud af doordat het elementsymbool links én rechts in het schema voorkomt. Willen we nu ook de hypothese van het massa-behoud van het element in het reactieschema afbeelden, dan zullen we aan het elementsymbool ook een kwantitatieve betekenis, en niet meer dan één, moeten geven. Het equivalentgetal komt hiervoor niet in aanmerking omdat verschillende elementen er meer dan één hebben.

De gedachtengang ontwikkeld in K5-1 t/m 3 komt hier op neer:

1^o In principe kan elk getal als kwantitatieve betekenis van het elementsymbool gebruikt worden. Dit getal noemen we het elementgetal (E). Berzelius koos aanvankelijk 100 als elementgetal voor zuurstof.

2^o Daar de massaverhouding waarin elementen reageren, bepaald wordt door hun equivalentgetallen, ligt het wel voor de hand het verband (v) tussen E en G zo eenvoudig mogelijk te kiezen.

3^o Onafhankelijk van de keuze van E blijkt de verhouding van de v -waarden bij elementen met drie chemische toestanden in zeer goede benadering een verhouding van eenvoudige gehele getallen te zijn (K5-2g).

4^o Chemici zijn de in 3^o bedoelde verhoudingsgetallen als gehele getallen gaan beschouwen (K5-2f).

5^o Bij de keuze 'E = de grootste G', worden in dit model (bedoeld is de beschouwing genoemd in 4^o) de ν -waarden zélf gehele getallen.

Valentie

Hoort een verband, bepaald volgens 5^o, bij een toestandsverandering waarbij de grondtoestand betrokken is, dan noemen we dit verband valentie. Is ten opzichte van de grondtoestand de andere een gereduceerde/geoxideerde toestand dan krijgt de valentie een -/+ teken.

De valentie schrijven we als rechtsbovenindex bij het elementsymbool.

Voorafgaand aan K5-6, waar de regel van Dulong en Petit ter sprake komt, lezen we dan:

"We hebben in het voorgaande bepaalde voordelen van de invoering van het elementgetal leren kennen, maar een wezenlijke rol speelt dit daarbij niet. Uiteindelijk ging het steeds om de equivalentgetallen. In dit verband was het handig het grootste equivalentgetal als elementgetal te kiezen. We hebben nog geen kwantitatieve regelmaat leren kennen waarbij het in de eerste plaats om het elementgetal gaat. Toch kent men al lang een kwantitatieve eigenschap van vele enkelvoudige stoffen waarbij de mooiste regelmaat in de grootte van deze eigenschap te voorschijn komt als we het elementgetal erbij betrekken. Deze eigenschap, de soortelijke warmte, willen we nu gaan beschouwen. Het is een fysische eigenschap."

Van K5-6 wil ik niet de opbouw uit tien deelopdrachten beschrijven, slechts aanduiden hoe de regel van Dulong en Petit wordt gebruikt om uit experimenteel bepaalde equivalentgetallen (G) elementgetallen (E) te berekenen. In KT - 2 is voor alle enkelvoudige stoffen die in KT - 1 voorkomen, ook opgenomen de warmtecapaciteit per gramequivalent (C_g) bij kamertemperatuur. Bij elementindividuen met meer dan één equivalentgetal dus meer dan één waarde. Bij de metalen blijkt nu dat er vier groepen met waarden zijn te onderscheiden. Dit wordt nog duidelijker als een figuur wordt gemaakt waarin C_g is uitgezet 'tegen' de afzonderlijke elementindividuen in bijvoorbeeld alfabetische volgorde. Hierin zijn vier 'banden' te zien. De 'konstante' warmtecapaciteit per elementhoeveelheid (C_e) is ongeveer 6,1 cal per graad Celsius. Nu blijkt de verhouding tussen C_e en C_g vrijwel gelijk te zijn aan een geheel getal. We kunnen het dichtstbijzijnde gehele getal (1, 2, 3, 4) zien als de absolute waarde van de valentie ν . Dan is $E = \nu \cdot G$.

In K5-10 passen de leerlingen de regel van Dulong en Petit toe op de niet-metallische, enkelvoudige stofindividuen die voorkomen in KT - 2 en die bij kamertemperatuur vast of vloeibaar zijn: arseen, broom, diamant en grafiet, jood en zwavel. Arseen en zwavel blijken in het patroon van Dulong en Petit te vallen.

De inhoud van K 6 en K 7 is in feite bij alle beschouwingen over gasreacties die ik reeds gaf, al voldoende aan de orde gekomen. Alleen het begrip "verdunbaarheidsformule" uit de titel van K 7 behoeft m.i. enige toelichting. In 3.3.4 kwam bij de één-

tot-één gasreactie ter sprake dat voor een elementindividu in een bepaalde stof A q/p een bepaalde, maximale waarde heeft. Als q/p groter is dan één, spreken de auteurs over het chemisch verdunnen van het betreffende elementindividu. Zij noemen de maximale waarde van q/p de (chemische) verdunbaarheid van dat elementindividu in stof A. Met "verdunbaarheidsformule" van een stofindividu in gasvorm bedoelen zij een formule die is afgeleid op grond van gemeten volumeverhoudingen bij één-tot-één gasreacties waaraan dit stofindividu deelneemt. Gangbaar chemisch gesproken, wordt dit een molekuulformule genoemd.

5.3.4 Mijn bewerkingen van het K-deel inzake de één-tot-één gasreactie

5.3.4.1 Van Dulong en Petit naar de chemische wet van Gay-Lussac

In 5.3.3 citeerde ik het volgende gedeelte uit de handreiking die aan de leerlingen was gegeven om hen een overzicht te laten maken van het K-deel:

"De kwantitatieve betekenis van het elementsymbool

Herlees het motto van K 5. In een reactieschema beelden we het elementbehoud af doordat het elementsymbool links én rechts in het schema voorkomt. Willen we nu ook de hypothese van het massa-behoud van het element in het reactieschema afbeelden, dan zullen we aan het elementsymbool ook een kwantitatieve betekenis, en niet meer dan één, moeten geven. Het equivalentgetal komt hiervoor niet in aanmerking omdat verschillende elementen er meer dan één hebben."

Via een reeks opdrachten (zie 5.3.3) kwamen de auteurs in K 5 tot de konklusie:

"We hebben in het voorgaande bepaalde voordelen van de invoering van het elementgetal leren kennen, maar een wezenlijke rol speelt dit daarbij niet. Uiteindelijk ging het steeds om de equivalentgetallen. In dit verband was het handig het grootste equivalentgetal als elementgetal te kiezen. We hebben nog geen kwantitatieve regelmaat leren kennen waarbij het in de eerste plaats om het elementgetal gaat."

Als ik nu deze regels lees, kan ik hierin een aantal problemen herkennen die ik destijds ervoer. Bij het ontwerpen van een leergang komen de ontwerpers niet alleen te staan voor de vraag wat zij aan de orde zullen stellen maar ook hoe en vanuit welk groter geheel gezien. Voor de auteurs van het K-deel was het streven te komen tot één kwantitatieve betekenis voor ieder elementsymbool. Ik zie dat nu als het pogen te komen tot een chemisch atoom. In de jaren dat ik met het K-deel werkte, zag ik dat nog niet en ervoer het werken met element- in plaats van equivalentgetallen alleen als *een andere berekeningswijze*.

Daarnaast werd mijn moeite bij het onderwijzen met K 5 versterkt doordat ik daar geen *chemische* reden zag vanuit *een ander gezichtspunt* kwantitatieve regelmaat bij reacties onder woorden te gaan brengen. Bijgevolg overheerste voor mij het aspect dat "*het handig [was] het grootste equivalentgetal als elementgetal te kiezen*". Mij ontging toen dat impliciet aan deze keuze het innemen van een beschou-

wend gezichtspunt ten grondslag ligt, namelijk element zien als in kwanta voorkomend.

Mijn chemisch leerproces was dus nog niet voldoende ver gevorderd om de leerlingen adequaat te kunnen begeleiden. Niet alleen ik als chemicus ondervond met dit hoofdstuk moeilijkheden. Ook leerlingen hadden er in de klas veel moeite mee. Uit gesprekken met andere leraren, die met dit onderwijsaanbod werkten, kwam naar voren dat ook zij dergelijke problemen ervoeren. Daardoor zagen wij deze op de eerste plaats als een gevolg van de onderwijstekst en niet als gevolg van ons onvoldoende gevorderd chemisch en didactisch leerproces.

Naar mij persoonlijk is medegeedeeld, was één van de redenen om het elementgetal te introduceren aan de hand van de metalen het feit dat leerlingen al een uitgebreide ervaring hadden opgedaan met kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van redoxreacties. K 5 sloot daarbij aan. Probleem was dat het elementgetal daarbij geen wezenlijke rol speelde. Ik voelde dit aan als het ontbreken van een vraagstelling die is gericht op het invoeren van een dergelijk elementgetal. Nu wil ik dat formuleren als het missen van een vraag die is gericht op een overgang van een beschrijvend naar een beschouwend niveau.

In 3.3.3 onderstreepte ik het belang dat er voor leerlingen een reden is anderzortige vragen te gaan stellen en gaf aan dat ik een dergelijke reden zag in de vraag omtrent het niet-voorkomen van bepaalde volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie. Onder invloed van de gesprekken in de Amersfoortse groep begon ik het deel van de leergang te herschrijven waarin kwantitatieve formules worden afgeleid. Ik haalde het gedeelte naar voren waar regelmaat in volumeverhoudingen de grondslag vormt voor formules van stofindividueen in de gasfase (1.1, 2.1.2, 3.3.2).

Deze manier om te komen tot formules voor stofindividueen voldoet niet voor stofindividueen die niet of pas bij zeer hoge temperatuur in gasvorm zijn te brengen. De leerlingen hebben tot nu toe de ervaring opgedaan dat de fase van een stofindividueen geen reden is voor verschil in chemische stofindividue-eigenschappen. Ik ging er daarom in de leergang vanuit dat ook voor stofindividueen in de vaste of vloeibare fase een afbeelding van kwantitatieve regelmaat in formules mogelijk zal zijn. Ik zette deze stap mede onder invloed van bestaande tijdsdruk.

In plaats van een intensieve discussie over de verhouding tussen de equivalentgetallen bij de metalen stelde ik in de leergang dat, net als bij het reeds ter sprake gekomen waterstof, chloor, zuurstof en zwavel, ook voor ijzer, koper, kwik e.d. één samenbundelend elementsmassaverhoudingsgetal zou bestaan. De grootte ervan kon worden gevonden op grond van de in de wet van Dulong en Petit vervatte regelmaat omtrent de soortelijke warmte. Ik was van mening dat de leerlingen na een eerste ervaring met een kwantum-opvatting t.a.v. element, ervoor aanspreekbaar zouden zijn, dat een dergelijke visie ook in andere gevallen op zou gaan.

5.3.4.2 Volumeregelmaat en haar gevolgen

Bij de omwerkingen kwamen in het begin drie tabellen aan de orde waarvan de eerste twee ook in het oorspronkelijke K-deel waren opgenomen (bijlage 4). De respektieve tabellen bevatten:

- 1) volumeverhoudingen tussen waterstofgas en daaruit te vormen met waterstof samengestelde stofindividueen in een één-tot-één gasreactie;
- 2) eenzelfde tabel als 1, alleen uitgebreid tot andere enkelvoudige stofindividueen in gasvorm;
- 3) volumeverhoudingsgetallen bij de één-tot-één gasreactie tussen stofindividueen die het element waterstof bevatten.

De eerste tabel is door mij in die zin veranderd dat ik meer probeerde te spreken in termen van volumeverhoudingen. U kunt de veranderde tabel 1 vinden in bijlage 7. De derde tabel is in essentie hetzelfde als de matrix uit 3.3.4, alleen zijn p en q vervangen door namen voor stofindividueen. Na de derde tabel komt een vraag naar de erin vervatte regelmaat welke kan worden geschreven als $n : m$ (n = nummer rij, m = nummer kolom). Ik schreef hierover in 1979 (een soortgelijke formulering staat in de ontwerpen uit 1980 en 1982):

"De in 9. gevonden regelmaat is bijzonder, maar behoeft ons niet te verbazen. Het blijkt namelijk een direkt gevolg te zijn van het bestaan van de wet van Gay-Lussac."

Ik meende hiermee in een beschrijvende taal de extra volumeregelmaat weer te geven. In 3.3.4 is uiteengezet dat een verklaring voor deze volumeregelmaat in feite vereist dat een beschouwend gezichtspunt wordt ingenomen. Ik had daar in 1979-1982 nog geen oog voor en het leek mij destijds verantwoord om vervolgens te schrijven:

"Als je nu de getallenrijen uit de tabel vergelijkt met de getallen die kunnen ontstaan, dan vallen de volgende zaken op:

- er is voor iedere elementengroepering een bepaald maximum aan de volumeverhouding
- bij elke elementengroepering vind je niet alle mogelijke getallen voor de volumeverhoudingen, maar slechts die rij, die je krijgt door de maximumwaarde te delen door de rij van de gehele getallen."

In dit stukje onderwijstekst staat "*elementengroepering*". Ik bedoelde daar een stofindividuee mee, maar opgevat als groep elementindividueen. Wij waren deze term in de besprekingen in de Amersfoortse groep gaan gebruiken, omdat wij hem geschikt achtten in een beschouwende redenering.

Een bezwaar tegen de zojuist geciteerde tekst is dat niet expliciet wordt vermeld dat het gaat om één-tot-één gasreacties. Zoals het nu is geformuleerd, heeft het weinig zin te spreken over 'een bepaald maximum van de volumeverhouding'. Bovendien wordt de toespitsing gemist dat het gaat om een elementindividuee in een 'elementengroepering'.

In het ontwerp 1979 vervolgde ik na het laatst geciteerde gedeelte met:

"Je kunt je nu afvragen, welke betekenis je hieraan kunt geven. Het feit, dat je voor elke elementengroepering een maximum vindt met zijn erbij behorende reeks van getallen, kunnen we als volgt interpreteren:

een elementengroepering kunnen we samengesteld denken uit een geheel aantal ondeelbare elementeenheden. Een chemische reactie = hergroepering van elementen wordt nu een hergroepering van eenheden.

Het aantal elementeenheden is gelijk aan het maximum dat de volumeverhouding ... volgens Gay-Lussac kan aannemen."

De eerste keer wordt 'element-eenheid' gebruikt in de betekenis van 'elementmassaportie'. De tweede keer betekent het echter 'elementmassaportie per standaardvolume'. Bovendien kan "... het maximum dat de volumeverhouding ... volgens Gay-Lussac kan aannemen." op leerlingen verwarrend overkomen. Dit kan namelijk gemakkelijk worden gelezen in de zin dat uit de wet van Gay-Lussac een bepaalde maximale volumeverhouding volgt en dat is niet waar. Ik bedoelde er echter mee dat de betreffende volumeverhouding in overeenstemming met de wet van Gay-Lussac als geheeltallig werd geschreven. Deze onderwijstekst verdient dus bepaald geen schoonheidsprijs.

Toentertijd dacht ik dat rond deze problematiek een beschouwend gezichtspunt pas een rol ging spelen op het moment dat "elementgroepering" als samengesteld uit "een geheel aantal ondeelbare elementeenheden" werd gezien. In 3.2.3 stelde ik de opvatting 'reageren volgens kwanta', aan de orde omdat ik die meende te lezen in de citaten van Cannizzaro en van Kekulé. Dit zit hier opgesloten in de koppeling van "ondeelbaar" aan "elementeenheid". De daartoe gegeven tabellen en erbij horende opdrachten t.a.v. volumeverhoudingen bij één-tot-één gasreactie-individueen zullen voor veel leerlingen te weinig informatie zijn geweest om een directe ervaring met 'reageren volgens gehele getallen' tot stand te brengen.

De zojuist uitgesproken verwachting baseer ik op het gegeven dat het niet alleen gaat om een structurering van opdrachten naar een onderscheid tussen een beschrijvend en een beschouwend niveau, maar ook om een structurering in het onderwijsaanbod die wordt aangeduid met **onderwijsfasen** (Ten Voorde, 1977, p. 144). Daaronder wordt het volgende verstaan:

- **informatie:** een bepaald probleemgebied wordt aangesneden. De opdrachten moeten leerling én leraar inlichten omtrent reeds bekende en nog onbekende relaties;
- **gebonden oriëntatie:** er wordt voorgeschreven wat de leerlingen moeten doen;
- **explicitering:** de leerlingen brengen de nieuwe relatie onder woorden;
- **vrije oriëntatie:** de leerlingen passen de gevonden relatie in een nieuwe situatie toe;
- **integratie:** het gekozen gezichtspunt is zodanig bruikbaar gebleken dat leerlingen het vanzelfsprekend in een nieuwe situatie toepassen.

Na de tabel met volumeverhoudingsgetallen bij één-tot-één gasreactie-individueen rond het element waterstof gaf ik weinig opdrachten die tot doel hadden dat de

leerlingen zich zouden oriënteren t.a.v. de gegeven getallen en mogelijke betekenissen ervan. Daarom verwacht ik dat de aangereikte tabel niet heeft geleid tot een directe ervaring met reageren volgens gehele getallen. De structuur in de opgaven is zodanig geweest dat te snel opdrachten worden gegeven die een explicitering vereisen, terwijl de ervaring aangaf dat leerlingen daar nog niet aan toe waren.

Achteraf verbaast het mij niet dat het leergangontwerp 'in de klas niet goed werkte'⁴. Hiervoor heb ik al slechte formuleringen in opdrachten aangewezen. Bovendien zag ik niet dat reeds vroeg in de leerlingentekst, onbedoeld, een beschouwende visie zat verwerkt (3.3.4). Mijn chemisch, en daarmee mijn didactisch leerproces (4.3.2), was onvoldoende gevorderd en het was dan ook niet mogelijk een voor mij bevredigende geleiding naar onderwijsfasen in de opdrachten tot stand te brengen.

Door het werken in de classesituatie kwam naar voren dat uit de tabel met de volumeverhoudingsgetallen niet alleen een regelmaat in volumeverhoudingen volgt, maar ook één t.a.v. elementmassaverhoudingen. Dit was voor mij een belangrijk nieuw gezichtspunt en ik noteerde het als volgt op 7 oktober 1982 in mijn aantekeningen die ik van de lessen bijhield:

"De vraag naar de verdeelbaarheidsverhouding (K6-16) leverde in groep ... ook problemen op. Ook hier: opschrijven en nogmaals vragen naar de betekenis van verdeelbaarheid. Dit leidde bij D tot: 'de dichtheid, voor de massa moet je volume x dichtheid nemen'. Toch zit hier best wat in: de interpretatie van zoveel gram per liter, m.a.w. een elementsdichtheid, dus een intensieve grootheid!"

Voor deze massa-interpretatie bleken de leerlingen, naar mijn ervaring, aanspreekbaar te zijn en dit werd de basis voor volgende omwerkingen.

5.3.4.3 Naar regelmaat in elementmassa per volume-eenheid

Cannizzaro merkte in 1.1 t.a.v. de elementmassa per 'standaardvolume' (3.3.4) op:

"Die in den verschiedenen Molekeln enthaltenen wechselnden Mengen eines und desselben Elements sind sämtlich ganze Multipla einer gleichen Grösse, welche, da sie immer ungeteilt in die Verbindungen eintritt, mit Recht als Atom bezeichnet wird."

De hiermee verbonden relatie tussen elementmassaverhoudingen en volumeverhoudingen bij één-tot-één gasreactie-individueen komt in het ontwerp van 1980 expliciet als uitgangspunt aan de orde in de vorm van de volgende vraag n.a.v. tabel 3 (bijlage 4):

- "- Wat kun je op grond van de getallen in één en dezelfde kolom zeggen over de massaverhouding van het element waterstof in een gelijk volume waterstofchloride, waterstof, ammoniak en metaan?
- Kun je dit ook afleiden uit de getallen in een horizontale rij?"

Het was de bedoeling dat door deze vragen de leerlingen gingen zien dat de bedoelde verhouding van de elementmassa per standaardvolume kan worden geschreven als 1 : 2 : 3 : 4. Dus dat op grond van een relatie die betrokken is op een chemische

reactie, namelijk de volumeverhouding tussen stofindividueen in de gasfase, vervolgens een verhoudingsuitspraak mogelijk is omtrent de massa van een elementindividueen in ieder stofindividueen afzonderlijk.

Om elementmassabehoud te waarborgen zullen de volumeverhouding in de één-tot-één gasreactie het omgekeerde zijn van deze (geheeltallige) elementmassaverhouding. Dit vormt verderop in de leergang de basis om formules af te leiden aan de hand van volumeverhoudingen. Met deze formules kan dus elementmassabehoud bij de chemische reactie worden weergegeven.

De zojuist genoemde geheeltallige elementmassaverhouding kan de idee oproepen van een gekwantificeerd voorkomende elementmassa per standaardvolume. Deze kwantificering vindt een voltooiing in de bepaling van één reeks van massaverhoudingsgetallen voor een elementmassaportie van ieder elementindividueen:

"In K 2 constateerden we als nieuw feit naast de wet van Proust dat de equivalentgetallen van de elementen bij redoxreacties tot één reeks te combineren waren. Het bestaan van deze reeks kon ... begrepen worden door middel van het stromingsmodel van de elektriciteit. De Faraday bleek de hoeveelheid elektriciteit te zijn die wordt overgedragen bij oxidatie dan wel reductie van één gramequivalent.

Ook hier zien we één reeks van verhoudingsgetallen ontstaan en wel van massaverhoudingen van elementeenheden. Maar nu hoeft dat ons niet te verbazen, want deze ene reeks moest ontstaan. We zien namelijk alle reacties als een hergroepering van elementeenheden. Dit gezichtspunt hebben we ingenomen om de geheeltallige volumeverhoudingen volgens Gay-Lussac te verklaren. Maar als we een reactie zien als een hergroepering van elementeenheden betekent dit wel dat er tussen deze elementeenheden een vaste massaverhouding moet bestaan."

Tegen deze tekst is als bezwaar aan te voeren, dat zonder enig bewijs wordt gesteld dat we "namelijk alle reacties [zien] als een hergroepering van elementeenheden." De generalisatie naar "alle reacties" is zonder meer voorbarig te noemen. Verder gebruik ik 'element-eenheid', waar 'elementmassaportie' beter op zijn plaats was geweest. De zinsneden "... nu hoeft dat ons niet te verbazen, want deze ene reeks moest ontstaan ..." en "... tussen deze elementeenheden een vaste massaverhouding moet bestaan." wijzen volgens de auteur, dat was ik, op het bestaan van deze ene reeks van massaverhoudingsgetallen als **logisch noodzakelijk** gevolg van het gekozen gezichtspunt 'hergroeperen van elementmassaporties'.

Impliciet in deze tekst uit de leergang is opgenomen dat aan ieder elementindividueen slechts één onverdeelbare elementeenheid kan worden toegekend, ongeacht de reactie waarbij het is betrokken. Dit betekent dat in de bedoelde massaverhoudingenreeks elk elementindividueen slechts één maal kan voorkomen. We kunnen dit zien als een gevolg van de redenering die in 3.3.4 is opgezet: het gaat om de massaverhouding tussen het "maximaal verdeelde element" voor verschillende elementindividueen. In 3.3.4 is betoogd dat ieder elementindividueen slechts één waarde voor het "maximaal verdeelde element" kan opleveren, zodat ieder elementindividueen ook maar één massaverhoudingsgetal hiervoor kan voortbrengen. De gegeven afleiding brengt een structuur aan t.a.v. de massaverhoudingen die in een beschrijvend ni-

veau zijn weergegeven. Elementindividuen reageren bij de één-tot-één gasreactie volgens veelvoudigen van bedoelde massaverhoudingsgetallen. In het bovenstaande citaat is het dus de bedoeling geweest een beschouwende redenering te geven.

De onderwijstekst uit 1982 richt zich niet alleen sterker dan die uit 1980 op het interpreteren van de volumeverhoudingsgetallen bij de één-tot-één gasreactie als het omgekeerde van de verhouding van elementmassa's per standaardvolume, maar ook op het geven van een betekenis daaraan:

"We kunnen de gevonden massaverhouding als volgt interpreteren:

voor gasvormige stoffen geldt dat de massa van een element in een zeker volume een geheel aantal maal een zekere massa is. We kunnen ook zeggen dat het element in afgepaste massaporties voorkomt."

Een onzorgvuldige formulering voor 'massa van een elementindividu per standaardvolume' is hier "... de massa van een element in een zeker volume ...". Door zo'n wijze van omschrijven worden de leerlingen niet uitgenodigd zich nauwkeurig uit te drukken en na te gaan binnen welke randvoorwaarden gevonden relaties gelden!

De term 'portie', die in de bedoelde betekenis reeds voorkwam bij relaas 5 in 2.1.2, komt hier de eerste keer ter sprake in de leergang. Hij is gekoppeld aan het kunnen opstellen van de reeks $m : n$ voor de volumeverhoudingsgetallen van een stofindividu bij één-tot-één gasreacties. De onderwijstekst vervolgt met de vraag:

"14. Zal het voorkomen van elementen in afgepaste massaporties alleen gelden voor gasvormige stoffen of ook voor vaste en vloeibare stoffen?"

Hier wil ik opmerken dat impliciet blijft dat gelijke volumes gas worden vergeleken. Bovendien negeer ik wat in noot 19 van 3.5 staat: het ingevoerde begrip 'maximaal verdeelde element' moet worden aangepast aan de algemenere situatie als ook vaste en vloeibare stoffen worden opgenomen, omdat het nu nog is gekoppeld aan 'standaardgasvolume'. In deze noot is "maximaal verdeelde element" een andere uitdrukking voor wat ik hier "portie" noem.

In vraag 14 ging het mij impliciet niet meer om aandacht voor het fysische kenmerk 'gasvolume' maar om de daaruit afgeleide chemische kwaliteit 'elementmassaportie' voor 'element'. Leerlingen hebben op dit moment geen kwantitatieve informatie tot hun beschikking om 'het voorkomen in afgepaste elementmassaporties' ook voor stofindividuen in vaste of vloeibare toestand te rechtvaardigen. Zij moeten dus, zonder over relevante informatie te beschikken, een gevonden regel in een nieuwe situatie toepassen: een niet uitvoerbare vrije oriëntatie. Zij kunnen slechts de in 5.3.4.1 beschreven argumentatie geven dat ze tot nu toe bij fase-overgangen geen veranderingen in chemische stofindividu-eigenschappen hebben geconstateerd (2.2.1).

Over een manier waarop de kwantitatieve samenstelling van stofindividuen kan worden weergegeven, stond vervolgens in deze onderwijstekst van 1982:

"Nu komt natuurlijk snel de vraag op hoe groot zo'n massaportie voor de verschillende elementen dan wel niet is. Maar vanwege de wet van Proust zijn we in de scheikunde niet zozeer geïnteresseerd in de feitelijke massa (een voorwerpseigenschap!) als wel in de massaverhoudingen (een stoffeigenschap!). Daarom kun-

nen we stoffen karakteriseren door aan te geven hoeveel keer zo'n elementsmassaportie aan een stof moet worden toegekend.

We zullen zo'n elementsmassaportie een elementeenheid noemen en het aantal keer dat we deze aan moeten nemen in een stof de verdeelbaarheid van dat element in die stof.

15. Welke verdeelbaarheid neem je op grond van tabel 3 voor het element waterstof aan in
- waterstofchloride
 - water
 - ammoniak
 - methaan."

Leerlingen konden deze vraag 15 beter beantwoorden dan een overeenkomstige uit mijn eerste ontwerp waarin ik zo stellig "*ondeelbare elementeenheden*" invoerde (5.3.4.2). Dat sloot toen blijkbaar niet aan bij de samenhang die zij op dat moment hadden opgebouwd tussen 'element', 'geheeltallig' en 'elementmassaportie'. Hierboven heb ik al kritiek geuit op de formulering dat het aantal elementmassaporties gelijk te stellen is "*... aan het maximum dat de volumeverhouding ... volgens Gay-Lussac kan aannemen.*" Het optreden van een maximumwaarde in de volumeverhouding bij de één-tot-één gasreactie zit niet opgenomen in deze chemische wet.

In de laatste ontwerpen was het ondanks zulke tekortkomingen in de tekst toch voor leerlingen beter mogelijk geworden de invoering van de gekwantificeerde elementsmassa per standaardvolume in verband te brengen met eerder aangereikte gegevens. In het ontwerp uit 1983 staat niets meer vermeld over een 'verklaring' van de volumeregelmaat volgens de wet van Gay-Lussac. De genoemde massaaspecten staan nu centraal. Na 1983 zijn geen omwerkingen meer verschenen omdat op school een andere leergang gebruikt ging worden.

Mijn ervaring was dat de leerlingen gemakkelijker konden werken met de laatste ontwerpen (1982, 1983) dan met de eerste (1979, 1980). Door onderzoek kan ik dit gevoelen van mij niet bevestigen, maar wel kan ik enige vermoedens uitspreken omtrent factoren die tot een mogelijke verbetering hebben geleid:

- een betere geleiding in opgaven en teksten naar onderwijsfasen;
- een betere geleiding in opgaven en teksten naar beschrijvend en beschouwend niveau;
- een betere begeleiding door mij als docent doordat mijn empirisch chemisch leerproces was voortgeschreden.

Dit zouden onderzoeksvragen kunnen zijn, maar de beantwoording ervan vereist een vergelijking van onderwijsgesprekken van verschillende jaren. Om begrips-geneese over langere tijd bij eenzelfde gespreksgroepje leerlingen te kunnen bestuderen, ben ik echter aangewezen op materiaal van het laatste jaar dat ik opnames heb kunnen maken. Daarom laat ik het zoeken naar een antwoord op bovenstaande vragen in dit proefschrift achterwege.

5.4 Onderzoeksvragen t.a.v. leerlingengesprekken

Bij mijn analyse van de gesprekken en/of schriftelijke stukken wil ik nagaan:

1. in hoofdstuk 6:

- of bij het derde equivalentgetal een overgang naar een beschouwend niveau op moet treden;
- hoe leerlingen spreken over toestandsverandering van een element;

2. in hoofdstuk 8:

- of lerenden een beschouwende taal ontwikkelen om op grond van volumeverhoudingen bij één-tot-één gasreacties over kwantitatieve aspecten van chemische reacties te spreken;
- of in combinatie met het vorige lerenden erin slagen aan element de kwaliteit massaportie toe te kennen;

3. in hoofdstuk 6 en 8:

- of mijn begeleiding van leerlingen in de classesituatie is gericht op het bereiken van de expliciteringsfase t.a.v. bovenvermelde thema's.

5.5 Konklusie

Uitgaande van de opvatting dat didaktiek begripsgenese bestudeert die optreedt in een gespreksgemeenschap, is ten behoeve van het onderzoek materiaal verzameld waarin, naar verwachting, een verandering in spreken of schrijven over (het komen tot) kwantitatieve betrekkingen bij de chemische reactie aanwijsbaar zal zijn. Het toe te passen onderzoeksinstrument maakt het mogelijk dat ik op zoek ga naar zulke momenten van taalverwerving.

De keuze voor de op te nemen leerlingengroepjes gebeurde niet vanuit een grond- of beschrijvend niveau didaktiek, maar was nog gebaseerd op mijn niet geanalyseerde, didactische leefwereld. Vanuit deze basis bracht ik ook de veranderingen aan in de onderwijsteksten. Nu kan ik in de oorspronkelijke tekst thema's aanwijzen, die ik tijdens mijn onderwijzen ermee niet opmerkte. Daarom zou ik nu tegenvallende onderwijsresultaten zeker niet alleen aan de onderwijsteksten willen toeschrijven, maar zie ik ze ook als het gevolg van onvoldoende vordering in mijn chemisch leerproces.

Door vergelijking van de gesprekken en van de stukken van de Amersfoortse groep met de leerlingengesprekken kan naar voren komen in hoeverre eenzelfde soort problemen ontstaat en/of vergelijkbare oplossingen worden gevonden in deze verschillend gearde groepen. Maar de gesprekken van de leerlingen vinden plaats aan de hand van teksten die onder andere zijn gemaakt door mij en door andere deelnemers aan de gesprekken in Amersfoort. Ik verwacht daarom dat verkregen antwoorden op vragen niet geheel onafhankelijk van elkaar zullen zijn. De gebruikte onderwijstekst is onder meer te zien als een weerslag van de stand van mijn empirisch chemisch leerproces dat mede vanuit de Amersfoortse groep werd gevoed.

5.6 Noten

1. Onder een 'eenvoudige redoxreactie' versta ik een redoxreactie waarbij twee, en eventueel één, maar niet meer dan twee elementindividuen in het spel zijn, die daarbij dus tevens van toestand veranderen.
Bijvoorbeeld: 'cupri + zink → koper en geoxideerd zink';
of: 'ferri + ijzer → ferro';
maar niet: 'chloor + mangaan → gereduceerd chloor + permanganaat'.
2. De regel van Petit en Dulong (1819) luidt: "Les atomes de tous les corps simples ont exactement la même capacité pour la chaleur." In de leergang wordt hiervoor, in gewone chemische termen vertaald, $6,1 \text{ cal.K}^{-1}.\text{mol}^{-1}$ genomen.
3. "Elementhoeveelheid" betekent in chemische termen anno 1990 vertaald: de massa van 1 mol atomen.
4. Deze kwalifikatie, evenals later komende als 'beter ging' e.d., zijn impressies van mijn collega scheikunde-leraar en van mijzelf. Ik kan ze niet 'hard maken' op grond van onderzoeksmateriaal.

6. GENESE VAN ELEMENT AAN DE HAND VAN HET DERDE EQUIVALENTGETAL

In de vorige hoofdstukken gaf ik een schets van de chemische en didactische context waarbinnen dit onderzoek heeft plaats gevonden. In 6.2 wil ik met behulp van protokolanalyse proberen aan te wijzen hoe in enige onderwijs-leersituaties een verandering in het spreken over massaverhoudingen bij eenvoudige redoxreacties optreedt. Dit zal ik doen aan de hand van gesprekken van één groepje leerlingen dat zich bezig houdt met 'het derde equivalentgetal'; 5.2.1.4. Ter inleiding hierop bespreek ik in 6.1 relevante gedeelten uit het door hen gebruikte S- en K-deel.

Door een vergelijking van mijn analyse van de betreffende onderwijsteksten en van de protocollen zal naar voren komen dat datgene, waarover de leerlingen volgens mij spreken, afwijkt van wat de ontwerpers m.i. voor ogen stond. Ik meen te kunnen konstateren dat in de loop van een aantal lessen wel de verlangde aanspreekbaarheid bij de leerlingen tot stand komt. Dit gaat samen met de ontwikkeling van een nieuw gezichtspunt en een daarbij horend nieuw taalveld. Het gaat om een ontwikkeling van spreken over 'stof' naar spreken over 'element'.

In 4.4 heb ik aangestipt dat ook de docent een aspekt is van 'de structuur van de onderwijssituatie'. Daarom richt mijn aandacht zich bij de analyse ook op de vraag in hoeverre ik kan aanwijzen of de docent toenmaals de nu door mij benoemde spanning opmerkte én of hij met deze leerlingen in gesprek kan komen.

6.1 De gebruikte opdrachten: in hoeverre voorbereid en voorbereidend?

Het derde equivalentgetal (5.2.1.4) komt in K 3 aan de orde. Ik besteedde in het vorige hoofdstuk geen aandacht aan K 3 omdat ik dat nu wil doen ter voorbereiding op de protokolanalyse in 6.2. In de onderzochte gespreksfragmenten is slechts het thema aan de orde geweest uit K3-1 en 2 van het in hoofdstuk 5 besproken K-deel. In de veranderde versie die het onderhavige groepje leerlingen gebruikte, zijn dat K3-1, 2 en 3 geworden. Ten gerieve van de lezers heb ik een overzicht gemaakt van de in het K-deel gebruikte chemische termen die niet (meer) behoren tot de gangbare chemische vaktaal (bijlage 1).

Ten Voorde heeft erop gewezen dat zeker in een op niveauverhoging gerichte leergang ter voorkoming van een kloof van niet-verstaan lerenden voor het maken van een opdracht enerzijds moeten zijn **voorbereid door** de eraan voorafgaande, maar door het maken ervan tegelijk **voorbereid** moeten worden op volgende opdrachten (Ten Voorde, 1977, p. 114, 129, 245, 495; 1978b, p. 183). Ik wil dit voorbereid-zijn-door en voorbereiden-op niet alleen toepassen op lerenden, maar ook op opdrachten en/of thema's: een opdracht of thema staat in en maakt geschiedenis.

Vanuit dit gezichtspunt wil ik bekijken hoe de eerste opdrachten waar kennis wordt gemaakt met het derde equivalentgetal, in hun chemisch kwalitatieve en kwantitatieve aspecten zijn voorbereid, en hoe deze opdrachten op hun beurt de latere voorbereiden. Daartoe komen achtereenvolgens aan de orde:

- beschrijving van de kwalitatieve voorbereiding op de begrippen redoxreactie en redoxkoppel (6.1.1);
- beschrijving van de kwalitatieve voorbereiding op elementindividuen met meer dan één geoxideerde toestand (6.1.1);
- kwantitatieve voorbereiding op het derde equivalentgetal (6.1.2);
- teksten van enkele opdrachten rond het derde equivalentgetal (6.1.3).

6.1.1 Elementindividu met meer dan één geoxideerde toestand

Bij het doorwerken van het S-deel leren de leerlingen na enige tijd reacties te beschrijven als 'het verdwijnen en ontstaan van stofindividuen'. We zagen in 5.3.1 dat zij later in het S-deel de mogelijkheid krijgen deze reactiebeschrijving uit te breiden met het begrip 'reagens'. Dit doen zij aan de hand van ervaringen met galvanische cellen (5.3.1). Zij leren in die kontekst de begrippen 'oxidatie en reductie', 'redoxkoppel', 'redoxreactie als inwerking op elkaar van twee redoxkoppels', 'element' en 'toestand van een element' te gebruiken. De aanvankelijke beschrijving van een redoxreactie als het verdwijnen en ontstaan van stof- en reagensindividuen, gaan zij, naar de bedoeling van de ontwerpers, nu vervangen door een beschrijving als behoud van elementindividuen.

Dit gezichtspunt opent voor hen de mogelijkheid stofindividuen en redoxkoppels in een kwalitatieve formule af te beelden (S 21), bijv. zinkchloride als Zn^+Cl^- , en het redoxkoppel zink/geoxideerd zink als Zn^0/Zn^+ . Zij kunnen de veelheid van bekende redoxreacties overzichtelijk maken doordat het in grote lijnen mogelijk blijkt redoxkoppels naar 'sterkte' te rangschikken. Deze ordinale schaal van redoxkoppels brengt een structuur aan in de op papier mogelijke combinaties van redoxkoppels. Aangezien bij de opstelling van deze reeks slechts de beschrijvende ervaring en geen nieuw beschouwend principe een rol speelt, kan ik die redoxkoppelreeks een overkoepelende structuur in een beschrijvend niveau chemie noemen (3.3.4).

De leerlingen komen voor het eerst in aanraking met een elementindividu met meer dan één geoxideerde toestand (S22-3) door middel van de beschrijving van een aantal proeven. Het gaat om de vloeistof die ontstaat na het toevoegen van broomwater aan overmaat ijzerpoeder en het affiltreren van de overmaat (= ijzer(II)bromide-oplossing). Van dit filtraat worden de reacties beschreven na toevoegen van natronloog, zilvernitraatoplossing, zink en broomwater. De bij de reactie met broomwater verkregen vloeistof (= ijzer(III)bromide-oplossing) is het uitgangspunt voor reacties met natronloog, zilvernitraatoplossing, zink en ijzer.

De leerlingen kunnen nu drie groepen eigenschappen onderscheiden die toegeschreven kunnen worden aan het element ijzer. Naast de grondtoestand, allereerst de groep die niet alleen kan ontstaan door oxidatie vanuit de grondtoestand, maar ook in staat is als reductor te verdwijnen. Wanneer dit laatste gebeurt, ontstaat de derde groep. Deze drie groepen zijn achtereenvolgens te benoemen als 'ijzer', 'geoxideerd ijzer' en 'geoxideerd (geoxideerd ijzer)'. Leerlingen duiden de laatste groep vaak aan als 'dubbel geoxideerd ijzer'. Dit "dubbel" is niet bedoeld als weergave van een zuiver kwantitatief gezichtspunt, omdat dat nog niet is ingenomen.

Daarom wordt in de leergang korthedshalve de laagste geoxideerde toestand 'ferro' en de hoogste 'ferri' genoemd. Zij krijgen tenslotte de opdracht de redoxkoppels die zij aan het element ijzer hebben toegekend, in de reeks van redoxkoppels te plaatsen.

In de overige opdrachten van het S-deel komt niet uitdrukkelijk ter sprake of er reden is ook aan andere elementindividuen meer dan één geoxideerde (of gereduceerde) toestand toe te kennen. Het is daarom de vraag of het aantal opdrachten waarin deze problematiek expliciet of impliciet aan de orde komt (S22-3, 4, 7b) voldoende, en naar inhoud rijk genoeg, is geweest om bij de lerenden een explicitering tot stand te brengen dat er, naast ijzer, nog andere elementindividuen zijn waaraan meer dan één geoxideerde toestand kan worden toegekend.

6.1.2 K 1 en K 2 als voorbereiding op K 3 - 1 en 2

De hoofdstukken K 1 en K 2 besprak ik globaal in mijn vorige hoofdstuk. Ik wil daarbij nog opmerken dat de leerlingen:

- in K 1 kennis maken met elementmassabehoud (3.1.2) en de wet van Proust (3.1.1);
- in K 2 een reeks opstellen van de massaverhoudingsgetallen van de ter sprake gebrachte elementen (zij komen tot: $m(\text{H}) : m(\text{O}) : m(\text{Zn}) : m(\text{Cl}) = 1 : 7,94 : 32,4 : 35,2$). Deze reeks blijkt géén gevolg te zijn van de wet van Proust. We kunnen hem dus zien als de beschrijving van een kwantitatieve kwaliteit van de '(eenvoudige) redoxreactie';
- pas in K 4 de term '(massa)equivalentgetal' krijgen aangereikt als het massaverhoudingsgetal van een redoxkoppel dat genormeerd is op het kleinste als 1;
- pas in K 4 gaan letten op kwantitatieve aspecten van elektriciteitsoverdracht (het model voor de redoxreactie).

De titel van K 2 luidt "Verhoudingsgetallen van elementen". De reactie-individuen die aan de orde worden gesteld, zijn alle te beschrijven als redoxreactie waarbij is betrokken:

- een tweetal "enkelvoudige redoxkoppel-individuen" (ik bedoel daarmee bijv. H^0/H^+ en Cl^0/Cl^- maar niet chloor/chloraat);
- de grondtoestand van de beide in het spel zijnde elementindividuen en dus het enkelvoudige stofindividu als zodanig.

In de beschreven experimenten is de massa van de hoeveelheid van de beide enkelvoudige stofindividuen dus steeds gegeven of te berekenen. Daarmee dekt de titel van K 2 inderdaad de inhoud. De auteurs ontwierpen echter geen enkele opdracht waarin de leerlingen bovengenoemde beperkingen zouden moeten expliciteren. Hierdoor ontstond voor hen geen noodzaak te gaan spreken over toestandsveranderingen van een elementindividu en over redoxreactie. Uit dien hoofde is K 2 een slechte voorbereiding op K 3 te noemen.

De titel van hoofdstuk K 2 had, gezien de voorbereidende functie op K 3, wellicht beter kunnen luiden: 'Het verhoudingsgetal van een redoxkoppel'. Dit verwijst rechtstreeks naar redoxreacties en impliceert bovendien dat bij een redoxkoppel

slechts één verhoudingsgetal hoort. Een onderzoeksvraag luidt dan ook in hoeverre leerlingen in K 3 aanspreekbaar blijken te zijn voor het gegeven dat het gaat om massaverhoudingsgetallen die horen bij een redoxkoppel.

6.1.3 K 3: het derde equivalentgetal

Ook in K 3 komen slechts enkelvoudige redoxkoppelindividuen aan de orde, maar nu tevens van elementindividuen waaraan drie toestanden zijn te onderscheiden. Hiertussen zijn in principe drie overgangen mogelijk, zodat er drie redoxkoppelindividuen aan toe te kennen zijn. Bij twee ervan is de grondtoestand van het betreffende elementindividu betrokken, bij het derde niet. Zo beeldt het redoxkoppel ferro/ferri geen situatie af waarbij een isoleerbare hoeveelheid van de enkelvoudige stof ijzer in het spel is. Ik noemde het bijbehorende equivalentgetal 'het derde equivalentgetal' van het element ijzer (5.2.1.4).

Bij het onderwijzen met K 3 bleken de leerlingen veel moeilijkheden te hebben met de aangeboden onderwijstekst. Op grond van deze ervaring gingen leraren van één school ertoe over de eerste twee opdrachten van de oorspronkelijke versie om te werken (bijlagen 5 en 6). Ik wil in deze paragraaf vanuit het gezichtspunt 'voorbereid-zijn-door en voorbereiden-op' kijken naar de constructie van opdrachten van beide versies van K 3.

6.1.3.1 De oorspronkelijke versie van K 3 - 1 en 2

De leerlingen gebruikten in K 2 een hoeveelheid van een enkelvoudig stofindividu bij de berekening van een equivalentgetal (6.1.2). In K3-1 kan dat alleen voor de berekening van het verhoudingsgetal¹ dat hoort bij het koppel ijzer/ferri. Zij moesten voor de berekening van de andere twee massaverhoudingsgetallen expliciet uitgaan van elementmassabehoud. De ontwerpers verwachtten daar dus aanspreekbaarheid voor. Ze gingen, gezien de formulering van de opdracht, ook uit van aanspreekbaarheid voor het thema 'meer dan één geoxideerde toestand bij een element'. In termen van onderwijsfasen gesproken zou ik K3-1 een *vrije oriëntatie* (5.3.4.2) willen noemen t.a.v. het thema massaverhoudingsgetallen van een elementindividu met meer dan één geoxideerde toestand.

In K3-1b wordt gevraagd de berekende massaverhoudingsgetallen in verband te brengen met (toestands)veranderingen van het element ijzer. Zoals in 6.1.2 is besproken, hebben de getallen uit de reeks van K 2 betrekking op enkelvoudige redoxkoppelindividuen. Dit kwam daar in de opdrachten echter niet aan de orde. De leerlingen moeten hier dus een relatie tussen een massaverhoudingsgetal en het bijbehorende redoxkoppel onder woorden brengen. Benoemd als onderwijsfase: de opdracht is gericht op een *explicitering* t.a.v. een dergelijk verband.

Mijn ervaring in de klas was dat lerenden de toestandsveranderingen niet uit zichzelf bij de berekende getallen vermeldden. Ik moest ze daar als onderwijzende op wijzen. Zij zagen uit zichzelf blijkbaar onvoldoende de noodzaak in om de verschillende toestandsveranderingen nadrukkelijk te koppelen aan de berekende massaverhoudingsgetallen. Zij hadden dus nog meer gebonden oriëntatie opdrach-

ten nodig t.a.v. dit thema, of misschien zelfs opdrachten met het karakter van *informatie*.

Het is bovendien mogelijk dat leerlingen teveel zijn gericht op het berekenen van getallen zonder de chemische achtergrond mee te laten spreken. Ze zijn dan m.i. bezig met een chemie-kontekstloos rekenen (3.3.5). Indien dit juist genoemd mag worden, hoeft de toenmalige beslissing K 3 te wijzigen niet perse de meest voor de hand liggende te zijn geweest. Verandering van voorafgaand onderwijsaanbod en van onderwijzen daarmee zou ook tot een situatie hebben kunnen leiden waarin de leerlingen wel productief met de opdrachten konden werken.

In opdracht 1b staat: "Bereken drie verhoudingsgetallen waarmee ijzer t.o.v. chloor in deze reeks geplaatst kan worden." Deze formulering laat open hoeveel verhoudingsgetallen er in totaal zijn. Deze wijze van zeggen is gerechtvaardigd als men ervan uitgaat dat expliciet is dat bij ieder redoxkoppel één equivalentgetal hoort. Gezien mijn zojuist vermelde klasse-ervaring was dat vaak niet het geval, omdat de berekende getallen niet nadrukkelijk met een redoxkoppel in verband werden gebracht. Er lijkt voor sommige lerenden sprake te zijn geweest van prematuur onderwijsaanbod. Dit was misschien verholpen als er in de opdracht een expliciete verwijzing was opgenomen naar S 23 waar zij voor het eerst kennis maakten met de twee geoxideerde toestanden van ijzer.

Behalve het genoemde bezwaar dat in 1b niet 'de drie verhoudingsgetallen' staat, is ook kritiek mogelijk op de formulering "... verhoudingsgetallen waarmee ijzer t.o.v. chloor in deze reeks geplaatst kan worden." Opnemen van een redoxkoppelindividueel in de reeks betekent dat het dezelfde getalwaarde moet hebben t.o.v. alle andere massaverhoudingsgetallen in de reeks. De gegeven opdracht lijkt mij daarom hybridisch. Misschien bedoelden de ontwerpers dat voor de berekening van het betreffende massaverhoudingsgetal dat van chloor uit de reeks moest worden genomen en daarop dat van ijzer worden geijkt. Na het doorlopen van eenzelfde procedure t.a.v. zuurstof (K3-1c) kan de konklusie komen dat de drie berekende getallen waarschijnlijk in de reeks plaatsbaar zijn, omdat reeds in twee gevallen dezelfde getalwaarden zijn gevonden.

In K3-2d valt op dat er "... de verhoudingsgetallen waarmee koper t.o.v. zuurstof ..." staat en in 2e "... twee verhoudingsgetallen waarmee koper t.o.v. chloor ...". In K3-1 is het aantal wel genoemd, zodat de ontwerpers misschien verwachtten dat voor de lerenden in 2d al expliciet is dat er drie getallen moeten zijn.

Overigens vind ik het vreemd dat in 2e slechts naar twee getallen wordt gevraagd. De ontwerpers bedoelden misschien alleen de getallen die betrekking hebben op de redoxkoppels met de grondtoestand. Maar het is ook mogelijk dat zij over "twee getallen" spreken, omdat het massaverhoudingsgetal van koper/cupro even groot is als van cupro/cupri. Dit zou betekenen dat in de reeks van K 2 slechts getallen staan en niet massaverhoudingsgetallen die met een bepaald redoxkoppel zijn verbonden.

Welke interpretatie ook de voorkeur moge verdienen, ik wijs vanuit het gezichtspunt dat de ene opdracht in een leergang de andere voorbereidt, een dergelijke vraagstelling af. Want als het noodzakelijk bestaan van drie

massaverhoudingsgetallen expliciet is voor lerenden, kan een opdracht om er slechts twee te berekenen bevreemding opwekken: welke twee? En indien een leerling nog niet heeft uitgesproken dat dit zo moet zijn, dan mogen we niet verwachten dat genoemde vraagstelling bijdraagt tot het bereiken van zo'n explicitering.

6.1.3.2 De veranderde versie (nu K 3 - 1, 2 en 3)

De eerste opdracht van de veranderde versie laat de leerlingen de eerste twee massaverhoudingsgetallen berekenen van koper t.o.v. zuurstof (K3-1b, c). Door bij beide stofindividuen te spreken over 'oxide' wordt er impliciet van uitgegaan dat de toestand van het element zuurstof telkens hetzelfde is.

Vervolgens komen de opdrachten "Vind je één kenmerkende massaverhouding, waarin de elementen koper en zuurstof reageren?" en "Breid zo mogelijk de reeks van massaverhoudingsgetallen voor elementen uit K2 uit met het element koper." Ik wil deze karakteriseren als *informatie* t.a.v. het thema meer dan één massaverhoudingsgetal bij één elementindividu omdat dit nieuwe thema heel concreet aanwijzend wordt ingeleid en aan de leerlingen wordt gevraagd of hier van eenzelfde situatie sprake is als in K 2.

In K3-2a, dezelfde opdracht als K3-2e in de oorspronkelijke versie, wordt naar twee verhoudingsgetallen van koper t.o.v. chloor gevraagd. De opdracht "Met welke veranderingen van koper komen deze verhoudingsgetallen overeen?" breidt het thema meer dan één massaverhoudingsgetal bij één elementindividu uit naar de ermee verbonden toestandsveranderingen. In K3-1 en 2 hoefde het derde equivalentgetal niet berekend te worden. Daarom bereiden m.i. in dit opzicht deze opdrachten niet voor op K3-3 waar wel naar de drie equivalentgetallen van het element ijzer wordt gevraagd. Ik zie opdracht K3-3b dan ook, net als in de oorspronkelijke versie, als een onvoldoend voorbereide *vrije oriëntatie* t.a.v. het berekenen van het derde equivalentgetal.

Problemen bij het berekenen van het derde equivalentgetal hoeven niet alleen hun oorzaak te vinden in een slechte onderling voorbereidende functie van opdrachten. Ook kunnen een rol spelen:

- niet expliciet zijn bij de leerlingen van de noodzakelijke begrippen 'redoxkoppels bij één elementindividu' en 'equivalentgetal';
- te weinig op niveauverhoging gerichte begeleiding van de onderwijzende.

Ik zal bij mijn onderzoek van protocollen beide punten in het oog houden en ik hoop ten aanzien van de eerste oorzaak te laten zien dat het derde equivalentgetal slechts dan kan functioneren als een elementbegrip expliciet is. *Zo kan onderzoek naar de genese van het derde equivalentgetal tegelijk licht werpen op een genese van het elementbegrip.*

6.2 Gespreksproductiviteit bij leerlingen

In deze paragraaf komt een aantal aspecten rond het derde equivalentgetal aan de orde aan de hand van protokolfragmenten van één groepje leerlingen uit een vier

atheneumklas dat werkt met de veranderde versie van K 3. De in deze protocollen gebruikte symbolen staan beschreven in bijlage 8.

Mijn keuze voor het analyseren van een aansluitende reeks gesprekken van eenzelfde groep vloeit voort uit het zoeken naar begripsgenese (4.3.2). Het betreft een serie gesprekken die stammen uit vier na elkaar komende lessen. Ik richt mij bij mijn analyse op de volgende aspecten (zie 6.4):

- op welke wijze hanteren zij een begrip element en toestandsverandering van een element;
- hoe ontstaat aanspreekbaarheid voor het derde equivalentgetal;
- in hoeverre is de docent in staat met hen een gesprekssituatie tot stand te brengen die is gericht op de explicitering van de begrippen 'element', 'toestandsverandering van een element' en 'het derde equivalentgetal'.

Tenslotte merk ik nog op dat 'het derde equivalentgetal' een benoeming is die pas in K5-1a aan de orde komt. De betreffende leerlingen spreken echter over opdrachten uit het begin van K 3 en gebruiken dus niet de term 'derde equivalentgetal'. Het is een benoeming van mij als analysator.

6.2.1 Ongenoegen en taalnood

In 6.1.3.1 heb ik gesproken over de betekenis van het opnemen van een elementindividu in de reeks van massaverhoudingsgetallen. In K3-1e (bijlage 6) komt de uitbreiding van deze equivalentenreeks met koper aan de orde. Ik wil in het volgende protocol (bijlage 9) nagaan in hoeverre deze leerlingen hiervoor aanspreekbaar zijn.

Protocol 3

Caroline gaat ervan uit dat het stofindividu koper (Cu^0 en Cu^{II} , 16) maar één keer in de reeks zal komen ("die of die?", 1). Dat deze leerlingen over stofindividuen spreken en niet over elementindividuen blijkt ook uit hun reactie op het berekenen van twee massaverhoudingsgetallen voor koper (N: 26 tot het einde). Zij zien geen reden voor het bestaan van twee koperchlorides en kunnen dus zowel aan koper als aan chloor twee verschillende getallen toekennen. Zij konkluderen dan ook tot vier getallen (I: 38; T: 39, 45) en tot vier reeksen (T: 56, 60-61).

Nicole's uitspraak "want je weet natuurlijk ook niet wat voor koper het is" (63) zie ik als een uiting van **taalnood** dat ze het nieuwe aspect van twee massaverhoudingsgetallen bij koper nog niet nauwkeuriger kan verwoorden. De konstatering dat chloor al in de reeks van equivalentgetallen staat (I: 65 + 67), brengt het aantal mogelijkheden tot twee terug (N: 68-69; C: 72-77), maar leidt niet tot de vraagstelling waarom zij nog steeds aan chloor slechts één getal toekennen. Uit hun gesprek komt m.i. duidelijk naar voren dat zij niet letten op het *element* koper maar op de *stof* koper. Zij hebben dus nog nadere *informatie*-opdrachten nodig om vanuit hun duidelijk gedemonstreerde ongenoegen te komen tot een analyse van het nieuwe thema.

Ook in het vervolg van hun gesprek tijdens deze les komt naar voren dat zij letten op de stof koper en nog niet aanspreekbaar zijn voor meer dan één geoxideerde toestand van het element koper (protokol 4, bijlage 10).

Protokol 4

De ontwerpers vragen in K3-2a, "tweede streepje", de berekende massaverhoudingsgetallen toe te wijzen aan toestandsveranderingen van koper. Zij spreken daarmee de leerlingen aan in de kontekst van het element koper en zijn redoxkoppels. Hoewel Toby zegt de vraag niet te begrijpen (15), gebruikt ze daarna twee termen (18 en 20) die een antwoord in de door de ontwerpers bedoelde zin althans suggereren. Maar ik kan haar antwoord zien als gericht te zijn op een kwalitatief begrip element: (koper) wordt geoxideerd (18, 20). Ineke (21) schijnt het echter kwantitatief te interpreteren - koper wordt maar éénmaal geoxideerd - en zij wijst erop dat het om twee verschillende verhoudingsgetallen gaat. Zij ondersteunt dit door te refereren aan de twee koperoxides die ze in K3-1 leerde kennen (I: 24-30). Zij vat "veranderingen van koper" blijkbaar op in de kontekst van de stof koper en zijn reactieprodukten.

Toby voelt *ongenoegen* (31) met Ineke's feitelijke antwoord ("omdat je bij koper heb je dat", 29-30). Voor Toby is het een probleem hoe je uitgaande van dezelfde stoffen (32, 34, 43-44) twee verschillende reactieprodukten kunt verkrijgen (31, 35, 50).

Toby's woordgebruik "van hetzelfde uitgaat" (32) en "gaat (...) van (...) uit" (34) spreekt Ineke echter anders aan. Terwijl Toby op de enkelvoudige (uitgangs)stoffen koper, chloor en zuurstof let, vat Ineke het "uitgaan van" op als betrokken op de (ontstane) samengestelde stoffen (33, 42, 45-47). Voor Ineke heeft Toby's vraag weinig zin, zij neemt het bestaan van de twee paren stoffen als gegeven. Zij drukt dat overduidelijk uit in: "nee ik vind het juist lógisch daar(?) precies hetzelfde als bij 1d" (40; zie ook I: 45-47).

Ineke schrijft het bestaan van de twee paren stoffen dus toe aan koper, wat ze al in regel 29 zei. Zij zal dat hebben afgeleid uit de tekst aan het begin van K3-2a: "Men kent twee verschillende chloriden van koper, een wit en een donkerbruin." Daarnaast verwijst ze in 45. In K3-1 wordt niet nadrukkelijk over twee koperoxides gesproken. Ze konkludeert daar in 46-47 veronderstellenderwijs toe. Omdat ze Toby's 'waarom?'-vraag (3.3.3) niet begrijpt, meen ik dat voor Ineke de betreffende feiten slechts een bijzonderheid van de stof koper zijn die ze zonder meer accepteert.

De vraag uit K3-2a die Toby voorlas (1-2) vormde de aanleiding tot het korte tweegesprek tussen Toby en Ineke dat ik zojuist probeerde te begrijpen. Terugnijkende kan ik echter niet konkluderen dat zij die vraag expliciet verstonden. Ineke blijft spreken in een beschrijvende kontekst van stof- en reactie-individuen en konstrueert hoogstens in 45-47 iets als een overkoepelende structuur (3.3.4). Van Sprang en ik (1987) noemden dat destijds: Ineke is inductief generaliserend bezig een 'wet' te formuleren.

Toby vraagt echter met haar herhaald "waarom?" naar *een gezichtspunt dat voor haar structuur aanbrengt in de feitelijke gegevens* die Ineke als zodanig aanvaardt. Toby vraagt dus naar wat ik in 3.3.4 een 'beschouwend gezichtspunt' noemde. Van Sprang en ik zeiden: "Toby vraagt ... naar een logische samenhang tussen de door Ineke aangedragen feiten ..." en: "In de gegeven onderwijssituatie zouden we hier van een "authentieke verklaringsbehoefte" willen spreken."

Toby heeft een vaag vermoeden in welke richting ze dit beschouwend gezichtspunt moet zoeken (18, 20), maar tot een eigen explicitering is ze nog niet in staat. Zij vraagt a.h.w. om aanvullende opdrachten in de kontekst van 'elementindividu en zijn redoxkoppels', te beginnen met een gebonden oriëntatie. Daarmee zou zij in samenspraak met de anderen in haar gespreksgemeenschap tot een analyse van haar ongenoegen en vervolgens tot explicitering van haar nieuwe gezichtspunt kunnen komen.

Op het moment dat protocol 4 eindigt, heeft Toby taalnod om haar ongenoegen met Ineke's tevredenheid met louter feiten onder woorden te brengen. Ineke gaf nog geen blijk van herkennen van de ontoereikendheid van haar beschrijvend taalveld. Tussen hen beiden heerst een 'kloof van niet-verstaan'.

In 6.1.1 vroeg ik mij af of de kwalitatieve voorbereiding voldoende was t.a.v. vragen rond meer dan één geoxideerde toestand van een elementindividu. Uit protocol 3 en 4 komt duidelijk naar voren dat dat voor dit groepje leerlingen inderdaad niet het geval is. Zij missen de taal om de aangeboden gegevens in de gewenste kontekst te verstaan en gevoeld ongenoegen te laten volgen door een analyse.

Bij de bespreking van protocol 4 betrok ik ook het artikel van Van Sprang en mij uit 1987. Protocol 4 komt hierin vanaf regel 24 aan de orde als protocol 1. Als iemand de twee besprekingen zou vergelijken, zal hem of haar veel overeenkomst opvallen, want ik had geen aanleiding nu, 1990, een heel ander gezichtspunt in te nemen. Maar er zijn ook verschillen op te merken. Deze komen voort uit de andere kontekst waarin de bespreking van dit ene protocol is geplaatst. In het artikel "Bezinning op 'verklaren' in een scheikunde-onderwijs-situatie" lag de nadruk op de mogelijkheid de 'waarom?-vraag' van Toby te zien als een "authentieke verklaringsbehoefte". *In dit proefschrift gaat het echter om een analyse van het begin van een serie protocollen met het oogmerk genese van begrippen in het kader van het thema 'het derde equivalentgetal' aan te geven.*

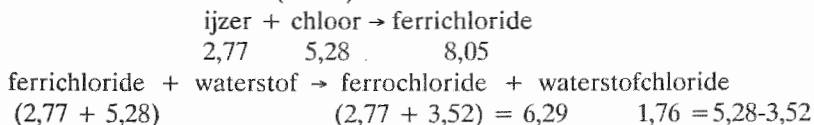
Door aandacht te vragen voor dit verschil in kontekst waarbinnen een analyse plaats vindt, wil ik er op wijzen dat ik principieel niet spreek over dé analyse van een protocol. Ik ben van mening dat daar meer dan één betekenis aan toe te kennen is, zodat het gaat over mijn analyse in die kontekst op dat moment. In samenspraak met anderen kan vervolgens - nog steeds binnen een kontekst geplaatst in de tijd - een intersubjektieve interpretatie tot stand komen, zoals bijv. Van Sprang en ik die samen gaven in 1987 van protocol 4.

6.2.2 Elementmassabehoud: formalisme of begrepen gezichtspunt?

Voor een oriëntatie in de kontekst gevormd door drie redoxkoppels van een elementindividu is het nodig dat leerlingen gebruik weten te maken van elementmassabehoud (3.1.2). Om te zien in hoeverre dit groepje daartoe in staat is, bekijk ik een fragment dat volgt op dat van protokol 4 (protokol 5, bijlage 11) waarin ze spreken over K3-3a (bijlage 6).

Protokol 5

Zij zijn bezig met het opschrijven van de volgende reactieschema's met bijbehorende hoeveelheden uit K3-3a (10-26):



De termen ferro- en ferrichloride leveren blijkbaar onvoldoende informatie t.a.v. twee mogelijke geoxideerde toestanden van een elementindividu om, terugkoppeld naar de vorige opdracht, cupro en cupri als twee toestanden van het element koper te zien.

Voor Nicole, Ineke en Toby funktioneert massagelijkheid voor de som van de hoeveelheden ijzer en chloor met de te vormen hoeveelheid ferrichloride (N: 1-10). Toby schrijft het verschil in de massa van de hoeveelheden ferro- en ferrichloride toe aan "chloor" (T: 47, 49-50). M.i. gebruikt zij daarmee impliciet behoud van de massa van de elementen ijzer en chloor bij de tweede reactie. Ik kan zo begrijpen dat zij het, in tegenstelling tot Caroline, "heel eenvoudig" vindt onder de reactieschema's hoeveelheden te schrijven (C: 28-31). Dat zijn namelijk de aldus berekende hoeveelheden van de samenstellende elementen.

Nicole en Ineke maken in overeenstemming met hun uitspraken in protokol 3 en 4 nog geen duidelijk onderscheid tussen stof- en elementindividu ("ferro is toch niet hetzelfde als ferri dat zijn toch heel andere stoffen, dat mag je toch niet met elkaar vergelijken", N: 51-52; zie ook I: 61, 68). Toby lijkt mij echter wel impliciet te redeneren met gebruikmaking van het begrip element, want de verdwenen massa "1,76" (53) "is geen [ijzer plus] plus, [maar] Cl" (58), zodat zij het snapt (56). Ze expliciteert vervolgens behoud van de massa van de hoeveelheid ijzer (69 + 71; 77-78) zonder gebruik te maken van de term 'element'.

Toby verlaat haar standpunt (89, 95) nadat Nicole (84) haar op een foute berekening van de hoeveelheid chloor in ferrochloride heeft gewezen (T: 83). Toby gaat er met de anderen toe over de volgende opdracht te maken (T: 95-96). Nadat daarvan het laatste gedeelte is gelezen (C: 97-98), gebruiken zij, waarschijnlijk in navolging van de tekst, de term 'element' (C: 113, I: 117, T: 135). Toby spreekt een keer over "ferri ... en chloride" (129), wat ik wil zien als aanduidingen voor de elementen ijzer resp. chloor. Later gebruikt ze echter "chloor" (T: 139-140), net als ze eerder deed (T: 41, 47, 77, 83). Ik weet niet of zij dat bedoelt als algemene aanduiding voor het element chloor, of dat het verwijst naar de stof.

Toby redeneert niet volledig volgens het begrip 'element' want haar uitkomst "1 staat tot 1,28" (122) komt overeen met de verhouding tussen de gegeven massa's ferro- ("deze") en ferrichloride ("die chloride"), waar ook Caroline van uitgaat (C: 118-119). En het bepalen van deze verhouding "is heel simpel" (T: 122)². Ineke (117) en Nicole (123, 125) wijzen m.i. deze berekening van Toby af, waarop Toby kan aangeven wat ze moeten berekenen: "samenstelling uit de elementen" ijzer en chloor (128-130).

De twee reactie-individueen die hierboven staan aangegeven, spelen in deze opdracht een rol. Hierdoor kan het komen dat Ineke en Nicole elementmassabehoud slechts met moeite herkennen (I: 141; N: 142). Ineke en Nicole gebruiken hier m.i. "reactie" niet als algemene aanduiding voor 'verandering', maar in de betekenis 'proef met een bepaalde hoeveelheid stofindividue' (I: 141, 143, 145-146, 148; N: 142, 144, 150).

Toby hanteerde al 'zit in' in combinatie met 'moet' en 'chloor' (77, 139-140), een taalveld waarin zij een relatie uit kan drukken tussen de massa van het element chloor en de massa van ermee samengestelde stofindividueen. Zij past nadrukkelijk elementmassabehoud voor chloor bij de chemische reactie toe (T: 153-154). In samenhang hiermee ziet zij de gegeven hoeveelheid ferrochloride (6,29 gram) samengesteld uit de gelijk gebleven massa ijzer (2,77 gram) en een overeenkomstige hoeveelheid chloor (T: 170-171, door haar gecontroleerd in 173-174).

Nicole wijst deze berekening eerst af (152), maar stemt er later mee in (153 + 155, 162). Ook Ineke verwerpt deze zienswijze aanvankelijk (175), maar komt daarna tot explicitering van elementmassabehoud (178-179, 182, 186, 188, 190, 192, 196, 198). Ik reken hun gesprek tot aan de genoemde explicitering tot de leerfase van de analyse.

Toby, Nicole en Ineke zijn elkaar gaan verstaan. Ik reken Caroline niet tot de gespreksgemeenschap (C: 229, 231, 233, 235). Zij herkent geen elementmassabehoud en blijft onzeker (C: 255), terwijl Nicole wel een andere berekeningswijze aangeeft (N: 246, 248, 250-251, 258). M.i. zijn Toby, Nicole en Ineke in de *expliciteringsfase* ten aanzien van elementmassabehoud. Mogelijk komt Caroline op het einde van het gesprek ook tot een eigen explicitering t.a.v. behoud van massa van het element ijzer: "hier zit dus 2,77 gram in en dat blijft hetzelfde", (278).

Aanvankelijk wilde Nicole dat de leraar bij hen kwam (N: 120) en zij uitte haar ongenoegen met het trage tempo waarin ze werkten en met hun moeite de vragen te begrijpen (N: 176-177). Nu is dit omgezet tot een bevredigende beantwoording van de gestelde opdracht door samensprekend te komen tot een productief gebruik van elementmassabehoud. De manier waarop dit gebeurt, gaat m.i. uit boven het klakkeloos toepassen van een regel. Ik wil dit een onderwijsresultaat noemen en zie dit als een vorm van **gespreksproductiviteit**.

Ineke gebruikt in 236-237 een formulering die sterk overkomt als een regel. Uit het voorafgaande is gebleken dat dit voor haar, voor Toby en voor Nicole een **legitieme reductie is van vaktaal**, een kontekstverbonden verwoording (3.3.5). Ten Voorde (1977, p. 156-157) noemde zulke regelachtige uitspraken **werkniveau**.

6.2.3 'Aandragen' van een gezichtspunt

Toby stelde in protokol 3 uit zichzelf de vraag naar het waarom van het bestaan van twee koperoxides en koperchlorides. De termen ferro- en ferrichloride uit K3-3a spraken haar echter niet zodanig aan dat ze een weg zag voor een antwoord op haar eigen vraag. Daarvoor lijkt duidelijker informatie en/of gebonden oriëntatie nodig te zijn. In het vervolg van de les waaruit protokol 5 komt, bespreek ik met dit groepje hun antwoorden. Daarbij komt het gedeelte voor dat ik hier opneem als protokol 6 (bijlage 12).

Protokol 6

V neemt het voorkomen van twee massaverhoudingsgetallen bij de stof koper als gespreksthemata en schrijft dit als chemicus vanzelfsprekend aan koper toe (1-2). Ineke stelt zich net als in protokol 3 tevreden met de konstatering dat er twee stofindividuen zijn, waar dan ook twee verschillende massaverhoudingsgetallen bijhoren (I?: 5, 12). Toby ziet een mogelijkheid antwoord te krijgen op haar **zaakgebonden** vraag (Ten Voorde 1977, p. 482 e.v.) uit de vorige les (14). V gaat hierop in (15) door de twee getallen naar verschillende hoeveelheden reagerend chloor te vertalen (15-16, 18). Hij kent daarmee weer impliciet aan koper en niet aan chloor verschillende oxidatietoestanden toe.

V spitst verder toe naar de kontekst van redoxreacties tussen enkelvoudige stoffen ("Cu⁰ⁿ", 23-25). Hij reikt zo een gezichtspunt aan dat Ineke overneemt (I: 26). Door haar antwoord kan hij ongenoegen met de naamgeving oproepen (V: 27) en dat leidt tot een onderscheidende benoeming in de vorm van een symbool voor de toestand van koper in het andere koperchloride (I?: 31). Door zijn chemische vanzelfsprekendheid ("dat zal dan wel moeten (...) dus", 32) komt de vraag waarom wél aan koper twee geoxideerde toestanden worden toegekend en niet aan chloor twee gereduceerde, niet aan de orde.

Uit Caroline's vragen na het aanreiken van twee mogelijke geoxideerde toestanden van het element koper spreken zowel haar verwondering hierover (39) als ook haar ontbreken van zicht op het verband tussen samenstelling en redoxtoestand van koper (C: 39-40). Ook Nicole ziet het verband tussen redoxtoestand en samenstelling niet (N: 41). Dit kan erop wijzen dat *het als informatie of als gebonden oriëntatie bedoelde gesprek van V voor hen als 'voorzeggen' funktioneerde*.

V gaat op hun vragen in (43 e.v.) vanuit zijn ervaring bij andere groepen dat lerenden een verband kunnen leggen tussen de berekende massaverhoudingsgetallen en toestandsveranderingen van koper, als hij spreekt over concrete hoeveelheden van de stoffen koper en chloor (V: 51-53, 56). Hij gaat hierbij impliciet uit van dezelfde hoeveelheid koper. Nicole en Toby zijn aanspreekbaar voor zijn vraagstelling (N?: 54; T?: 55). Caroline is door "twee keer" en door "omdat die daar dubbel geoxideerd hebt" (T: 59-60) van Toby in absoluut kwantitatieve zin aangesproken (62). Caroline neemt dus niet van Toby de afzwakking tot "twee keer" oxideren over.

V zwakt dit gebruik van 'dubbel' en 'twee' af (63), omdat hij het gevaar onderkent dat het in kwalitatieve zin gebruikte 'dubbel' bij leerlingen onbedoeld de

absolute betekenis 'twee' kan krijgen. Bij ijzer bijvoorbeeld is voor 'dubbele' oxidatie niet twee keer zoveel oxidator nodig als voor de 'enkele'. Ik kom op het gebruik van semi-kwantitatieve termen als "in ieder geval meer nodig" (V: 63) in 6.2.7 terug.

V gaat nu uit van een vaste hoeveelheid chloor omdat dat met één getal in de reeks uit K 2 staat. Toby en Nicole lijken geen moeite te hebben met de omkering naar deze situatie (T: 72, 74; N: 76, 77). Als Nicole de gevonden relatie nog eens wil bekijken (85), laat V haar deze niet zelf onder woorden brengen, maar doet het in haar plaats (V: 86-87, 89-94). Toby en Ineke zijn in staat met dit nieuwe gezichtspunt vraag K3-2b te beantwoorden (T: 104; I: 105).

Ik sprak naar aanleiding van protocol 3 en 4 over taalnood die dit groepje leerlingen ondervond om het voorkomen van twee koperoxides en twee koperchlorides te kunnen begrijpen. In het zojuist bekeken fragment heeft de docent hen een gezichtspunt en bijbehorende termen aangereikt om deze eigen vraag van Toby op te kunnen lossen. Met name Toby en Nicole leken hiervoor aanspreekbaar.

Dit gesprek was sterk geleid door de docent. Uit volgende onderwijs gesprekken van hen kan naar voren komen of zij zelf in staat zijn tot nadere analyse en vervolgens tot explicitering van voorkomende vragen met behulp van het aangereikte gezichtspunt. Zo ja, dan mogen we de bijdrage van de docent hier benoemen als informatie en/of als gebonden oriëntatie, zo nee, dan is de benoeming **geforceerde explicitering** (Ten Voorde, 1977, p. 360) op zijn plaats.

6.2.4 Betekenis geven aan de reeks van equivalentgetallen

De mogelijkheid het voorkomen van twee verschillende koperchlorides te beschrijven met twee verschillende geoxideerde toestanden van het element koper kwam aan de orde in protocol 6. Ik sprak op het einde van die les met hen even over de koppeling van de berekende verhoudingsgetallen aan veranderingen van het element ijzer. Ik zei daarbij: "welke overgangen hebben we nou bij b van het element ijzer?" (protocol 6, r. 115-116). En even later: "daar worden drie verhoudingsgetallen voor ijzer gevraagd, met welke overgangen, veranderingen van toestand van het element ijzer komen die drie getallen overeen?" (119-122). De termen 'overgangen van het element' en 'veranderingen van toestand van het element' vormen een taalveld dat **verandering** van redoxtoestand beschrijft.

Ineke en Toby gaven toen de overgangen ijzer/ferri (I?: 123, 125) en ijzer/ferro (I?: 127), maar vanwege het einde van de les kwamen zij er niet toe de genoemde overgangen te koppelen aan de te berekenen massaverhoudingsgetallen. Dit gebeurde in het begin van de volgende les. U treft een gedeelte ervan aan als protocol 7 (bijlage 13).

Protocol 7

Ineke en Toby hebben twee getallen berekend aan de hand van de samenstelling van resp. het ferro- en het ferrichloride (1). Nicole neemt de gegevens uit de opdracht, die betrekking hebben op de grondtoestand van ijzer en chloor, als derde

massaverhoudingsgetal (N: 3, 5), wat Ineke overneemt (I: 12; zie ook 13-14). M.i. blijkt uit "anders kom je toch nooit op drie verhoudingsgetallen" (T/N: 23) dat zij deze waarde als het derde te berekenen getal zien. Ik kan hun handelwijze op twee verschillende manieren interpreteren. Allereerst als een voorbeeld van het gericht zijn op het berekenen van getallen zonder de chemische achtergrond mee te laten klinken. Ten tweede als een voorbeeld van **opdrachtgebondenheid** (Ten Voorde, 1977, § 421.1).

Zij koppelen de massaverhoudingsgetallen aan de drie bekende toestanden van het element ijzer (I: 2; N: 3; I: 12) en niet aan zijn redoxkoppels. Zij gebruiken geen termen uit het taalveld *verandering*, maar spreken over toestanden van elementindividuen. Ik noem dit het taalveld **toestand**.

Zij vinden dan ook twee gelijke getallen (C?: 46-47; I: 52-54), doordat zij op grond van de gegevens dezelfde hoeveelheid chloor nemen zowel in relatie met Fe^{+} als met Fe^0 (? : 17 en opdracht K3-3a). Er ontstaat enig ongenoegen (? : 50; I: 53-54), maar onvoldoende om tot een analyse te voeren (I: 56).

Ineke noemt bij de volgende vraag wel de verschillende toestandsveranderingen (68), maar niemand legt een koppeling naar één van de berekende getallen. Ik zie dit als aanwijzingen dat ze de reeks slechts zien als een rij getallen, losgekoppeld van hun chemische betekenis. Dan is het namelijk vreemd dat hetzelfde getal twee keer voorkomt! Zolang die betekenis niet expliciet is, kunnen zij het derde equivalentgetal niet berekenen omdat zij er niet in slagen het te verbinden met het betreffende redoxkoppelindividu.

6.2.5 'Toestand' of 'verandering van toestand'

Een aantal uitspraken uit protocol 7 meende ik aldus te kunnen interpreteren dat de meisjes de berekende massaverhoudingsgetallen verbonden aan een enkele toestand van het element ijzer. Ik neem als hun docent bij de bespreking van hun werk het verband tussen de getallen en de toestandsveranderingen van het element ijzer als thema (protocol 8, bijlage 14).

Protokol 8

Zij hebben in overeenstemming met hun spreken in het taalveld 'toestand' bij de berekende getallen slechts één toestand van het element ijzer vermeld. V gaat niet na waarom zij dat hebben gedaan, maar richt zich direkt op toestandsveranderingen, sprekend in het bijbehorende taalveld ("heeft betrekking op welke verandering van ijzer?", 1; zie ook 10-11, 13-14).

Hij koppelt zonder meer hun " Fe^{+} " aan de overgang ferro \rightarrow ferri (V: 20-21) en verbindt hun laatste getal automatisch met de, voor hem overblijvende, overgang ijzer \rightarrow ferri (V: 25-26). Hij is dus niet op de hoogte van het verschil in benadering door de leerlingen, die letten op en spreken vanuit de visie 'toestand', en door hem, die uitgaat van en spreekt in 'verandering van toestand'. Dit verschil wordt onderstreept door het feit dat voor Nicole nog niet expliciet is dat het gaat om één massaverhoudingsgetal bij elk redoxkoppel (V: 25-33).

In het eerste gedeelte is vooral V aan het woord. Hij legt bovendien de leerlingen antwoorden min of meer in de mond. Hij slaagt er niet in samen met hen te komen tot een **gesprek**, d.w.z. tot een samenspraak waarin ieder een gelijkwaardige eigen inbreng heeft. Zijn vraag naar een toestandsverandering bij het door hen gegeven Fe^+ (V: 32-33) geeft pas een eerste opening tot een dergelijke op elkaar betrokken wisselwerking (I: 34 en verder). Hij gaat echter niet in op de mening van Ineke ("waarom nog niet van Fe^+ naar Fe^0 ?", 34), van Nicole ("deze is die ik bedoel (...) of niet?", 38) en van Toby (haar "ja", 41, als antwoord op Ineke's vraag 40). V vervolgt zijn uitgestippelde route: aantonen dat de massaverhouding '1 gram chloor staat tot 0,787 gram ijzer' (V: 39) hoort bij het redoxkoppel ijzer/ferro en niet bij ferro/ferri (V: 32-33, 42). Hij nodigt hen niet uit zich nader uit te spreken, maar vervolgt zijn eigen (eenzame?) weg.

De genoemde verhouding 1 staat tot 0,787 is berekend aan de hand van de samenstelling van een hoeveelheid ferrochloride die is ontstaan uit een korresponderende hoeveelheid ferrichloride. Daarom koppelen m.i. Ineke en Toby deze verhouding aan de overgang ferro \rightarrow ferri (I:40-41; T: 44). Toby keert in 44 in vergelijking met 35 de toestandsverandering om: "die is toch van Fe^{+} naar Fe^+ ". Dit zou erop kunnen wijzen dat zij gebonden is aan de in de opdracht beschreven ontstaanswijze van de betreffende hoeveelheid ferrochloride. In elk geval lijkt in dit protocol nu een verandering op te gaan treden van het taalveld 'toestand' naar 'verandering van toestand'. In 5.3.1 gaf ik al aan dat ik bij mijn analyse van protocollen erop bedacht moest zijn dat het spreken over 'toestandsverandering van een element' plaats kon vinden in een niet legitiem gereduceerde taal. In de volgende paragraaf wil ik de analyse van protocol 8 voortzetten vanuit deze gezichtshoek.

6.2.6 'Toestand' en 'verandering van toestand': formalisme of begrepen gezichtspunt?

In deze paragraaf vervolg ik de analyse van protocol 8 (bijlage 14) waarin de docent (V) met het leerlingengroepje spreekt over hun beantwoording van K3-3b (bijlage 6).

Als V zegt: "die hoeveelheden zet ik met elkaar in verband" (50) verlangt hij, impliciet, dat ze verhoudingen berekenen tussen hoeveelheden van twee element-individueen, los van de in de opdracht beschreven experimenten. Zo kunnen zij de berekende massaverhouding "1 staat tot 0,787" gaan zien als kenmerkende eigenschap van ferrochloride én daarbij het getal 0,787 als kenmerkende eigenschap van het redoxkoppel ijzer/ferro.

Na het vertrek van V is Toby in staat met termen behorend tot het taalveld verandering te spreken over opdracht K3-3b ("van hier ga je van Fe^0 (...) ga je naar Fe^+ ", 106; zie ook 108-110, 113, 116 + 118, 122-123, 124-125, 127, 130-131).

Toby's gesprekspartners zijn voornamelijk Ineke en Nicole, zodat zij gedrieën hier een gespreksgemeenschap vormen. Ik reken Caroline op dit moment er niet toe omdat er vooral tot haar wordt gesproken en niet met haar. Zij vroeg ook na het vertrek van V de anderen om uitleg (C?: 95, 97, 102-103) en heeft dus meer informatie nodig rond dit thema om in staat te zijn mee te spreken.

Toby sprak over "de reactie die je nodig hebt om van Fe^+ naar $\text{Fe}^{+})^+$ te gaan met chloor kun je hierin terugvinden" (124-125). Ik zie "hierin" als verwijzing naar het reaktieschema van de reductie van ferrichloride met waterstof, dus naar de tegengestelde overgang n.l. van $\text{Fe}^{+})^+$ naar Fe^+ . Het maakt voor mij namelijk begrijpelijk dat ze spreekt over "kun je hierin terugvinden". Dit wijst er m.i. op dat zij *loskomt van de gebondenheid aan de gegeven experimenten, ze expliciteert handelingsmogelijkheden rond een reaktieschema*. Ik wil dit plaatsen in de vorming van een beschrijvend relatienet waarin het beschouwend gezichtspunt 'toestandsverandering van een element' is opgenomen.

Toby's uitspraken kunnen worden gezien als explicitering van het verband tussen massaverhoudingsgetal en toestandsverandering. Ineke twijfelt op het einde van het gesprek (I: 129) aan haar eerder gedane uitspraken (70-71, 77, 81). Het lijkt mij daarom dat zij zich nog bevindt in de leerfase van de analyse van het betreffende probleemveld.

Terugkomend op mijn analyse-vraag bij dit protocol wil ik *Toby's bijdrage kenmerken als een legitiem gereduceerde taal, maar voor Caroline als niet legitiem gereduceerd*. T.a.v. de bijdragen van Ineke en van Nicole vermoed ik dat zij reeds tot een legitieme taalreductie zijn gekomen of daartoe in staat zullen zijn.

Op het einde van 6.2.3 stelde ik de vraag of de wijze waarop V met deze leerlingen sprak over de opdrachten het beste aangeduid kon worden als geforceerde explicitering of als informatie/gebonden oriëntatie. Het feit dat Toby hier tot eigen verwoordingen rond het derde equivalentgetal is gekomen, wijst er m.i. op dat zij productief gebruik kan maken van het toen aangereikte begrip 'twee oxidatietoestanden bij één elementindividu' en van de daarbij horende taal. *Voor haar wil ik de bijdrage van V dan ook kwalificeren als gebonden oriëntatie. Gezien de vele vragen die Ineke en Nicole nog moeten stellen aan Toby zie ik voor hen de interventie van V als informatie. Vanwege Caroline's onvermogen mee te spreken in het gedeelte van de les dat als protocol 8 is weergegeven, wil ik voor haar spreken over geforceerde explicitering.*

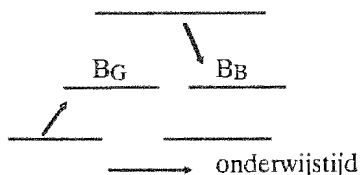
Dit leerlingengroepje gebruikte in protocol 8 termen die ik tot een beschrijvend niveau reken, b.v. 'ferro-' en 'ferrichloride', 'massaverhouding' en 'reactie'. Daarnaast treedt hier aanvankelijk ten aanzien van kwantitatieve aspecten een gebondenheid op aan feitelijke experimenten. Ten Voorde (1977, p. 199, 403) heeft **situatiegebondenheid** beschreven als kenmerk van een grondniveau. Ik kan hun uitspraken dan ook zien als het tegelijkertijd spreken van de taal van het beschrijvend niveau chemie voor wat betreft reacties en stofindividuen, maar die van een grondniveau ten aanzien van kwantitatieve aspecten daarbij.

Door hun gesprekken vindt voor deze leerlingen een vulling plaats van hun beschrijvend niveau ten aanzien van kwantitatieve regelmaat bij reacties. Tegelijk functioneerde voor met name Toby het beschouwend gezichtspunt 'toestandsverandering van een element' om samenhang te zien tussen de te berekenen equivalentgetallen. De Miranda opperde in samenspraak met Van Sprang en mij als beschrijving van dergelijke situaties een volgende weergave:

Beschouwend niveau

Beschrijvend niveau

Grondniveau



Met BG bedoel ik een 'beschrijvende' handeling die voortkomt uit een grondniveau, en met BB een die voortvloeit uit een beschouwend bezig zijn. De in de onderzochte protokollen nieuw te vormen samenhang van kwantitatieve aspecten van chemische reacties vindt tegelijk plaats met de verdere ontwikkeling van de kwalitatieve aspecten van chemische reacties.

6.2.7 Semi-kwantitatief taalveld als tussenstap

Ineke, Nicole en Toby waren in protokol 8 door mijn opdracht (V: 48-54, 63-65, 72-75) aangesproken in het leggen van een relatie tussen massaverhoudingsgetallen en redoxkoppels. Dit was een stap om de gebondenheid aan de in de onderwijstekst staande reacties te boven te komen. Ik formuleerde toen een vervolgvraag om hen direkt te richten op het derde equivalentgetal. Konkrete hoeveelheden spelen hierbij een rol (V: 63-65, 67, 72-75). Zulke konkrete uitspraken rond de betreffende hoeveelheid chloor kwamen ook in de vorige les voor (protokol 5):

- "T er zit toch chloor in in die stof, en die chloor die komt er nou weer uit (...) en wel in waterstofchloor (153-154);
en nou, zeg je van nou, gaat er dus 1,76, die gaat naar die H^+ (206);
- I dat wil dus zeggen dat die uit die $Fe^{+})^+ Cl^-$ gaat (209);
- I dat wil dus zeggen dat je die 5,28 - 1,76 doet, dan hou je over over
- I die Cl^- in $Fe^+ Cl^-$ 3,25 (...) en die 3,25 plus die 2,77 van die Fe^+ dat maakt dus niet uit of je over die massa van Fe^+ , geeft samen 6,29 (211-213)"

Hierin spelen niet alleen konkrete hoeveelheden een rol, maar ook het ontbreken van een verwijzing naar redoxreacties of -koppels. Ik zie dit in samenhang met de in 6.2.6 genoemde overgang vanuit een grond- naar een beschrijvend niveau voor kwantiteiten. Zowel het gebruik van aanwijzende voornaamwoorden ("die") als het noemen van konkrete hoeveelheden zijn in overeenstemming met 'situatiegebonden' spreken en handelen. Pas in een beschrijvende samenhang raakt die gebondenheid op de achtergrond en zal spreken over verhoudingen als kenmerk van de chemische reactie een belangrijker plaats gaan innemen.

Ineke expliciteert in protokol 8 als eerste het verband tussen de onderlinge grootte van de hoeveelheden chloor betrokken op reactie met ijzer in de grond-

toestand. Zij sprak toen over "meer chloor nodig om naar Fe^{+} te gaan dan naar Fe^{+} " (70-71) en dit heeft haar mogelijk geholpen de juiste hoeveelheid chloor aan te wijzen "5,28 min 3,52" (77). Een taalveld met niet nauwkeurig omschreven kwantitatieve termen treedt ook op in protocol 6 bij hun eerste kennismaking met de relatie tussen de samenstelling van de twee koperchlorides en de oxidatietoestand van het koper (V: 51-94). De gebruikte **semi-kwantitatieve termen** spelen daar een centrale rol en werken in protocol 8 mogelijk door in Ineke's redenering (I: 70-71, 77)³. *Ik kan dergelijke semi-kwantitatieve termen zien als een tussenstap tussen hun aanvankelijk gebruik van termen van een grondniveau en de door de leergang gebruikte beschrijvende.*

We kunnen de moeite die deze leerlingen hebben met de gewenste chemische redeneringen mede begrijpen als het gevolg van het aanspreken van hen in een kwantitatief beschrijvende taal. Zijzelf moeten nog vanuit hun grondniveau een dergelijke taalwereld vormen.

6.2.8 Van 'toestand' naar 'verandering van toestand'

In de voorgaande paragrafen heb ik uitspraken van Toby en in mindere mate die van Ineke en Nicole menen te kunnen interpreteren als begin van vorming van een relatienet tussen de begrippen element, redoxkoppel en massaverhoudingsgetal. Caroline bleef hier tot nu toe buiten zodat ik haar op dat moment niet tot de gespreksgemeenschap rekende. Zij begint in de les die volgt op die van protocol 8 enigszins met de anderen in gesprek te komen (protocol 9, bijlage 15).

Protokol 9

Zij zijn bezig met opdracht K3 - 3b. Caroline kan wat meepraten over toestandsveranderingen ("het van dit (...) naar dit was", 1; zie ook: 13, 20-21). Ze is echter ten aanzien van het herkennen van de redoxkoppels afhankelijk van de anderen (1, 16) en maakt zelf geen opdracht, maar luistert.

Toby spreekt in het taalveld verandering over redoxkoppels (22) en geeft de berekende getallen een chemische interpretatie doordat ze met: "omdat het Fe^{+} naar Fe^{+} gaat heeft het chloor nodig en die krijgt het (ond) daar" impliciet spreekt over redoxreacties (26-27).

Toby gebruikt in 11-12 een hybride van het taalveld toestand: "eh van Cl^{-} staat tot" en het taalveld verandering " Fe^{+} die ging naar Fe^{+} eh $^{+}$ ". Het is voor mij niet duidelijk of dit betekent dat zij nog niet geheel is losgekomen van de situatiegebondenheid behorend bij het grondniveau of dat het een slordigheid in haar spreken betreft zoals die in een levend gesprek voorkomt.

In K3-3c wordt gevraagd:

- "- Bereken drie verhoudingsgetallen waarmee ijzer t.o.v. zuurstof in de reeks van K2 geplaatst kan worden.
- Met welke veranderingen van ijzer komen deze verhoudingsgetallen overeen?"

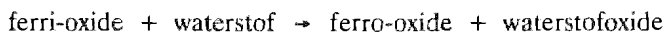
Ze moeten dus voor de berekening van het derde equivalentgetal een reactie opstellen waarin het koppel ferro/ferri een rol speelt. Mogelijk ontstaat door deze vrije oriëntatie-opdracht t.a.v. het verbinden van een equivalentgetal aan elk redoxkoppel van ijzer een te grote **anticipatiespanning** (Ten Voorde, 1977, p. 192). Zij hebben als hun lesaantekeningen (V: "wat daar staat", 49) genoteerd: " Fe^{+} "⁺ staat tot O^{0n} (V: 49-50). Dit wijst er op dat zij nog in het stadium zijn van een taalveld-overgang van 'toestand' naar 'verandering'. Mogelijk hebben zij " Fe^{+} "⁺ staat tot O^{0n} (V: 49-50) geschreven als weergave van de massaverhouding tussen het redoxkoppel ijzer/ferri en het redoxkoppel zuurstof (V: 52-55). De 'verbetering' " O^{0n} " (? : 51) voor O^0 past in het deels verlaten taalveld 'toestand'.

Als Nicole vraagt waarom een door hen berekend getal bij de overgang van ijzer naar ferro hoort (70-71, 73), stelt V een reactie voor haar op (78-79) en hij zet daar de benodigde massa's bij (78-81). Hij gaat dus niet na in hoeverre zij in staat is zelf een antwoord te beredeneren.

V drukt zich uit in het taalveld 'verandering' door middel van de termen:

- overgang (53);
- komende vanuit (54);
- met welke verandering van het element (...) hangt die samen (65-66);
- betrekking heeft op welke verandering van toestand van element (84);
- betrekking heeft op deze overgang van het element (87-88).

Ineke beantwoordt zijn vraag (V: 87-90) door een kenmerk van de gezochte redoxreactie te geven (I: 92-93). Toby stelde in het begin van dit gespreksfragment de overgangen ferro \rightarrow ferri en ferri \rightarrow ferro aan elkaar gelijk (T: 22). Ik vermoed dat ze nu vraagt of "het ook andersom [mag] dat je Fe^{+} "⁺ (ond) Fe^{+} [neemt]" (95) om, analoog aan het reeds bekeken reactie-individu uit opdracht K3-3a het reactie-individu:



te nemen. V erkent wel dat dit een mogelijke weg is (103-104), maar komt toch met een reactie-individu dat hij ook bij andere groepjes in de klas voorstelde (106):



Het is overigens de vraag of zij de berekening niet sneller hadden uitgevoerd als ze op de manier te werk waren gegaan die veel leerlingen in de klas hanteerden. Deze houdt in dat ze de massaverhoudingsgetallen telkens geven als '1 staat tot ...'. Nemen ze voor ijzer het verhoudingsgetal 1, en hebben ze al gevonden:

massa (ijzer \rightarrow ferro) : massa (zuurstof) = 1 : a;

massa (ijzer \rightarrow ferri) : massa (zuurstof) = 1 : b,

dan geldt: massa (ferro \rightarrow ferri) : massa (zuurstof) = 1 : (b - a). Hiervoor is het in het geheel niet nodig een reactie-individu als voorbeeld te nemen. Deze werkwijze sluit aan bij de uitspraak "5,28 min 3,52" uit protocol 8 (regel 77) voor de berekening van de hoeveelheid chloor die nodig is bij de oxidatie van 2,77 gram ferro.

Dat ik telkens de boven beschreven werkwijze voorstelde en niet deze, kan ik zien als een gevolg van een onvoldoende vordering in mijn leerproces t.a.v. op empirische wijze chemie leren. Ik was te zeer gebonden aan het rekenen aan een bepaald reactie-individu en gericht zijn op de mij als chemicus vertrouwde equivalentgetallen. Achteraf kan ik uit mijn dagboek-aantekeningen halen dat ver-

schillende leerlingen een dergelijk verband hadden opgemerkt. Ik verstond hen te slecht, of ik durfde niet van de mij enigszins vertrouwd geworden paden af te wijken. Als dat wel was gebeurd, waren we misschien samen in staat geweest een authentieke, overkoepelende structuur t.a.v. het derde equivalentgetal tot stand te brengen.

Caroline blijkt niet aanspreekbaar te zijn voor de gegeven opdracht: ze ziet procentuele samenstelling niet als stofindividu-eigenschap (145-146). Het deel van haar uitspraak omtrent de massa van het ijzer in ferrioxide geeft aan dat zij in deze opdracht slechts met moeite elementmassabehoud kan zien. De aanwijzingen rond de berekeningswijze die V gaf bij zijn gesprek met hen (124-129), roepen bij haar blijkbaar reeds een te grote anticipatiespanning op en zijn dus te karakteriseren als een geforceerde explicitering. Haar problemen rond het derde equivalentgetal zijn door deze opdracht niet dichterbij een oplossing gekomen, maar zijn blijven bestaan.

Nicole ziet massapercentage wel als een stofindividu-eigenschap: "ferrioxide daarvan is altijd" (147-148). Ook uit 134-142 blijkt vordering in haar leren. Ze brengt de verkregen getallen in relatie met het opgegeven reactie-individu en begint een eenvoudige redenering te geven in het semi-kwantitatieve taalveld ("kan niet (...) moet meer zijn", 136; zie ook: 138, 142). Ze formuleert later de bij de berekening te zetten stappen (175, 178, 180, 182). Ook Ineke brengt een verband onder woorden tussen berekende getallen en chemische toestandsveranderingen met zowel absolute als relatieve kwantitatieve termen ("die 11,2 is wat er meer nodig is hiervoor", 183).

Als Toby (per ongeluk?) de totale hoeveelheid zuurstof noemt (210), corrigeert Nicole haar (211-222). Nicole is in staat met Toby over dit reactie-individu te spreken in termen van toestandsveranderingen van ijzer en bijbehorende massaverhoudingen (T: 191-234). Zij verstaan elkaar en vormen een gespreksgemeenschap. Toby vergelijkt deze opdracht met de reeds eerder gemaakte (233): zij begint een overkoepelende structuur te ontdekken (3.3.4).

Caroline kan hier niet goed meespreken. Ze werkt een min of meer bekend algoritme af zonder verband te zien met de chemische betekenis ervan (243-244). Nicole kan naar Caroline toe expliciteren wat ze hebben uitgerekend (N: 247, 251-273). Zij gaat daarbij aanwijzend te werk ("deze": 251, 262). Caroline begint haar te verstaan (C: 259-272) en voelt de noodzaak haar eerste voorzichtige explicitering (268) nauwkeurig op te schrijven (274-275).

Nicole zei in 189 "geloof nooit dat ik er ooit opkwam" en op het eind van de les herhalen zij dit tegen elkaar (299-301). Ik zie dit als een uiting dat zij zich uit zichzelf niet in staat voelden tot de vereiste vrije oriëntatie t.a.v. de massaverhoudingsgetallen van redoxkoppels.

6.2.9 Leren verstaan en samen-spreken als probleem voor de leraar

In de paragrafen 6.2.1 t/m 6.2.8 heb ik besproken dat leerlingen uit dit groepje een relatienet tot stand brachten tussen de begrippen 'element', 'redoxkoppel', 'massaverhoudingsgetal'. Zij gebruikten een andere taal dan die uit de opdrachten. Mijn

leren van onderwijzen verliep onder andere met behulp van deze onderwijstekst die ik, al dan niet terecht, vooral voor wat de chemische aspecten ervan betreft, meende te begrijpen. In 6.2.8 sprak ik over een chemische berekeningswijze die leerlingen wel (intuïtief?) zagen, maar ik niet. Dit betekent dat mijn leren t.a.v. de chemische betekenis van equivalentgetallen nog steeds voort kon gaan.

Het stellen van vragen aan leerlingen zoals in het K-deel gebeurde, berust op de opvatting dat door met elkaar in gesprek te zijn een kloof van niet-verstaan zoveel mogelijk kan worden voorkomen. Als chemisch getrainde meende ik vaak dat bepaalde onderwerpen (bijv. meer dan één geoxideerde toestand bij een elementindividu, of: spreken over toestandsveranderingen) voor leerlingen expliciet waren. Ik baseerde deze, naar uit mijn analyses bleek, onjuiste opvatting op het feit dat zulke onderwerpen al eerder ter sprake waren geweest. Dit heeft mijn bijdrage in de gesprekken met leerlingen ongunstig beïnvloed.

Bovendien wist ik mijn vraagstelling naar de leerlingen toe niet aan hun leerfase(n) aan te passen zoals uit bovenstaande protokollen bleek. Ik hanteerde een standaard-benadering: kleine vraagjes stellen die de leerlingen moeten 'invullen'. De ruimte daarbij is meestal zo gering dat ze wel 'het goede antwoord' moeten geven. (Deze werkwijze wordt door sommigen wel de 'muizevalinductie' genoemd.) Ik heb voorbeelden ervan beschreven n.a.v. het begin van protocol 8 (1-42, 6.2.5) en bij protocol 9 (regel 106-130, 6.2.8).

Daarnaast verdient aandacht dat ik mijn eigen uitgestippelde weg vooropstelde en bijgevolg de suggesties van leerlingen te weinig in mijn 'gesprek' met hen betrok (bijv. protocol 8, 6.2.5). Het leren-verstaan van wat leerlingen zeggen, blijkt moeilijker dan het lijkt! In dit 'leren-verstaan' is opgenomen het kunnen horen van nuanceringen die leerlingen noodzakelijk achten. Ten Voorde (1977, § 413.5; 1978a, p. 81) beschreef het onderscheid dat leerlingen in een eerste les scheikunde aanbrachten tussen "materiaal waarvan" en "materiaal waarmee". Hij merkte dit pas later op. Vegting (1986, p. 27) beschrijft dat zij ook pas na enige tijd hoorde hoe leerlingen onderscheid maakten tussen "kracht (van)" en "kracht op".

Uit de onderzochte protokollen blijkt mijn moeite om tijdens lessen te horen dat leerlingen in het taalveld toestand en niet in het taalveld verandering spreken en dat een semi-kwantitatieve taalveld belangrijk voor hen is. Dit soort problemen is dus kennelijk niet iets dat alleen ik heb ervaren. Dat ik deze probleemvelden nu kan aangeven, komt door de verrichte protokolanalyse. Zij kan dus een hulpmiddel zijn bij onderwijzen. Een dergelijke analyse zal het meeste effect sorteren als zij zo snel mogelijk na een onderwijssituatie plaats vindt en er de noodzakelijke didactische scholing heeft plaatsgevonden.

6.3 Konklusie

De in 6.2 besproken lessen hebben betrekking op één groepje leerlingen. Veel van dat wat ik daarbij op kon merken, kan ik ook aanwijzen in protokollen van andere groepjes die met de betreffende onderwijsteksten hebben gewerkt. De genese van een taal t.a.v. 'toestandsverandering van een element' zoals ik die aanwees, acht ik dan ook niet specifiek voor het onderzochte groepje. Ook bij andere leerlingen-

groepjes meende ik aanvankelijk spreken in het taalveld 'toestand' aan te treffen dat via een tussenfase van een semi-kwantitatief taalveld overgaat in het taalveld 'toestandsverandering'. Evenmin week mijn optreden als onderwijzende af van dat wat ik reeds besproken heb t.a.v. zowel de moeite die ik had met de leerlingen tot een gesprek te komen als de soort vragen die ik stelde. Mijn begeleiding was er te weinig op gericht de leerlingen te brengen tot een *explicitering* van de onderhavige chemische problematiek.

In de loop van een (beperkt) aantal lessen slagen lerenden in gesprek met elkaar er dus in om een begin te maken met het vormen van een relatienet tussen de begrippen redoxkoppel en massaverhoudingsgetal. Dat zij hier zo snel in slagen, zie ik als gevolg van hun sterke zaak- en opdrachtgebondenheid!

Het begrip 'element' funktioneert in de gesprekken van de leerlingen aanvankelijk in geringe mate, omdat zij spreken over toestanden van element- en stofindividen en niet over de bijbehorende toestandsveranderingen.

'Element' krijgt door de gegeven opdrachten dus zowel een kwalitatieve als een eerste kwantitatieve opvulling. Deze door mij bestudeerde opvulling met kwantiteiten kan weer worden gegeven als een zekere 'gelijktijdigheid'. Zij spreken namelijk over kwantitatieve aspecten zodanig dat ze daartussen vanuit een situatie met kenmerken van grondniveau een beschrijvend relatienet tot stand gaan brengen. Feitelijk functioneren in hun gesprek reeds beschrijvende termen en soms komt een probleemstelling aan de orde vanuit een beschouwend niveau.

In de problematiek rond het derde equivalentgetal speelde de overgang van de taal die stofindividen beschrijft, naar één die veranderingen van toestanden van elementindividen op de voorgrond stelt. De eerste geeft een statische visie t.a.v. stofindividen weer, de tweede een dynamische. In een reactievergelijking ontmoeten beide opvattingen elkaar: er worden stofindividen als toestanden voor en na een verandering beschreven met formules, en tegelijk wordt de omzetting ervan in elkaar afgebeeld. Hoe deze twee bij elkaar kunnen worden gebracht bij empirisch chemie-leren vormt de vraagstelling van de volgende hoofdstukken.

6.4 Noten

1. In mijn bespreking van de onderwijsteksten in 6.1.3 en van de protocollen in 6.2 gebruik ik '(massa)verhoudingsgetal' en 'equivalentgetal' door elkaar. In de leergang worden ze onderscheiden. Het eerste is het algemenere begrip, het tweede wordt in K 4 aangereikt als: equivalentgetal is het (massa)verhoudingsgetal van een redoxkoppel genormeerd op het kleinste als 1. Als leerlingen bezig zijn met die op 1 genormeerde waarden, spreek ik bij voorkeur over equivalentgetal.
2. Voor ferrochloride geldt op grond van de verstrekte gegevens dat de verhouding van de massa $\text{Fe}^+ : \text{Cl}^- = 1 : 1,27$. Daarom lijkt het mij dat Toby spreekt over de massaverhouding tussen het ferro- en ferrichloride, mede gezien Caroline's uitspraken in regel 109, 111, 113-114 en 118-119.

3. Scharf (1985, p. 53) wees in een artikel, dat hij mede n.a.v. de workshop in Kiel schreef, ook op een tussenfase in het ontstaan van kwantitatieve uitspraken.

"Die Art der Bedingungen ist für naturwissenschaftliche Aussagen ein zentrales Kriterium. Man kann zugespitzt sagen, daß es in den Naturwissenschaften prinzipiell um die Bedingungen geht unter denen etwas geschieht ... Zur Festlegung können drei unterschiedliche Arten von Aussagen über Qualitätsmerkmale benutzt werden:

- a) klassifikatorische (qualitative) Aussagen, z.B. "warm",
- b) topologische (komparative) Aussagen, z.B. "wärmer als",
"kälter als",
- c) quantitative (metrische) Aussagen, z.B. "20 °C".

... Existentialaussagen der Art a) entsprechen dem Muster "Dies ist so und so". Sie sind nicht prüfbar, während die Beziehungsaussagen ("unter der Bedingung, daß") der Art c) diese Möglichkeit optimal zulassen."

Ik zou voorafgaande aan het semi-kwantitatieve taalveld uit protocol 8 kunnen denken aan een uitspraak als 'voor de reactie van ijzer met chloor is veel chloor nodig'. Dit komt m.i. overeen met dat wat Scharf "klassifikatorisch" noemt. Hij spreekt over de optimale controleerbaarheid van de "Beziehungsaussagen". Dat stadium zou hier zijn bereikt als de drie equivalentgetallen van het element ijzer en het verband ertussen zijn bepaald. Omschrijvingen als "dubbele oxidatie" kunnen dan aan een analyse worden onderworpen.

7. EMPIRISCH CHEMIE-LEREN ALS BASIS VOOR DIDAKTIEK LEREN

In het vorige hoofdstuk heb ik het leren in een groepje leerlingen, dat in 1983 in een klassesituatie werkte met het K-deel, benoemd als gespreksproductiviteit. Door samen te spreken konden zij tot nieuwe thema's en tot explicitering van begrippen komen. De gesprekken binnen de Amersfoortse groep, waarvan ik één van de deelnemers was, vonden van 1978 tot 1982 niet zoals bij de leerlingen aan de hand van een voorgestructureerde reeks opdrachten plaats. Wij hadden slechts een idee van de richting die we op wilden. Chemisch gezien was dat het afbeelden van kwantitatieve regelmaat bij reacties met behulp van formules voor stofindividueen zonder gebruik te maken van een opvatting van kleinste, afzonderbare deeltjes. Didaktisch gezien ging het daarbij om het onderscheidend gebruik maken van beschrijvende en beschouwende taalvelden. In deze karakterisering komen drie aspecten naar voren die tijdens onze gesprekken een houvast vormden:

- onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische taalvelden (7.1);
- streven naar een atoom-begrip in de zin van 3.2.3 (7.2);
- niet over een hoeveelheid stofindividue spreken als over een voorwerp.

Deze drie aspecten wil ik in dit hoofdstuk nader toelichten aan de hand van fragmenten van onze gesprekken en van door ons gemaakte schriftelijke stukken. Ik zal net als in het vorige hoofdstuk proberen daarin gespreksproductiviteit aan te wijzen.

7.1 Onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische taalvelden

Het onderscheid tussen beschrijvende en beschouwende verwoordingen speelde een belangrijke rol in de gesprekken van de Amersfoortse groep (3.3.3, 3.3.4). Ervaringen rond de invoering van een elementbegrip (Ten Voorde, 1977, p. 432-478; zie ook: 1981, p. 92-127) vormden voor ons de basis voor het benoemen van het verschil tussen beide niveaus. We verbonden 'beschouwend', door ons toen 'theoretisch' genoemd, in die kwalitatieve, chemische samenhang vooral met 'krijgen van inzicht' in het wel of niet mogelijk zijn van het ontstaan van een bepaald stofindividue bij een reactie-individue.

De formulering dat het innemen van een beschouwend gezichtspunt structuur aanbrengt in de handelingsmogelijkheden van een beschrijvend niveau, speelde voor mij, en voorzover ik het kan beoordelen voor de meesten van ons, toen hoegenaamd geen rol. De gesprekken in de Amersfoortse groep waren voor ons dan ook een bron van ervaring niet alleen t.a.v. empirische chemie, maar ook t.a.v. chemie-didaktiek.

7.1.1. Objektiviteit?

In 3.1.1 heb ik een schets gegeven van het ontstaan van de wet van Proust en daarbij vermeld dat deze in het secundair scheikunde-onderwijs nog steeds één van de pijlers van de kwantitatieve chemie vormt (zie ook De Jong, 1990, p. 4). Ik had in een

interne nota (2 februari 1986) voor een subgroep van de Amersfoortse groep (Dik, Paul, Ted en Huub (= ik)) twee wegen geschetst om tot de wet van Proust te komen. Ik vermeldde de mogelijkheid van de eerste weg reeds aan het eind van 3.1.4. Deze twee wegen waren:

- "1 uitgaande van de idee zuivere stof kun je stellen dat elke gram van een stof zich bij een proef hetzelfde gedraagt t.a.v. het kunnen reageren. Dit houdt in dat een recht evenredig verband tussen de hoeveelheden van de stoffen bij een chemische reactie moet bestaan;
2. de lerenden uitgebreid ervaring op laten doen met metingen van hoeveelheden stoffen bij proeven. Bij idealisering volgt uit deze gegevens dan een recht evenredig verband tussen de hoeveelheden stoffen. Het vermoeden van het bestaan van een dergelijke relatie is dan de leidraad om afwijkingen ervan te gaan zien als onnauwkeurigheden ten gevolge van b.v. verkeerd aflezen en gebrekkige apparatuur. Zolang de verwachting van deze wet niet het uitgangspunt is bij de beschouwing van de meetresultaten is het moeilijk in te zien wat zij betekenen."

Overigens zou ik de eerste weg thans formuleren als: uitgaande van de idee 'zuivere stof', is het gerechtvaardigd aan te nemen dat elke gram van een stofindividu zich bij een proef hetzelfde gedraagt t.a.v. het kunnen reageren. Dit houdt in dat stofindividuen in een konstante massaverhouding zijn betrokken bij de chemische reactie.

De vraag of we bij de eerste weg om te komen tot de wet van Proust te maken hebben met een beschrijvende of een beschouwende manier van spreken dook regelmatig op in de discussies van deze groep. Aanvankelijk noemden Paul en ik beide wegen beschrijvend, wat Dik en Ted afwezen voor de eerste. Langere tijd lukte het niet elkaar te begrijpen. Achteraf merkte ik dat de tweetallen onbewust een verschillend stofbegrip hanteerden. Paul en ik hadden in 'zuivere stof' ook al kwantitatief chemische aspecten, zoals ontwikkeld in het K-deel, opgenomen. Dik en Ted bleven echter nog werken met de betekenisafpraak hierover gemaakt in het S-deel, waarbij nog slechts kwalitatief chemische stoffeigenschappen een rol speelden. In protokol 10 (bijlage 16) is een gedeelte weergegeven van het gesprek waarin de 'ontknoping' plaats vond (3 december 1986). Dik bedoelt in regel 95 met "T" een theoretisch = beschouwend niveau; Paul met "de overgang B naar T" (162) de overgang van een beschrijvend naar een beschouwend niveau.

Protokol 10

Ted wijst in regel 1 met "hier" naar de hierboven geciteerde, eerste afleiding van de wet van Proust waarin ik een "logische redenering" opzet. Hiervoor zijn algemene termen nodig, waaronder een "gegeneraliseerd begrip zuivere stof" met "een zwaar inductief moment" (P: 2+6). Voor de beoogde redenering is een bepaald begrip zuivere stof nodig waarvoor een afspraak nodig is geweest (T: 14-15). Daar moet namelijk 'het hebben van massa' en 'het innemen van ruimte' in zijn opgenomen. Dat Ted dit opmerkt wijst op het verschil in stofbegrip tussen hem en Paul. In de

redenering zou Paul de vroeger afgesproken betekenis voor stof, die alleen kwalitatieve stof-eigenschappen betrof, stilzwijgend hebben aangevuld (T: 24).

Paul heeft echter niet het idee dat hij in zijn stofbegrip een nieuw aspect heeft opgenomen dat nu als verklarend principe dient (22-23). Ik neem aan dat het voor hem vanzelfsprekend is dat de betreffende hoeveelhedenaspecten in het stofbegrip zijn opgenomen. Zijn opmerking ruim zes jaar eerder in protocol 1, regel 5-9 (2.2.2), dat het niet om 'een etherisch beginsel gaat', wijst m.i. duidelijk in die richting.

Paul ziet zijn aktiviteit daarentegen als "de grens van het begrip af te tasten" (23). *Het gaat m.i. om iets anders dan het toepassen van een vroeger gemaakte, beschrijvende betekenisafpraak ten aanzien van bijvoorbeeld de vraag of een zeker materiaal kan worden benoemd als een zuiver stofindividu. Het betreft nu het nadenken over konsekwenties van de gemaakte afspraak omtrent 'stof'. Dik ziet dit als het overgaan naar een beschouwend niveau (25-27, 29-31). Het betekent het nadenken over de implicaties van zulke regels.*

De situatie van niet-verstaan in 32-48 komt doordat Ted niet, en Paul wel kwantitatieve aspecten heeft opgenomen in zijn begrip 'zuivere stof'. Bijgevolg houdt voor Paul een kwantitatief gezien ander verdwijnen het ontstaan in van een ander stofindividu (P: 43-66). Ted beperkt zich tot kwalitatieve aspecten: er is op voorhand geen reden om te spreken over het ontstaan van een ander stofindividu bij het reageren in andere massaverhoudingen (T: 54, 65, 67). In "de praktijk" blijkt een, kwantitatief gezien, verschillend verdwijnen van dezelfde stofindividuen te leiden tot een kwalitatief ander ontstaan (T: 69). Dit is af te leiden uit het begrip 'zuivere stof' (T: 70) als daarin zit opgenomen dat een stofindividu bij een reactie ontstaat volgens een konstante massaverhouding tussen de reaktanten.

Vanuit de ervaring daartoe geleid valt Paul's redenering om te keren (T: 70-71). Wordt dit als nieuw gezichtspunt geaccepteerd, dan betekent het dat konstante massaverhoudingen een kenmerk wordt van chemische reactie (T: 85-86 + 88-89, zie ook 3.1.4). 'Reageren' heeft nu niet meer alleen de reeds eerder afgesproken, beschrijvende, kwalitatieve notie 'verdwijnen en ontstaan van stofindividuen' in zich. Het krijgt een uitbreiding door de toepassing van dit nieuwe, onderling afgesproken criterium rond 'reactie'. Dit nieuwe kenmerk hoort dus ook minstens thuis in een beschrijvend niveau chemie t.a.v. waargenomen veranderingen.

Dik noemt het aftasten van de grenzen van het begrip 'zuiver stofindividu' het verantwoorden van de keuze voor het gezichtspunt zuivere stof (94-95). Ik versta dit tijdens ons gesprek aanvankelijk in de zin dat voor een specifiek geval wordt nagegaan of een benoeming overeenkomt met een gemaakte afspraak (H: 115-116, 121-124). *Deze 'verantwoording' gaat om het nagaan of een beschrijvende regel korrekt wordt toegepast op experimenten grondniveau. De verantwoording waarop Dik doelt heeft echter betrekking op nadenken over een beschrijvend begrip, nl. 'zuivere stof' als algemeen kenmerk.*

In de door Dik bedoelde verantwoording is het objekt van vraagstelling veranderd van 'mag ik dit stofindividu zuiver noemen?' naar 'welke gevolgen vloeien voort uit het zuivere-stof-zijn?' (D: 136-144; P: 149-153; H: 161, 166, 169-171).

Zowel Paul (162, 167) als ik zagen door dit gesprek in dat de eerste afleiding van de wet van Proust op een kwalitatief andere werkwijze berust dan de tweede. Paul benoemde het destijds als "eigen ervaring met de overgang B naar T" (162). Mijn verraste "oohh" (155) geeft mijn doorbrekend inzicht weer dat ik ook onder woorden kan brengen, dus explicitering (161 + 166 + 169-171 + 173-174).

Dik en Ted konden ons (Paul en Huub) in vorige besprekingen niet in een paar zinnen uitleggen wat zij bedoelden. Door met elkaar te spreken en naar elkaar te luisteren vonden wij woorden en uitdrukkingen die een uitweg boden uit de aanvankelijk bestaande situatie niet-verstaan. Wij maakten samen nieuwe taal om over de nieuw ontdekte relaties als één gespreksgemeenschap te kunnen communiceren: *gespreksproductiviteit*.

In protocol 10 komt naar voren dat er een verschuiving in vraagstelling optreedt van 'mag ik dit een zuiver stofindividu noemen' naar 'wat zijn de konsekwenties van het zuivere stof zijn'. Ten Voorde en De Miranda zeiden over verandering in vraagstelling, die zij **objektwisseling** noemden, het volgende: "Dit ontstaan van zaken van een hoger niveau in een durend gesprek wordt aangeduid met de term objektwisseling"¹. In protocol 10 zijn wij met elkaar in een durend gesprek verwickeld. Om de term objektwisseling in bedoelde betekenis hier toe te kunnen kennen, moet dus nog een niveauperandering aanwijsbaar zijn. Wij benoemden destijds het afleiden van de wet van Proust uit het begrip 'zuivere stof' als een redenering van een beschouwend niveau (+ D: 25-27, 95, 140-142, 162).

In 3.3.4 gaf ik als kenmerk van zo'n redenering dat er een structuur wordt aangebracht in de beschrijvende handelingsmogelijkheden. Zo biedt de redenering uit 3.3.4 de mogelijkheid te besluiten welke volumeverhoudingsgetallen wél en welke niet voor een stofindividu, gelet op ieder van zijn samenstellende elementindividen, bij de één-tot-één gasreactie kunnen worden gevonden. Dit levert een zekere reeks waarden $m : n$ op, waarvan m afhangt van het stofindividu. Dat er een reeks ontstaat, is een gevolg van het kenmerk 'structuur aanbrengen in beschrijvende regelmaat', het gaat om meer dan één experiment. De chemische wet van Gay-Lussac geeft alleen aan dat de volumeverhoudingen geheeltallig zullen zijn, maar spreekt zich niet uit over de vraag 'welke gehele getallen?' De wet van Proust komt in dit opzicht overeen met de wet van Gay-Lussac: er wordt slechts besloten tot 'konstante massaverhouding', niet tot welke of tot meer dan één waarde voor de massaverhouding.

Voor de beschouwende redenering in 3.3.4 zijn een aantal aannames nodig die de beschrijvende ervaring overstijgen. In de betreffende afleiding van de wet van Proust heb ik zulke extra veronderstellingen niet gebruikt. Een centrale plaats nam daarbij 'homogeen zijn' in, oftewel de opvatting dat een stofindividu zowel kwalitatief als kwantitatief konstant van samenstelling is. Dit kan ik echter niet zien als een beschouwend principe, maar als een geïdealiseerd, beschrijvend gezichtspunt.

Op grond van genoemde argumenten wil ik de afleiding van de wet van Proust zoals die in protocol 10 een rol speelde, thans niet meer een beschouwende redenering noemen. Wel ervoeren wij in ons gesprek niet-verstaan, zodat het lijkt alsof er

meer gebeurt dan alleen een beschrijvende taal hanteren. Ik moet dan ook konkluderen dat ik op dit moment deze afleiding niet kan plaatsen in het door mij gehanteerde niveauschema. Nader onderzoek kan hier wellicht uitkomst bieden.

Ondanks de verandering in vraagstelling, kan ik geen verandering van niveau aangeven. Daarom wil ik hier niet spreken over 'objektwisseling'. Ik benoem dit als **implicaties van een begrip nagaan**.

7.1.2 Korter en langer-lerenden t.a.v. didaktiek

We formuleerden op 17 juni 1978 in de loop van de tweede bijeenkomst van de Amersfoortse groep over kwantitatieve aspecten van chemische reacties de regelmaat dat uit V liter van een met het element waterstof samengesteld stofindividue in de gasfase $n \cdot 1/2 V$ liter waterstofgas kan ontstaan bij een één-tot-één gasreactie. Wij stelden ons tot taak te proberen hiervoor een verklaring te geven en daarbij ontstond het volgende gesprek (protokol 11, bijlage 17).

Protokol 11

Dik omschrijft onze taakstelling als gericht op een overgang van een beschrijvend naar een beschouwend niveau chemie (32-33) en formuleert dit op drie verschillende manieren:

- het beantwoorden van een waarom-vraag met betrekking tot de verwoorde volumeregelmaat (1-2);
- het zoeken naar een samenhang tussen het reactiebegrip en het kwantitatieve stofindividue-begrip (13-15);
- het tot stand brengen van een objektwisseling waarbij de gekonstateerde volumeregelmaat tot onderzoeksobject wordt genomen (40-43).

Dik geeft hiermee impliciet kwaliteiten aan waaraan volgens hem een beschouwende redenering moet voldoen. Dat hij dit op drie verschillende manieren kan, zie ik als uiting van het zich bevinden in de leerfase explicitering t.a.v. het onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische redeneringen (4.3.3). Ted (25, zie ook 30) en Nico (45-48) vinden het niet vanzelfsprekend dat hier een overgang naar een beschouwend niveau op moet treden. Zij zijn m.i. nog niet toe aan een explicitering t.a.v. het onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische redeneringen. Het didactisch leerproces van de deelnemers is zo bezien niet voor ieder even ver gevorderd, er zijn korter en langer-lerenden ten aanzien van het gedisciplineerd gebruiken van didactische termen.

Dik ziet de verklaring van de regelmaat als het verkrijgen van "*inzicht in de relatie tussen het reactiebegrip, het stofbegrip en die kwantitatieve eigenschappen*" (13-14). Hier zit impliciet het door mij gegeven kenmerk voor een beschouwende zienswijze in: structuur aanbrenen in handelingsmogelijkheden van het beschrijvend niveau. Dik gebruikt m.i. een beschrijvende didactische terminologie door een kenmerk te geven van de nagestreefde argumentatie (21-23). De anderen verstaan hem echter moeilijk (K: 24-30). Dik stelt daarom de chemische samenhang, benoemd als "waarom-vraag", voorop (D: 31-33) om zo eerst ons chemisch leerproces voortgang te la-

ten vinden. Uit de reacties blijkt dat daarvoor wel aanspreekbaarheid bestaat (bijv. Nico: "hij kan die vraag niet beantwoorden binnen wat hij tot nu toe opgebouwd heeft, hij moet een nieuw begrip invoeren, weer een nieuwe (ond) maken", 35-36).

We kunnen na afloop van het chemisch leerproces nagaan wat er, didactisch gezien, is gebeurd t.a.v. het begrijpen van de samenhang van regelmaat in volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie: niveauverhoging of -uitbreiding (T?: 25; J: 30; N: 47-48). Aandachtspunten daarbij kunnen de vragen zijn of als gevolg van de nieuwe chemische gezichtspunten (D: 81-84) de kwaliteit van argumentatie is veranderd (D: 67-73), dan wel of er *een nieuwe taal ontwikkeld moest worden* (N: 68; D: 69).

Zo'n nieuw gezichtspunt is bijv. de opvatting: "*porties van elementen (...) in die bepaalde groepering van elementen*" (K: 85-88), wat ook "*geheel getal*" zou omvatten (N: 91-92). De kwaliteit 'beschouwend' kan daarbij tot uiting komen door het gebruik van 'moeten' als verwoording van een **logisch noodzakelijk** te zetten stap. In die zin spreken m.i. Nico (91-92) en Ko (94): het gaat om een dwingende eis waaraan kwantitatieve regelmaat moet voldoen. Vanuit deze gezichtspunten is een redenering mogelijk waarin "*groepering*", "*per volume-eenheid*", "*opsplitsbaar*", "*portie(s)*" en "*volumeverhouding*" een relatienet vormen (K: 100-107). Het gaat om 'porties element per volume-eenheid' (K: 93-94, 102, 104-105). Met 'logisch noodzakelijk' wilde ik aangeven dat, vanuit een gekozen uitgangspunt, een bepaalde redenering volgt. We moeten zo'n eenmaal gekozen gezichtspunt consistent vervolgen en gebruiken (Ten Voorde, 1977, p. 163; 1981, p. 113)².

Nico koppelt 'geheel getal' aan 'portie' (141) zodat hij zowel voor Ko als voor Dik en Joop gesprekspartner kan zijn. Huub (= ik) duidt 'geheel getal' op een beschrijvende manier in het kader van volumeverhoudingen (147). Destijds vond ik echter dat er niettemin sprake was van een beschouwend standpunt, vanwege het gebruik van het begrip element (148). Ik had nog geen oog voor de kwaliteit van de argumentatie waarin 'element' funktioneert (3.3.2).

'Element' moest gaan dienen als kwantitatief beginsel waarmee we een structuur kunnen aanbrengen in de beschrijvende volumeregelmaat die een diskreet karakter heeft. Hier ontmoeten twee probleemgebieden elkaar. Allereerst het feit dat wij 'stof' en 'element' los zagen van 'hebben van massa' (2.2 en 2.3). Wij hadden daardoor alleen al moeite 'element' te koppelen aan de volgens de ervaringskontekst kontinu variabele grootheid massa. Het tweede probleem is het doorbreken van deze continue variabiliteit in massa in het kader van 'element'. De gekonstateerde volumeregelmaat bij chemische reacties leidt juist tot een opvatting waarbij aan 'elementmassa' een kwaliteit met een niet-kontinu variabel dus een diskreet karakter moet worden toegekend. Omdat we niet uitgingen van een deeltjeskarakter voor 'stof' en/of 'element', was het tot uitdrukking laten komen van een daarmee samenhangende diskrete kwaliteit van het gehanteerde begrip 'element' extra moeilijk.

Destijds was ik nog niet toe aan het zetten van een dergelijke stap (3.1.1, 3.3.4), want ik dacht bij diskontinu te veel aan atomen als afzonderbare deeltjes. *Nu ben ik van mening dat bij het denken over deze volumeregelmaat een atoombegrip als verkla-*

*rend principe noodzakelijk is en dat het niet meer gaat om de vraag 'wel of niet een atoombegrip?' maar om 'welk atoombegrip?'. Ik benoem het komen tot een kwantitatieve kwaliteit voor 'element' die dergelijke stapsgewijze regelmatigheden kan verklaren, in het vervolg als een **kwantificering van het elementbegrip**.*

Dik en Joop bedoelen m.i. een dergelijke kwaliteit met 'reageren volgens gehele getallen'. Ik was dan ook noch voor Dik en Joop, noch voor Nico en Ko gesprekspartner zoals duidelijk blijkt als Ko zegt: "*ja en die 2 heeft naar mijn mening niets meer met liters te maken, maar met het aantal porties die je veronderstelt*" (152-153).

Ik schreef zojuist dat ik meende dat er alleen al vanwege het gebruik van 'element' sprake was van een beschouwende zienswijze. Dit vloeide niet alleen voort uit het ontbreken van zicht op de kwaliteit van de argumentatie waarin een dergelijk begrip moet functioneren. Ik werd misleid door een voorstelling van zaken als zou iemand die eenmaal een beschouwend niveau bereikt heeft voor een bepaald begrip, over alles in een beschouwende taal spreken. Dit zou, nog steeds volgens mijn idee van destijds, zeker het geval zijn, als er termen werden gehanteerd die tot een beschouwend taalveld konden worden gerekend. Ik zag 'niveau' blijkbaar als een 'situatie' die wel of niet was bereikt.

De voorstelling van zaken die ik in 6.2.6 gaf, heeft dit bezwaar veel minder. Volgens die opvatting is het mogelijk dat de sprekers ten aanzien van bepaalde zaken al beschrijvende termen hanteren en ten aanzien van andere zaken termen die we kunnen rekenen tot een grondniveau. In deze visie komt sterker naar voren dat '*niveau*' en '*niveauperandering*' worden gezien als kenmerken om een gespreksituatie, dus een proces, mee te karakteriseren.

Huub benadrukt verschillende keren zijn gebondenheid aan het hem vertrouwde, beschrijvende relatienet t.a.v. volumeverhoudingen (169-171, 173-174, 176-177). Hij wijst vanuit de bij het beschrijvend niveau horende beperking tot de ervaring (3.3.3) daarom 'portie' af (195-197). Het valt hem moeilijk de *overstap te maken van een beschrijvend niveau met deze beperking naar het logisch noodzakelijke uitgangspunt dat het om een eigenschap gaat die altijd zal gelden* (J: 178-193; K: 198-203, 205).

Het punt dat het om een eigenschap gaat die altijd gelden zal, speelt in de discussie een belangrijke rol als kenmerk van een beschouwende redenering en is te verduidelijken aan de hand van de argumentatie uit 3.3.4. Deze geeft aan welke volumeverhoudingsgetallen wél en welke niet mogelijk zijn bij de één-tot-één gasreactie t.a.v. een bepaald elementindividu, en wordt voor alle gevallen geldig geacht. Daardoor ontstaat structuur in het beschrijvende relatienet. In 'altijd gelden' zit dus opgesloten dat er geen alternatief is en dat bij de redenering is gekozen voor één van twee elkaar uitsluitende mogelijkheden. Bijv. voor het element waterstof: bij de één-tot-één gasreactie t.a.v. dit element zal V liter van een met waterstof samengestelde stof bij ontleding

– altijd;

– niet altijd

$n \cdot 1/2 V$ liter waterstofgas leveren, waarin n een natuurlijk getal voorstelt.

Ten Voorde (1981, p. 100) noemt *het maken van een keuze tussen dergelijke logische alternatieven een kenmerk van een overgang naar een beschouwende redenering*. De zojuist gegeven vergelijking met de argumentatie uit 3.3.4 geeft aan dat hier een ander criterium ligt voor het kunnen toekennen van de kwaliteit 'beschouwend'.

7.1.3 Ontwikkelen van een beschouwend taalveld chemie

We waren in de Amersfoortse groep gewend 'stof', 'stofindividu', 'element', 'reactie' en 'reactie-individu' te gebruiken. 'Portie' en 'groepering' waren nieuw voor ons (protokol 11, regel 86, 118-124). In hoeverre deze bruikbaar bleken, ga ik na aan de hand van protokol 12 (bijlage 18), een gedeelte van het gesprek op dezelfde dag dat komt na protokol 11.

Protokol 12

In het gesprek dat ligt tussen protokol 11 en 12 was een van de thema's: wat noemen we een kwantitatieve eigenschap van een elementindividu? Dit gaat hier nog door waarbij de term '(chemische) verdunbaarheid' valt (1, 29, 39, 42 en 51; zie voor de betekenis ervan het eind van 5.3.3). Het blijkt daarbij dat *het wel mogelijk is eenduidig te spreken over de chemische verdunbaarheid van de enkelvoudige stof waterstofgas maar niet over de chemische verdunbaarheid van de samengestelde stof waterstofoxide. In het laatste geval moet het elementbegrip een rol gaan spelen*. Dergelijke moeilijkheden rond het gebruik van 'verdunbaarheid' waren voor ons de aanleiding geweest tot de gesprekken over de formulering van kwantitatieve reactiekenmerken.

Joop, Paul, Chris en Ted (C: 16-20) nemen, ondanks ondervonden problemen, 'verdunbaarheid' als voorlopige naam voor de gezochte 'kwantitatieve kwaliteit van element' (P: 28-29, 39-40, 42-43). Hierbij staat voor Chris "het element waterstof, als zodanig" tegenover het element waterstof in een bepaald stofindividu (20, 21)³. Aan het eerste wil hij "geen kwantitatieve eigenschappen aan toekennen", aan het tweede dus wel (C: 24-26). Joop is het daar niet mee eens "want het element waterstof heeft als kenmerk, als eigenschap dat het gehele getallen oplevert" (33-35). Hij kent hiermee een kwantitatieve kwaliteit toe aan het begrip element (3.1.4). Deze visie op het begrip element kwam ook ter sprake in protokol 11 (89).

Chris lijkt dus na het constateren van bepaalde volume- en/of massaverhoudingen er wel toe over te gaan deze te koppelen aan de betreffende stof- en/of elementindividuen, maar hij zet niet de fundamentele stap 'volume' en 'massa' te verbinden met de begrippen 'stof' en 'element'. M.i. vloeit dit voort uit het ontkoppelen van 'stof' en 'element' van 'hebben van massa' en 'innemen van ruimte' (2.2, 2.3).

Paul komt tot een formulering waarin hij een relatie legt tussen de begrippen 'kwantitatieve eigenschap', 'element' en 'stofindividu' (39-40) en "de verdunbaarheden van de elementen (...) kwantitatieve eigenschappen van de stoffen" noemt (42-43). Tenslotte geeft hij aan dat "de verdunbaarheden van de elementen

in een bepaalde stof (...) kwantitatieve eigenschappen van die bepaalde stof" zijn (51-53). Wij proberen hier dus een taal te ontwikkelen waarin wij met termen als 'element', 'verdunbaarheid', 'kwantitatieve eigenschap', 'portie' en 'geheel getal' de gevonden volumeregelmaat kunnen verklaren.

Ko vindt 'stoffen' of 'stofindividue' voor deze redenering niet geschikt omdat dat hem doet denken aan het beschrijvende gezichtspunt 'verdwijnen en ontstaan van stofindividue' en 'element' juist als behoudsprincipe is bedoeld (74-79; zie ook 5.3.1). Dit door Ko uitgesproken ongenoegen zou verdwijnen bij gebruik van "groepering elementen" (60-62) dat hij al eerder gebruikte in protocol 11, regel 86. *"Stof" is nu benoembaar als "de groepering elementen" (60) en 'reactie' als "hergroepering" (80). Hiermee wordt een nieuw soort argumentatie mogelijk t.a.v. chemische reactie. Ik wil hier spreken van een op een beschouwend niveau gericht taalveld.*

Huub (= ik) ziet niet dat Ko met het gebruik van deze nieuwe termen een stap heeft gezet als gevolg van het innemen van een nieuw gezichtspunt (66-67). Ik zei in 7.1.2 dat ik Huub al in het begin niet tot de gespreksgemeenschap wilde rekenen. Nu constateer ik dat de zaken waarover de anderen spreken voor hem nog steeds geen ervaring zijn geworden. Ik kon in hoofdstuk 6 t.a.v. Caroline, ondanks haar niet-volledig-mee-kunnen-spreken met de anderen in haar gespreksgroepje, toch in de loop van de tijd een zekere vordering opmerken in de vorming van aanspreekbaarheid voor de betreffende chemische thema's. Ik kan dit niet voor Huub. Het is achteraf dan ook te begrijpen dat hij (= ik) later in het gesprek zei: *"ik heb er geen bal van begrepen, ik begrijp er nog steeds niets van, jij met je porties, ik denk dan meteen aan porties mosselen of zo"* (2.1.2).

De groep spreekt nog niet unaniem over de stof waterstof als over de 'enkelvoudige elementgroepering waterstof', maar over "de stof waterstof" (D: 97-99; C: 110-111 en P: 112), of over "de enkelvoudige stof" (D: 117). Ik wil dit zeker zien als gevolg van het met elkaar bezig zijn in een levend gesprek, en dus onnauwkeurigheden gebruikend, die de goede verstaanders weten te begrijpen. Ik acht het daarnaast niet uitgesloten dat de aandacht van de sprekers nog niet consequent is gericht op het element waterstof, maar op een combinatie ervan met de stof waterstofgas (C: 110-111; P: 112). Het oude taalveld volgens welk stofindividue kunnen verdwijnen en ontstaan is dus nog niet geheel verlaten.

Het combineren van 'portie' met 'groepering' leidt tot een formulering die Dik (134), Ko (131) en Huub (135-136) dingmatig vinden klinken. Dit voldoet niet aan het niet-voorwerpelijk spreken over datgene wat we in formules tot uitdrukking willen brengen (zie ook relaas en interpretatie 5 in 2.1.2 waarin ik zeg bij porties aan 'porties mosselen te denken'). 'Verdunbaarheid' en 'groepering' roepen zulk een dingmatigheid niet op (P: 127-130). Dik benoemt dit dan ook als in een "andersoortige taal te praten dan die van het beschrijvend niveau" (151-152).

'Verdunbaarheid' is echter omschreven als het aantal keer dat uit 1 liter van een stofindividue in de gasfase "(die portie) 1/2 V liter" (D: 97, 101) kan ontstaan. Daardoor treedt een spanning op doordat er nu een koppeling lijkt te ontstaan tussen 'element' en 'volume' (K: 118-119, 124-125).

In deze groep is een begin gemaakt met de kwantificering van het elementbegrip. Uit de geanalyseerde gedeelten van hun gesprek blijkt duidelijk dat zij nog niet tot een afgeronde redenering zijn gekomen zoals die bijv. in 3.3.4 staat. Zij zoeken wel verder in een dergelijke richting door met de termen 'verdunbaarheid' en 'elementgroepering' te zoeken naar een verklaring voor de gevonden volumeregelmataat bij de één-tot-één gasreactie, waarbij vooral Ko een verband probeert te verwoorden (156-158, 160, 163). Hij blijft daarbij worstelen met de combinatie van volumetermen en termen die op 'element' slaan. Dat zij nog niet tot een volledige explicitering van deze verklaring in staat zijn, geven zij zelf duidelijk aan: "hoe zeg je het nou" (158), "ik dacht dat dat ook kwam achter het dus" (161), "wánnér één liter van dit, dan (...) zoiets" (164).

De term "formulehoeveelheid" (K: 177, 181-182) verenigt m.i. in zich de relatie tussen 'massa' en 'elementindividu' (K: 188-189). Met deze term kan Paul een formulering geven waarin hij voor een bijzonder geval een deel van de redenering uit 3.3.4 kan geven: "de verdunbaarheid van waterstof in de groepering waterstofchloride is één, daaruit volgt één formulehoeveelheid van de groepering waterstof geeft bij hergroeperen twee formulehoeveelheden van de groepering waterstofchloride" (207-210). Vergelijking van zijn uitspraak met de redenering zoals die staat in 3.3.4 geeft wel aan dat we nog niet kunnen spreken van een volledig beschouwende redenering, maar dat zij daar een begin mee hebben gemaakt.

7.1.4 Konklusie

Het verklaren van de bij de één-tot-één gasreactie optredende extra volumeregelmataat naast die welke vervat is in de wet van Gay-Lussac, vereist dat de aandacht op de relatie tussen de gevonden verhoudingsgetallen zelf wordt gericht. Het gaat dus om een ander objekt van vraagstelling dan het bepalen van de grootte van deze getallen. Nu wordt gezocht naar een structuur in de samenhang tussen de volumeverhoudingsgetallen. Voor het kunnen geven van een dergelijke verklaring moet een nieuw gezichtspunt worden ingenomen. Gebeurt dit niet, dan kan een kloof van niet-verstaan worden opgemerkt.

Bij het analyseren van het gesprek over het afleiden van de wet van Proust uit het homogeen-zijn van zuivere stof, bleek ook een andere vraagstelling én niet-verstaan op te treden (7.1.1). Ik kon daarbij *niet spreken over een niveauperandering, omdat het gezichtspunt van waaruit werd gesproken bij deze afleiding niet de beschrijvende ervaring te boven ging*. Evenmin was er sprake van een *keuze uit elkaar logisch uitsluitende alternatieven*.

In de Amersfoortse groep bleek een begin van een niveauperandering mogelijk doordat hij taal vormde om niet-corporusculair over de diskrete volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie te spreken. *Daarbij dienden chemische gezichtspunten om de verenigbaarheid van termen in een taalveld te beoordelen. Zo zag hij 'stof', 'reactie' en 'volumeverhouding' als beschrijvend en 'element', 'elementgroepering', 'hergroepering', 'portie' en 'geheel getal' als beschouwend*. Hier werd door de gespreksdeelnemers direkte ervaring opgedaan met het onderscheid tussen beschrijvende

en beschouwende manieren van spreken over kwantitatieve aspecten van chemische reacties.

Empirisch-chemische begripsgenese vond plaats in een beschrijvend en in een overgang naar een beschouwend niveau. De vorderingen in ons didactisch leerproces lagen vooral in het komen tot een grondniveau. Zo deed ik directe ervaring op met een kloof-van-niet-verstaan van de kant van degene aan wie niet kon worden uitgelegd (relaas 5, 2.1.2). Ik kan dit nu zien als het gevolg van mijn gebondenheid aan beschrijvende, chemische formuleringen, terwijl op dat moment de anderen er toe overgingen vanuit een beschouwend, chemisch gezichtspunt een structuur aan te brengen in de beschrijvende volumeregelmaat.

Bij de gesprekken werden twee verschillende gezichtspunten verwoord van waaruit zo'n structuur kan worden aangebracht, nl. 'portie van element' en 'hergroeperen van elementen volgens gehele getallen'. Beide formuleringen geven een niet-corpusculair gezichtspunt weer. In de volgende paragraaf wil ik dan ook bekijken hoe deze groep gebonden aan zulk niet-corpusculair spreken over chemische reacties komt tot een atoom als chemische eenheid.

7.2 Zoeken naar atoom als chemische eenheid

De gesprekken van de Amersfoortse groep begonnen in het voorjaar 1978 met het zoeken naar een verklaring voor de extra volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie zonder gebruik te maken van een corpusculaire voorstelling. Na twee maanden ontstond daarnaast een thema dat ik wil omschrijven als het zoeken naar een '*chemische eenheid*', hiervoor de kwantificering van het element genoemd. De bedoelde eenheid werd gezocht in de lijn van de betekenis van atoom als niet afzonderbaar deeltje (3.2.3).

7.2.1 Een chemische eenheid voor element

Naar aanleiding van protocol 12 (C: 110-111) merkte ik op dat bij het spreken over de stof waterstof, die als 'referentie-punt' diende bij een verklaring van de volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie, nog geen formulering werd gebruikt die de aandacht konsekvent richt op het element waterstof. Chris roerde deze kwestie tegen het eind van het gesprek op 17 juni 1978 weer aan (protocol 13, bijlage 19).

Protocol 13

Het gesprek was die dag o.a. begonnen rond mijn vraag waarom we, uitgaande van de stof waterstof, geen volumeverhoudingsgetallen vinden tussen één en twee (C: 7-8; zie ook 3.3.3 en 3.3.4). Deze vraag was voortgekomen uit mijn onderwijzen met het K-deel waarin een paar maal volumeverhoudingsgetallen ter sprake komen uitgaande van "enkelvoudige stoffen" (10-11). Chris wijst erop "als je als uitgangspunt kiest (...) met waterstof samengestelde stoffen waaruit geen groter volume gemaakt kan worden dan het volume van die stof" dat er dan "helemaal niets belangrijks

meer [is met] tussen die één en die twee, dan is alles $1/2$ $1/3$ $1/4$ " (11-13, 15-16). Naast het getal 1 komen nu alleen gebroken getallen voor.

Als niet duidelijk is waarom de stap wordt gezet in plaats van de stof waterstof uit te gaan van de bedoelde groep stofindividuen, dan kan de aandacht gericht blijven op het niet voorkomen van getallen tussen de twee grootste (T: 17, 43-44). Chemisch gezien maakt het geen verschil welk(e) stofindividu(en) als referentie wordt(en) genomen. Terugdenkend aan Paul's notitie gaat het hier i.p.v. de tweede rij uit zijn matrix nu om de eerste (3.3.4). Nu wordt niet meer een verklaring gezocht voor de reeks $2 : n$, maar voor de reeks $1 : n$. Voor mij blijft het belangrijke verschil tussen beide uitgangspunten echter dat in Chris' standpunt *niet anders dan op het element waterstof kan worden gelet*. Hiermee hangen m.i. bovendien nog de volgende punten samen:

- de problematische term "verdunbaarheid" (D: 22) vervalt;
- er komt "een zekere geconcentreerdheid van de elementen ten opzichte van deze groep stoffen" (C: 25-26) voor in de plaats;
- de gebruikte leergangkonstruktie vormde in elk geval voor Ko een blokkering om te gaan letten op 'element' (K: 35-37). Terugblikkend kan ik zeggen dat dat ook voor mij gold.

In protocol 12 (D: 97-114) leverde het onder woorden brengen van kwantitatieve regelmaat als behorend bij 'element-' en niet bij 'stofindividu' problemen op. Hier biedt, achteraf gezien, Chris' keuze om in plaats van de enkelvoudige stof waterstof stofindividuen als waterstofchloride te nemen als 'afteleenheid' zicht op een bruikbare verwoording (protokol 13, C: 24-26).

Als uitgangspunt bij het gesprek fungeerde de vraag naar het niet voorkomen van volumeverhoudingsgetallen tussen 1 en 2 bij de stof waterstof in de één-tot-één gasreactie (J: 38-39). De aandacht kan echter ook worden gericht op het optreden van een stofindividu-afhankelijke maximale waarde bij de volumeverhoudingen (J: 41). Dit letten op maximale volumeverhoudingsgetallen heeft geleid tot de invoering van 'verdunbaarheid'.

Ik ben het niet zonder meer eens met Joop dat "veel meer opvalt dat er niets tussen één en twee ligt, en tussen nul en één overal wat kan" (42). Om het ontbreken van getallen op te merken, moet op een bepaalde manier worden gekeken naar de bekende volumeverhoudingsgetallen. Daarbij kunnen, uitgaande van de stof waterstof de waarden 2 en 1 als bijzonder overkomen. Chris wijst erop dat uitgaande van waterstofchloride er niet twee van zulke gehele getallen bestaan (49, 52-54). Ook Joop spreekt uit dat achteraf gezien het z.g. bijzondere feit dat er geen getallen tussen 1 en 2 voorkomen een "dwaalspoor" kan worden genoemd (38, 53, 57). Vooraf heeft dit z.g. 'dwaalspoor' bij mij echter wél geleid tot een vraagstelling waardoor deze gespreksgemeenschap produktief kon worden (3.3.3 en 3.3.4).

Chris brengt onder woorden dat op deze manier de aandacht richten op het elementindividu een basis kan vormen voor de kwantificering ervan (79-80). In zijn uitspraak "je kunt de reactie niet een groter volume geven dan er al is", lees ik dat hij het oog heeft op die stofindividuen waaruit in de één-tot-één gasreactie geen

groter volume kan ontstaan van een stofindividu dat is samengesteld met het beschouwde elementindividu.

Door de laatst genoemde uitspraak van Chris aangesproken noemt Huub een overeenkomst met een analytisch criterium voor het toekennen van de kwaliteit 'enkelvoudig' aan een stofindividu (82-86):

– *we noemen die stofindividuen enkelvoudig of representant van slechts één elementindividu waarvan noch bekend is dat ze kunnen ontstaan bij een 'meer → 1' reactie, noch dat ze kunnen verdwijnen bij een '1 → meer' reactie. Als een enkelvoudig stofindividu verdwijnt, en er ontstaat slechts één stofindividu dat met dat elementindividu is samengesteld, dan is de massa van dat ontstane stofindividu altijd groter dan die van het verdwenen enkelvoudige stofindividu (82-84);*

– *we kennen aan die stofindividuen in gastoestand één elementmassaportie toe, als zijn volumeverhoudingsgetallen bij de één-tot-één gasreactie de reeks 1 : n vormen.*

In deze formuleringen komt een opeenvolging naar voren van een louter kwalitatief begrip 'enkelvoudig stofindividu' naar een kwantitatief begrip 'element', ook te benoemen als 'chemisch atoom'.

7.2.2 Van 'portie' naar 'verdeelbaar in porties'

Het protocol van ons gesprek op 17 juni 1978 was voor de eerste bijeenkomst erna, op 3 september, uitgeschreven en beschikbaar. Het lukte ons echter niet aan de hand ervan didactische thema's aan te wijzen en tot gespreksonderwerp te maken. Ik zie als eerste reden het feit dat het protocol slechts kort voor de bijeenkomst gereed was en als tweede een nog ontoereikende vordering bij de meesten van ons in het leerproces t.a.v. empirische chemie en t.a.v. didaktiek. Door de krappe voorbereidingstijd waren we onvoldoende in staat chemische en didactische begripsgenese in het gesprek aan te wijzen. De doorwerking van het gesprek op 17 juni lag dan ook vooral op chemisch vlak, mede doordat Paul zijn notitie ter bespreking indiende (3.3.4).

Na deze bijeenkomst spraken Paul en Dik 's avonds telefonisch over het gebruik van de term 'portie'. Paul had hun gesprek op de bandrecorder opgenomen, zodat hij het kon uitschrijven. Een gedeelte ervan staat in protocol 14 (bijlage 20).

Protocol 14

Bij de bespreking van Paul's notitie (3.3.4), die hij "Chemische Verdunbaarheid" had genoemd, bleek al dat ik het nu niet meer eens ben met de visie dat daarin "niet anders [wordt gedaan] dan de konsekwenties onderzoeken van de wet van Gay-Lussac" (P: 1-5). Ik toonde in 3.3.4 aan dat de aannames van het gekwantificeerd opgevatte element en van het behoud van elementmassa wezenlijke onderdelen vormen om tot Paul's matrix te komen. We kunnen zulk gekwantificeerd voorkomen benoemen met de term "portie" (D: 11). In 'portie' moet dan zijn opgenomen dat het gaat om een minimalisering t.a.v. elementmassa per standaardvolume of om een maximalisering t.a.v. het volume bij de één-tot-één gasreactie.

In 'chemische verdunbaarheid' van een elementindividu zit ook een dergelijke uiterste waarde: de maximale volumeverhouding die bij de één-tot-één gasreactie kan worden gevonden tussen het volume van het ontstane en dat van het verdwenen stofindividu (P: 12-13). We treffen de 'eenheidsportie' van een elementindividu nu aan bij de groep stofindividuen die als verdwijnstof in zo'n gasreactie geen volumeverhouding groter dan 1 : 1 opleveren, dus een chemische verdunbaarheid hebben ter grootte van één⁴. Daarop lattend is het voor mij te begrijpen dat Dik 'chemische verdunbaarheid' ook in 'portie' meent te horen (16).

Het gaat om de genese van een formulering met de termen 'element' en 'groepering' die het gekwantificeerde element in een verhoudingskontekst uit kan drukken. Dit gebeurt volgens Dik niet met 'is aanwezig in' (P: 21-26), omdat het "teveel [doet] denken aan dingen" (D: 27-28). Hij hoort dergelijke verhoudingen wel in "die groepering elementen hergroepeert zich volgens zoveel porties" (P: 28-29), of in 'verdelen in' (P: 35-36) en 'verdeelbaar in' (P: 37, 38, 39, 40 en 54). 'Verdelen' past in het reeds gevormde taalveld 'element', 'groepering' en 'hergroeperen'.

Paul stuurde de uitgeschreven bandopname van het telefoongesprek aan de andere leden van de groep en noteerde op het eind ervan⁵:

- in B: de chemische verdunbaarheid van een niet-sporige stof is het maximale aantal volume-eenheden samengestelde, gasvormige stof dat uit één volume-eenheid (z.t.p.) van de niet-sporige stof in gasvorm kan ontstaan.

- in T: de chemische verdeelbaarheid van een element in een bepaalde elementgroepering is het maximale aantal porties waarin dit element bij hergroepering verdeelbaar is.

(In deze formulering komt een uitspraak tot uitdrukking die ik ook op 2 september noteerde: "het getal n (dat is een geheel aantal) en het gebruik van porties veronderstellen elkaar.")

Als consequentie van bovenstaande formuleringen stel ik voor het begrip "verdunbaarheidsformule" te vervangen door "verdeelbaarheidsformule".

Een kenmerkende kwantitatieve eigenschap van een element in een elementgroepering is dat het zich bij een hergroepering maar in een maximaal aantal onderling gelijke delen verdelen laat. Gezien het principe van het elementmassabehoud moeten we ons dat m.i. fundamenteel wel voorstellen als een verdeling van massa. Maar bij gasreacties uit dit verdelingsprincipe zich ook in een bepaalde volumeverhouding (z.t.p.)".

Paul gebruikte onderscheiden beschrijvende ("in B: de chemische verdunbaarheid", "niet-sporige stof", "volume-eenheden", "ontstaan") en beschouwende taalvelden ("in T: de chemische verdeelbaarheid", "element", "elementgroepering", "porties", "verdeelbaar", "hergroepering"). *Ik beluister in de nieuwe term "verdeelbaarheidsformule" niet meer een bepaald stofindividu als 'afteenheid' maar het gekwantificeerd gedachte elementindividu als bepalende grootheid.*

In "het getal n (dat is een geheel aantal) en het gebruik van porties veronderstellen elkaar" zit m.i. opgenomen dat Paul 'portie' ziet als niet verder te verdelen 'eenheid'. Nico nam zo'n standpunt al eerder in (protokol 11, regel 141). De vraag hoe we ons

dat 'niet verder te verdelen zijn' kunnen voorstellen, werd gespreksthema in de eerstvolgende groepsbijeenkomst.

7.2.3 Van 'verdeelbaar in porties' naar 'verdeelbaar over een andere elementgroepering'

Paul zei op 3 september 1978 's avonds in zijn telefoongesprek met Dik: "ik zie nog wel een taart snijden, maar dat is (...) je denkt nu eenmaal materialistisch", "maar die taart is een eenheid die je opdeelt", en "de taart is op zichzelf een eenheid en die deel je op, en nu is het merkwaardige dat je dat opdelen ten opzichte van het element chloor maar maximaal in drie porties kunt doen" (protokol 14, 42-49). Zij zoeken een taalveld dat, bij het gebruik van 'portie', zo weinig mogelijk doet denken aan dingen. Mijn uitspraak op 17 juni 1978 "ik denk de hele tijd aan een portie mosselen" (relaas 5, 2.1.2) valt wel in zo'n voorwerpskontekst. Dik schreef over zijn problemen met deze kontekst, in een interne notitie van 26 oktober ter voorbereiding op de groepsbijeenkomst van 4 november 1978:

"Tijdens die bespreking op 17-6 ontstonden momenten waarin ik anderen niet meer of bijna-niet-meer verstond (enkele uitspraken in het protokol wijzen hierop).

Bovendien was ik 'argwanend' bij het horen van het woord 'portie' omdat ik vreesde dat de 'voorwerpjes' hiermee weer de intrede zouden doen, zonder dat van niveauverhoging sprake zou zijn geweest. Hierin werd ik m.i. gesteund, toen ik de 'aanschouwing-gebondenheid' van dat woord bij Giel konstateerde (zie: "portie mosselen" ...). Mijs inziens kleefde dit bezwaar niet aan het gebruik van de woorden: 'geheel getal' en 'verdunbaarheid'. Vandaar dat ik beide uitdrukkingen nogal eens naar voren bracht (protokol).

Gedurende de bespreking (17-6-78) bemerkte ik dat het woord 'portie' ook anders (dus niet als voorwerp) verstaan kon worden (zie enkele uitspraken van Paul en Ko). Bovendien slaagden we erin om tot een gedisciplineerd woordgebruik te komen in ons spreken over 'een stof' en 'een reactie', maar dan in termen van elementen ... "

Dik gaf zijn notitie de titel "*Van atoom als deeltje naar atoom als principe: een deblokkeringsproces*". Ik versta 'atoom-als-deeltje' nu als afzonderbaar deeltje (3.2.2) en 'atoom-als-principe' als chemische atoom (3.2.3). Wij probeerden in de Amersfoortse groep een verandering tot stand te brengen van de eerste naar de tweede betekenis. Dik noemt dit "een deblokkeringsproces" en bedoelt daarmee het verlaten van de oude, veelal door overdracht aangeleerde betekenis van 'atoom als kleinste voorwerpje' en het zoeken van nieuwe termen om niet-voorwerpelij over kwantitatieve aspecten van chemische reacties te spreken. Zulk zoeken komt o.a. in het volgende fragment van onze bijeenkomst d.d. 4-11-1978 aan de orde (bijlage 21).

Protokol 15

Chemisch gesproken (C: 1-2) komt het bij de genese van een formule op hetzelfde neer of bij de één-tot-één gasreactie wordt uitgegaan van de enkelvoudige stof waterstof, of van de met waterstof samengestelde stofindividen in gastoestand waaruit 'geen groter volume' kan ontstaan. Uitgaande van de stof waterstof was de leergang in het verleden gekomen tot de idee 'chemische verdunbaarheid'. Zoals gemeld (7.1.3) leverde dit begrip moeilijkheden op bij de verwoording van 'chemische verdunbaarheid van een element'. Zo is het te begrijpen dat Chris zegt: "het wordt in je leergang wel een verschil omdat je niet eerst die moeizame weg via chemische verdunbaarheid hoeft te bewandelen" (2-3).

In de notitie van Paul wordt de matrix gekonstrueerd door een natuurlijk getal, dat empirisch te bepalen maximale volumeverhouding bij de één-tot-één gasreactie voorstelt, te delen door de reeks van de natuurlijke getallen. Huub wijst op de mogelijkheid om aan de hand van deze maximale volumeverhoudingsgetallen stofindividen te karakteriseren (9-13). Chris sluit hierbij aan door erop te wijzen dat "dat karakteriseren [gebeurt] door te kijken naar die groep stoffen waar ik het over heb" (18-19). Zuiver chemisch gesproken kan ik met Paul instemmen dat het "een willekeurige selectie" (21) van stofindividen betreft. Maar erop lettend dat we deze groep stofindividen kunnen karakteriseren als representant van "een ondeelbare hoeveelheid" van het element waterstof (29-33), zie ik zijn keuze niet als een willekeurige. Deze groep stofindividen vereist letten op 'element' omdat het niet meer gaat om één stofindividu. Daardoor wordt een koppeling tot stand gebracht tussen de kwaliteiten 'ondeelbaar' en 'elementindividu'. Ondeelbaar betekent voorlopig het niet kunnen geven van een 'groter volume' in de één-tot-één gasreactie.

Chris had niet alleen moeite met de keuze van waterstofgas als referentie-stofindividu bij het formuleren van regelmaat, maar ook met de term 'verdeelbaar'. Hij vroeg kort voor protokol 15 aan Paul: "verdelen waarover?" en deze vraag werd gespreksthemata (protokol 16, bijlage 22).

Protokol 16

Voor Chris heeft spreken over 'de verdeelbaarheid' van een elementindividu in een groepering' weinig betekenis (7-8). Paul hecht er echter in ieder geval één betekenis aan die past in een verhoudingskontekst: "als hij in een andere groepering twee is, dan moet er in de verhoudingen van volumes, massa's, weet ik, dat moet dan zo zijn" (K: 10-12; P:13). Chris ziet waarschijnlijk n.a.v. deze uitspraak verdeelbaarheid als het vermogen van het verdelen "van een massahoeveelheid element over een [standaard]volume" (24-25). Ik kan dit interpreteren als een weergave van de noodzaak die Chris voelt om nadrukkelijk een relatie te horen tussen beschrijvende verwoordingen ("massahoeveelheid over een volume") en beschouwende ("verdeelbaarheid").

Paul en Ko wijzen dit af (26) wat ik kan begrijpen omdat "massahoeveelheid" een beeld van 'voorwerpen' kan oproepen. Paul koppelt 'verdeelbaarheid' (= "het" in "het zit gekombineerd", 30) wel met elementmassabehoud, maar wijst het gebruik van "volume" af (33). Dat hij 'volume' een irrelevante zaak vindt, komt ook uit de omschrijving van 'standaardvolume' naar voren: de grootte is variabel, maar moet wel in een redenering konstant zijn (33). Paul geeft 'verdelen over' de betekenis "over andere elementgroeperingen" (35). Ik versta dit in de lijn van de redenering uit 3.3.4 als 'verdelen van de elementmassa over andere elementgroeperingen'. In die zin drukt hij zich ook uit in zijn notitie die ik in 7.2.2 aanhaalde.

Nu dit gesprek herlezend en benoemend kan ik aan 'verdelen over andere elementgroeperingen' nog een andere interpretatie geven. Ik ben overigens niet van mening dat Paul destijds deze interpretatie op het oog had. "Elementgroepering" heeft hierbij slechts een kwalitatieve betekenis en "twee" geeft het maximale aantal stofindividueen aan dat kan ontstaan uit het verdwenen stofindividue bij een gasreactie; alle genoemde stofindividueen zijn met hetzelfde elementindividue samengesteld en van ieder stofindividue gaat het om een standaardvolume. Bovendien geldt de eis dat het verdwenen stofindividue het enige is dat is samengesteld met dit elementindividue. Als voorbeeld kunt u denken aan chloor: uit V liter chloor kunnen bij reactie maximaal twee stofindividueen met een volume van V liter ontstaan. Dit gebeurt bijv. in de reactie tussen chloor en trichloormethaan. Deze, door mij achteraf gegeven, interpretatie van 'verdeelbaar over andere elementgroeperingen' houdt in dat de beperking tot de één-tot-één gasreactie wordt verruimd tot een 'één-tot-meer gasreactie'.

Een nadere invulling van 'verdeelbaar' betreft de vraag: "portie, maar van wat?" (K: 57). Deze vraag is mede geïnduceerd door 'het verdelen van een taart' in samenhang met 'portie' waarover Dik en Paul spraken (protokol 14, 42-54). Hierin zit het risico besloten dat 'portie' als 'ding' wordt gezien, zeker in de combinatie "verdelen in wat" (N: 74-78). Deze dingmatigheid klinkt niet door in de opvatting "verdeelbaar over andere elementgroeperingen" (C: 34; P: 35; C: 81-82; P: 86-88). Ik wil deze formulering de kwaliteit beschouwend toekennen omdat hij de mogelijkheid biedt aan te geven hoe zulk verdelen maximaal kan geschieden (bij gelijke volumes): in 'porties' of 'over andere elementgroeperingen'. Afhankelijk van de vraag of 'elementgroepering' louter kwalitatief of ook kwantitatief wordt verstaan en van het wel of niet loslaten van de beperking tot de één-tot-één gasreactie krijgt dit 'verdelen over' de ene of de andere hierboven aangeduide betekenis.

Chris gebruikte eerder 'ondeelbare hoeveelheid van een elementindividue' (protokol 15, regel 33). Gezien tegen het licht van de zojuist gegeven omschrijving voor 'verdeelbaar over andere elementgroeperingen' kan ik 'ondeelbaar' de betekenis toekennen 'niet-meer-verdeelbaar-zijn over meer dan één elementgroepering'. *'Ondeelbaar' heeft zo een kwantitatieve betekenis gekregen die overeenkomsten vindt vertonen met het in 6.2.7 beschreven semi-kwantitatieve taalveld. Ook daarin speelden termen als 'meer', 'minder' of 'het verschil' een rol. Ik zie het toekennen van een dergelijke betekenis aan 'verdeelbaar over' als een mogelijk eerste stap in het tot stand brengen van een kwantitatief begrip element.*

In de kwantificering van het element hoort een expliciete koppeling tussen 'hoeveelheid' en 'element' (C: 145-146). Om te voorkomen dat 'hoeveelheid' in een voorwerpsfeer wordt verstaan, moet de aandacht gericht zijn op het verhoudingsaspect in de relaties (N: 154-156, 167-169). Dit is van belang omdat 'verdelen in porties' (N: 156-159) zo'n voorwerpsfeer op kan roepen (H: 160). Ondanks de eerdere uitbreiding van 'verdelen' tot 'verdelen over een andere elementgroepering' ondervindt Paul taalnod (161) wat kan aangeven dat de term 'verdelen' verdere uitbreiding behoeft.

Om te komen tot een geschikte kwantificering van het elementbegrip zullen niet alleen massanoties aandacht moeten krijgen (N: 171-172, 175-176), maar ook volume-aspekten. Want het doel van de groep is regelmaat in volumeverhoudingsgetallen te verklaren (K: 199-201; H: 233-234, 236-239). *Het gaat om een relatie tussen 'elementmassabehoud', 'verdelen (volgens gehele getallen)' en 'volume'* (C: 217-219). In de formulering "kan een nieuwe hergroepering van elementen uit ontstaan, waarin 1/3 portie, of 1/3 gedeelte van de massa" (N: 227-229) zit het begrip 'standaardvolume' impliciet opgenomen.

Paul zei in 86-88: "het is: verdeelbaar over, over een andere elementgroepering, het element in een bepaalde elementgroepering is al of niet verdeelbaar over andere elementgroeperingen". Ik vind hierin de overgang opvallend van de aanvankelijke enkelvoudsvorm "elementgroepering" naar het meervoud "elementgroeperingen". Bij 'verdelen over' denken we snel aan 'meerdere mensen of dingen' (vergelijk Paul in protokol 14, 42-43). Het nadrukkelijke gebruik van het enkelvoud "elementgroepering" zie ik dan ook als aanwijzing dat Paul hier een beschouwende taal spreekt. Dat maakt zijn afwijzing van "volume" (23-33) ook begrijpelijk: bij een kwantitatief opgevatte betekenis van 'elementgroepering' in combinatie met 'hergroeperen', dat de chemische kontekst aangeeft, heeft het volume geen speciale plaats meer en kan het worden weggelaten in de redenering.

Chris en ik (= Huub) proberen in dit protokol de relatie tussen beschrijvende ervaring en beschouwende redenering daarover vast te houden, zodat wij wel het gebruik van 'volume' benadrukken. We verliezen daarbij uit het oog dat het nieuw ingenomen beschouwende gezichtspunt geen directe afbeelding in de beschrijvende regelmaat hoeft te hebben. Ik zie Nico's herhaalde opmerkingen t.a.v. het taalgebruik (62, 64, 71-72, 74-78, 103-114, 128-130, 132-135) tegen het licht van het verschil in benadering van het probleemveld door Paul enerzijds en door Chris en mij anderzijds: een weergave van het gevoel dat een beschouwende taal zijn eigen 'idioom' heeft die niet direct te associëren hoeft te zijn met termen uit een grond- of een beschrijvend niveau.

7.2.4 Van 'verdeelbaar over' naar 'onverdeelbaar'

In 7.2.3 wees ik met 'verdelen over een andere elementgroepering' m.i. een eerste kwantificering van het element aan. Een nadere invulling krijgt het in het vervolg van het gesprek (protokol 17, bijlage 23).

Protokol 17

Wij maakten, zoals eerder aangegeven (relaas 6 in 2.2.1, 2.2.2, 2.3) geen onderscheid tussen de stofkenmerken 'hebben van massa' en 'innemen van ruimte' en de voorwerpsgebonden eigenschappen 'een zekere massa' of 'een zeker volume'. Ik beluister dit in Paul's waarschuwing "dat we moeten letten op hergroepering" (2): we gebruiken 'massa' of 'volume' die we destijds zagen als fysische termen, maar moeten desondanks letten op de plaats vindende chemische reacties.

Het gaat m.i. zeker over een chemische kontekst als wordt gesproken over stof-individueen die bij de één-tot-één gasreactie geen 'groter volume' kunnen geven, ook al valt de term "volume" (P: 4). Ondanks de vorderingen voelt Chris zich nog in een beschrijvend niveau, maar hij is er duidelijk op gericht een overgang naar een beschouwend niveau tot stand te brengen (5-6).

Het ongenoegen dat 'portie' oproept, verdwijnt bij "ondeelbaarheidsprincipe" (A: 7-13). Dit is gekoppeld aan 'element' en we kunnen de grootte ervan in een bepaalde groepering aanduiden met 'potentie' (P: 14-18). Een redenering met de termen 'hergroepering', 'portie', 'potentie' en 'totaliteit' (P: 20-26, 30-33) leidt tot het besef dat er een bij 'stofindividu' horende grootte nodig is die Dik "hoeveelheid" (34) noemt. Hier volgen 'ongenoegen', 'analyse' en 'explicitering' elkaar dus zeer snel op! Een teken van de sterke zaakgebondenheid.

Chris verstaat wat Dik voorlopig benoemde met "hoeveelheid" (D: 34), als 'volume' (C: 38-40). Ik vermoed dat Paul dit afwijst omdat hij een grootte als 'formulehoeveelheid' op het oog heeft (protokol 12, 177-178). In ieder geval gaat het Paul om "massa" (41-42) als het hoeveelheidsaspect dat met het behoudsprincipe 'element' is verbonden.

Als bij een één-tot-één gasreactie het volume van de verdwenen en de ontstane stofindividueen niet gelijk is aan elkaar, dan verandert ook de 'potentie van een elementindividu tot hergroepering' (P: 20-25). Dit vormt m.i. de basis voor Chris' uitspraak dat "het volume gewoon maar even niet mee[doet] (...) als jij zegt 'de potentie van waterstof in'" (43-45). Zijn ongenoegen met 'verdelen' geeft hij aan door erop te wijzen dat een 'letterlijke vertaling' ervan bij bijv. waterstofchloride geen betekenis heeft (53). Hij ziet 'verdelen' daar niet als bruikbaar, dus is de toepassing volgens hem stofindividu-gebonden. Ik interpreteer zijn tegenwerpingen als het zoeken naar een term die de aandacht richt op het 'element' en daarmee bruikbaar is in alle voorkomende gevallen. Hij wijst het formele gebruik af van 'verdelen van het element waterstof' bij stofindividueen als waterstofchloride. Hij is dus bezig met een analyse van zijn ongenoegen met de term 'verdeelbaar' en heeft nog geen volledige objektwisseling tot stand gebracht (7.1.1).

Chris formuleert nu tastenderwijs: "misschien wordt het dan duidelijker, in waterstofchloride - als je aan die hergroepering denkt - dan kan, je zou haast moeten zeggen dan kan het element waterstof niet aan de hergroepering deelnemen, maar dat is niet helemaal goed" (79-82). Ik kan dit begrijpen als ik aanneem dat hij een één-tot-één gasreactie op het oog heeft waarbij het verdwenen volume waterstofchloridegas groter is dan het volume van het ontstane stofindividu. 'Verdelen'

suggereert juist een volumetoename. Daarom "zou [je] haast moeten zeggen dan kan het element waterstof niet aan de hergroepering deelnemen".

In deze uitspraak lees ik de moeite die deze kwantificering van het elementbegrip kost, als een passende taal daarbij moet worden gevormd. Ook Nico, Ans en Paul worstelen met het gebruiken van 'verdelen' in het geval waterstofchloride (N: 83; A: 88; P: 94). Het gaat dus niet om een persoonsgebonden probleem. Chris geeft een semi-kwantitatieve formulering: "het kan zich niet verdelen over verschillende hergroeperingen", "het kan niet tot meer hergroeperingen gaan behoren" (90-91, 96). Ik lees dit in de zin van de interpretatie die ik in 7.2.3 gaf n.a.v. protocol 16 regel 35: verdeelbaar over het maximale aantal elementgroeperingen met hetzelfde standaardvolume als de uitgangselementgroepering.

Huub (= ik) verbindt Chris' uitspraak met " $1/n$ " en benoemt dit als "het ondeelbare" (96). Het getal "1" daarin is gekoppeld aan de door Chris gekozen groep stof-individuen, nl. die welke in de één-tot-één gasreactie 'geen groter volume' kunnen opleveren. Er kan bij deze stofindividuen geen verdeling plaats vinden over meer dan één elementgroepering met hetzelfde standaardvolume. In die zin zie ik hier "ondeelbaar" functioneren.

Chris' ongenoegen met 'verdelen' en 'verdeelbaar' speelde in protocol 17 een rol. Even later, aan het einde van het gesprek gaan wij nogmaals op deze terminologie in (protocol 18, bijlage 24).

Protocol 18

De uitspraak van Huub "*stoffen karakteriseren met enerzijds elementsymbolen en anderzijds de getallen die aangeven het maximaal aantal porties waaruit je hem samenstelt die groepering*" (1-3) kan ik zien als een zeer bondige weergave van het in deze gespreksgemeenschap bereikte. Het gedeelte "waaruit je hem samenstelt" kan echter een voorwerpskontekst oproepen, die Huub later nadrukkelijker vervangt door een chemische: "*de elementgroepering! nu kun je een reactie weergeven met dus de verschillende elementgroeperingen en de volumeverhouding*" (7-8).

Het fragment van protocol 18 is het slot van de middagbespreking. In de ochtend was kort gesproken over 'hergroeperen van equivalenten'. Een van de deelnemers koppelde daar ook de term 'portie' aan. Zodoende krijgen 'portie' (12) en het elementsymbool nu een tweevoudige kwantitatieve betekenis, namelijk 'volumeportie' en 'equivalentportie' (H: 17-23). Omdat beide soorten portie niet altijd aan elkaar gelijk zijn (D: 23-27), leidt het door elkaar gebruiken ervan tot ongenoegen t.a.v. 'portie'.

In kwantitatieve zin hoeven beide 'porties' niet betrokken te zijn op een gelijk massaverhoudingsgetal. Daarnaast is ook hun ontstaansgrond verschillend. 'Volumeportie' is voortgekomen uit volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie, dus verbonden met een bepaalde fysische toestand van stofindividuen; 'equivalentportie' is echter gebaseerd op de redoxreactie en dus verbonden met chemische toestanden van een elementindividu. Dit laatste houdt in dat aan elementindividuen met meer dan één redoxkoppel en dus meer dan één equivalentge-

7. EMPIRISCH CHEMIE-LEREN ALS BASIS VOOR DIDAKTIK LEREN

In het vorige hoofdstuk heb ik het leren in een groepje leerlingen, dat in 1983 in een klassesituatie werkte met het K-deel, benoemd als gespreksproductiviteit. Door samen te spreken konden zij tot nieuwe thema's en tot explicitering van begrippen komen. De gesprekken binnen de Amersfoortse groep, waarvan ik één van de deelnemers was, vonden van 1978 tot 1982 niet zoals bij de leerlingen aan de hand van een voorgestructureerde reeks opdrachten plaats. Wij hadden slechts een idee van de richting die we op wilden. Chemisch gezien was dat het afbeelden van kwantitatieve regelmaat bij reacties met behulp van formules voor stofindividen zonder gebruik te maken van een opvatting van kleinste, afzonderbare deeltjes. Didaktisch gezien ging het daarbij om het onderscheidend gebruik maken van beschrijvende en beschouwende taalvelden. In deze karakterisering komen drie aspecten naar voren die tijdens onze gesprekken een houvast vormden:

- onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische taalvelden (7.1);
- streven naar een atoom-begrip in de zin van 3.2.3 (7.2);
- niet over een hoeveelheid stofindividen spreken als over een voorwerp.

Deze drie aspecten wil ik in dit hoofdstuk nader toelichten aan de hand van fragmenten van onze gesprekken en van door ons gemaakte schriftelijke stukken. Ik zal net als in het vorige hoofdstuk proberen daarin gespreksproductiviteit aan te wijzen.

7.1 Onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische taalvelden

Het onderscheid tussen beschrijvende en beschouwende verwoordingen speelde een belangrijke rol in de gesprekken van de Amersfoortse groep (3.3.3, 3.3.4). Ervaringen rond de invoering van een elementbegrip (Ten Voorde, 1977, p. 432-478; zie ook: 1981, p. 92-127) vormden voor ons de basis voor het benoemen van het verschil tussen beide niveaus. We verbonden 'beschouwend', door ons toen 'theoretisch' genoemd, in die kwalitatieve, chemische samenhang vooral met 'krijgen van inzicht' in het wel of niet mogelijk zijn van het ontstaan van een bepaald stofindividen bij een reactie-individen.

De formulering dat het innemen van een beschouwend gezichtspunt structuur aanbrengt in de handelingsmogelijkheden van een beschrijvend niveau, speelde voor mij, en voorzover ik het kan beoordelen voor de meesten van ons, toen hoegenaamd geen rol. De gesprekken in de Amersfoortse groep waren voor ons dan ook een bron van ervaring niet alleen t.a.v. empirische chemie, maar ook t.a.v. chemie-didaktiek.

7.1.1. Objektwisseling?

In 3.1.1 heb ik een schets gegeven van het ontstaan van de wet van Proust en daarbij vermeld dat deze in het secundair scheikunde-onderwijs nog steeds één van de pijlers van de kwantitatieve chemie vormt (zie ook De Jong, 1990, p. 4). Ik had in een

interne nota (2 februari 1986) voor een subgroep van de Amersfoortse groep (Dik, Paul, Ted en Huub (= ik)) twee wegen geschetst om tot de wet van Proust te komen. Ik vermeldde de mogelijkheid van de eerste weg reeds aan het eind van 3.1.4. Deze twee wegen waren:

- 1) uitgaande van de idee zuivere stof kun je stellen dat elke gram van een stof zich bij een proef hetzelfde gedraagt t.a.v. het kunnen reageren. Dit houdt in dat een recht evenredig verband tussen de hoeveelheden van de stoffen bij een chemische reactie moet bestaan;
2. de lerenden uitgebreid ervaring op laten doen met metingen van hoeveelheden stoffen bij proeven. Bij idealisering volgt uit deze gegevens dan een recht evenredig verband tussen de hoeveelheden stoffen. Het vermoeden van het bestaan van een dergelijke relatie is dan de leidraad om afwijkingen ervan te gaan zien als onnauwkeurigheden ten gevolge van b.v. verkeerd aflezen en gebrekkige apparatuur. Zolang de verwachting van deze wet niet het uitgangspunt is bij de beschouwing van de meetresultaten is het moeilijk in te zien wat zij betekenen."

Overigens zou ik de eerste weg thans formuleren als: uitgaande van de idee 'zuivere stof', is het gerechtvaardigd aan te nemen dat elke gram van een stofindividu zich bij een proef hetzelfde gedraagt t.a.v. het kunnen reageren. Dit houdt in dat stofindividuen in een konstante massaverhouding zijn betrokken bij de chemische reactie.

De vraag of we bij de eerste weg om te komen tot de wet van Proust te maken hebben met een beschrijvende of een beschouwende manier van spreken dook regelmatig op in de discussies van deze groep. Aanvankelijk noemden Paul en ik beide wegen beschrijvend, wat Dik en Ted afwezen voor de eerste. Langere tijd lukte het niet elkaar te begrijpen. Achteraf merkte ik dat de tweetallen onbewust een verschillend stofbegrip hanteerden. Paul en ik hadden in 'zuivere stof' ook al kwantitatief chemische aspecten, zoals ontwikkeld in het K-deel, opgenomen. Dik en Ted bleven echter nog werken met de betekenisafpraak hierover gemaakt in het S-deel, waarbij nog slechts kwalitatief chemische stoffeigenschappen een rol speelden. In protokol 10 (bijlage 16) is een gedeelte weergegeven van het gesprek waarin de 'ontknoping' plaats vond (3 december 1986). Dik bedoelt in regel 95 met "T" een theoretisch = beschouwend niveau; Paul met "de overgang B naar T" (162) de overgang van een beschrijvend naar een beschouwend niveau.

Protokol 10

Ted wijst in regel 1 met "hier" naar de hierboven geciteerde, eerste afleiding van de wet van Proust waarin ik een "logische redenering" opzet. Hiervoor zijn algemene termen nodig, waaronder een "gegeneraliseerd begrip zuivere stof" met "een zwaar inductief moment" (P: 2+6). Voor de beoogde redenering is een bepaald begrip zuivere stof nodig waarvoor een afspraak nodig is geweest (T: 14-15). Daar moet namelijk 'het hebben van massa' en 'het innemen van ruimte' in zijn opgenomen. Dat Ted dit opmerkt wijst op het verschil in stofbegrip tussen hem en Paul. In de

redenering zou Paul de vroeger afgesproken betekenis voor stof, die alleen kwalitatieve stof-eigenschappen betrof, stilzwijgend hebben aangevuld (T: 24).

Paul heeft echter niet het idee dat hij in zijn stofbegrip een nieuw aspect heeft opgenomen dat nu als verklarend principe dient (22-23). Ik neem aan dat het voor hem vanzelfsprekend is dat de betreffende hoeveelhedenaspecten in het stofbegrip zijn opgenomen. Zijn opmerking ruim zes jaar eerder in protocol 1, regel 5-9 (2.2.2), dat het niet om 'een etherisch beginsel gaat', wijst m.i. duidelijk in die richting.

Paul ziet zijn aktiviteit daarentegen als "de grens van het begrip af te tasten" (23). *Het gaat m.i. om iets anders dan het toepassen van een vroeger gemaakte, beschrijvende betekenisafpraak ten aanzien van bijvoorbeeld de vraag of een zeker materiaal kan worden benoemd als een zuiver stofindividu. Het betreft nu het nadenken over konsekwenties van de gemaakte afspraak omtrent 'stof'. Dik ziet dit als het overgaan naar een beschouwend niveau (25-27, 29-31). Het betekent het nadenken over de implicaties van zulke regels.*

De situatie van niet-verstaan in 32-48 komt doordat Ted niet, en Paul wel kwantitatieve aspecten heeft opgenomen in zijn begrip 'zuivere stof'. Bijgevolg houdt voor Paul een kwantitatief gezien ander verdwijnen het ontstaan in van een ander stofindividu (P: 43-66). Ted beperkt zich tot kwalitatieve aspecten: er is op voorhand geen reden om te spreken over het ontstaan van een ander stofindividu bij het reageren in andere massaverhoudingen (T: 54, 65, 67). In "de praktijk" blijkt een, kwantitatief gezien, verschillend verdwijnen van dezelfde stofindividuen te leiden tot een kwalitatief ander ontstaan (T: 69). Dit is af te leiden uit het begrip 'zuivere stof' (T: 70) als daarin zit opgenomen dat een stofindividu bij een reactie ontstaat volgens een konstante massaverhouding tussen de reaktanten.

Vanuit de ervaring daartoe geleid valt Paul's redenering om te keren (T: 70-71). Wordt dit als nieuw gezichtspunt geaccepteerd, dan betekent het dat konstante massaverhoudingen een kenmerk wordt van chemische reactie (T: 85-86 + 88-89, zie ook 3.1.4). 'Reageren' heeft nu niet meer alleen de reeds eerder afgesproken, beschrijvende, kwalitatieve notie 'verdwijnen en ontstaan van stofindividuen' in zich. Het krijgt een uitbreiding door de toepassing van dit nieuwe, onderling afgesproken criterium rond 'reactie'. Dit nieuwe kenmerk hoort dus ook minstens thuis in een beschrijvend niveau chemie t.a.v. waargenomen veranderingen.

Dik noemt het aftasten van de grenzen van het begrip 'zuiver stofindividu' het verantwoorden van de keuze voor het gezichtspunt zuivere stof (94-95). Ik versta dit tijdens ons gesprek aanvankelijk in de zin dat voor een specifiek geval wordt nagegaan of een benoeming overeenkomt met een gemaakte afspraak (H: 115-116, 121-124). *Deze 'verantwoording' gaat om het nagaan of een beschrijvende regel korrekt wordt toegepast op experimenten grondniveau. De verantwoording waarop Dik doelt heeft echter betrekking op nadenken over een beschrijvend begrip, nl. 'zuivere stof' als algemeen kenmerk.*

In de door Dik bedoelde verantwoording is het objekt van vraagstelling veranderd van 'mag ik dit stofindividu zuiver noemen?' naar 'welke gevolgen vloeien voort uit het zuivere-stof-zijn?' (D: 136-144; P: 149-153; H: 161, 166, 169-171).

Zowel Paul (162, 167) als ik zagen door dit gesprek in dat de eerste afleiding van de wet van Proust op een kwalitatief andere werkwijze berust dan de tweede. Paul benoemde het destijds als "eigen ervaring met de overgang B naar T" (162). Mijn verraste "oohh" (155) geeft mijn doorbrekend inzicht weer dat ik ook onder woorden kan brengen, dus explicitering (161 + 166 + 169-171 + 173-174).

Dik en Ted konden ons (Paul en Huub) in vorige besprekingen niet in een paar zinnen uitleggen wat zij bedoelden. Door met elkaar te spreken en naar elkaar te luisteren vonden wij woorden en uitdrukkingen die een uitweg boden uit de aanvankelijk bestaande situatie niet-verstaan. Wij maakten samen nieuwe taal om over de nieuw ontdekte relaties als één gespreksgemeenschap te kunnen communiceren: *gespreksproductiviteit*.

In protocol 10 komt naar voren dat er een verschuiving in vraagstelling optreedt van 'mag ik dit een zuiver stofindividu noemen' naar 'wat zijn de konsekwenties van het zuivere stof zijn'. Ten Voorde en De Miranda zeiden over verandering in vraagstelling, die zij **objektwisseling** noemden, het volgende: "Dit ontstaan van zaken van een hoger niveau in een durend gesprek wordt aangeduid met de term objektwisseling"¹. In protocol 10 zijn wij met elkaar in een durend gesprek verwickeld. Om de term objektwisseling in bedoelde betekenis hier toe te kunnen kennen, moet dus nog een niveauperandering aanwijsbaar zijn. Wij benoemden destijds het afleiden van de wet van Proust uit het begrip 'zuivere stof' als een redenering van een beschouwend niveau (+ D: 25-27, 95, 140-142, 162).

In 3.3.4 gaf ik als kenmerk van zo'n redenering dat er een structuur wordt aangebracht in de beschrijvende handelingsmogelijkheden. Zo biedt de redenering uit 3.3.4 de mogelijkheid te besluiten welke volumeverhoudingsgetallen wél en welke niet voor een stofindividu, gelet op ieder van zijn samenstellende elementindividen, bij de één-tot-één gasreactie kunnen worden gevonden. Dit levert een zekere reeks waarden $m : n$ op, waarvan m afhangt van het stofindividu. Dat er een reeks ontstaat, is een gevolg van het kenmerk 'structuur aanbrengen in beschrijvende regelmaat', het gaat om meer dan één experiment. De chemische wet van Gay-Lussac geeft alleen aan dat de volumeverhoudingen geheeltallig zullen zijn, maar spreekt zich niet uit over de vraag 'welke gehele getallen?' De wet van Proust komt in dit opzicht overeen met de wet van Gay-Lussac: er wordt slechts besloten tot 'konstante massaverhouding', niet tot welke of tot meer dan één waarde voor de massaverhouding.

Voor de beschouwende redenering in 3.3.4 zijn een aantal aannames nodig die de beschrijvende ervaring overstijgen. In de betreffende afleiding van de wet van Proust heb ik zulke extra veronderstellingen niet gebruikt. Een centrale plaats nam daarbij 'homogeen zijn' in, oftewel de opvatting dat een stofindividu zowel kwalitatief als kwantitatief konstant van samenstelling is. Dit kan ik echter niet zien als een beschouwend principe, maar als een geïdealiseerd, beschrijvend gezichtspunt.

Op grond van genoemde argumenten wil ik de afleiding van de wet van Proust zoals die in protocol 10 een rol speelde, thans niet meer een beschouwende redenering noemen. Wel ervoeren wij in ons gesprek niet-verstaan, zodat het lijkt alsof er

meer gebeurt dan alleen een beschrijvende taal hanteren. Ik moet dan ook konkluderen dat ik op dit moment deze afleiding niet kan plaatsen in het door mij gehanteerde niveauschema. Nader onderzoek kan hier wellicht uitkomst bieden.

Ondanks de verandering in vraagstelling, kan ik geen verandering van niveau aangeven. Daarom wil ik hier niet spreken over 'objektwisseling'. Ik benoem dit als **implicaties van een begrip nagaan**.

7.1.2 Korter en langer-lerenden t.a.v. didaktiek

We formuleerden op 17 juni 1978 in de loop van de tweede bijeenkomst van de Amersfoortse groep over kwantitatieve aspecten van chemische reacties de regelmaat dat uit V liter van een met het element waterstof samengesteld stofindividue in de gasfase $n \cdot 1/2 V$ liter waterstofgas kan ontstaan bij een één-tot-één gasreactie. Wij stelden ons tot taak te proberen hiervoor een verklaring te geven en daarbij ontstond het volgende gesprek (protokol 11, bijlage 17).

Protokol 11

Dik omschrijft onze taakstelling als gericht op een overgang van een beschrijvend naar een beschouwend niveau chemie (32-33) en formuleert dit op drie verschillende manieren:

- het beantwoorden van een waarom-vraag met betrekking tot de verwoorde volumeregelmaat (1-2);
- het zoeken naar een samenhang tussen het reactiebegrip en het kwantitatieve stofindividue-begrip (13-15);
- het tot stand brengen van een objektwisseling waarbij de gekonstateerde volumeregelmaat tot onderzoeksobject wordt genomen (40-43).

Dik geeft hiermee impliciet kwaliteiten aan waaraan volgens hem een beschouwende redenering moet voldoen. Dat hij dit op drie verschillende manieren kan, zie ik als uiting van het zich bevinden in de leerfase explicitering t.a.v. het onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische redeneringen (4.3.3). Ted (25, zie ook 30) en Nico (45-48) vinden het niet vanzelfsprekend dat hier een overgang naar een beschouwend niveau op moet treden. Zij zijn m.i. nog niet toe aan een explicitering t.a.v. het onderscheiden van beschrijvende en beschouwende, chemische redeneringen. Het didactisch leerproces van de deelnemers is zo bezien niet voor ieder even ver gevorderd, er zijn korter en langer-lerenden ten aanzien van het gedisciplineerd gebruiken van didactische termen.

Dik ziet de verklaring van de regelmaat als het verkrijgen van "*inzicht in de relatie tussen het reactiebegrip, het stofbegrip en die kwantitatieve eigenschappen*" (13-14). Hier zit impliciet het door mij gegeven kenmerk voor een beschouwende zienswijze in: structuur aanbrenen in handelingsmogelijkheden van het beschrijvend niveau. Dik gebruikt m.i. een beschrijvende didactische terminologie door een kenmerk te geven van de nagestreefde argumentatie (21-23). De anderen verstaan hem echter moeilijk (K: 24-30). Dik stelt daarom de chemische samenhang, benoemd als "waarom-vraag", voorop (D: 31-33) om zo eerst ons chemisch leerproces voortgang te la-

ten vinden. Uit de reacties blijkt dat daarvoor wel aanspreekbaarheid bestaat (bijv. Nico: "hij kan die vraag niet beantwoorden binnen wat hij tot nu toe opgebouwd heeft, hij moet een nieuw begrip invoeren, weer een nieuwe (ond) maken", 35-36).

We kunnen na afloop van het chemisch leerproces nagaan wat er, didactisch gezien, is gebeurd t.a.v. het begrijpen van de samenhang van regelmaat in volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie: niveauverhoging of -uitbreiding (T?: 25; J: 30; N: 47-48). Aandachtspunten daarbij kunnen de vragen zijn of als gevolg van de nieuwe chemische gezichtspunten (D: 81-84) de kwaliteit van argumentatie is veranderd (D: 67-73), dan wel of er *een nieuwe taal ontwikkeld moest worden* (N: 68; D: 69).

Zo'n nieuw gezichtspunt is bijv. de opvatting: "*porties van elementen (...) in die bepaalde groepering van elementen*" (K: 85-88), wat ook "*geheel getal*" zou omvatten (N: 91-92). De kwaliteit 'beschouwend' kan daarbij tot uiting komen door het gebruik van 'moeten' als verwoording van een **logisch noodzakelijk** te zetten stap. In die zin spreken m.i. Nico (91-92) en Ko (94): het gaat om een dwingende eis waaraan kwantitatieve regelmaat moet voldoen. Vanuit deze gezichtspunten is een redenering mogelijk waarin "*groepering*", "*per volume-eenheid*", "*opsplitsbaar*", "*portie(s)*" en "*volumeverhouding*" een relatienet vormen (K: 100-107). Het gaat om 'porties element per volume-eenheid' (K: 93-94, 102, 104-105). Met 'logisch noodzakelijk' wilde ik aangeven dat, vanuit een gekozen uitgangspunt, een bepaalde redenering volgt. We moeten zo'n eenmaal gekozen gezichtspunt consistent vervolgen en gebruiken (Ten Voorde, 1977, p. 163; 1981, p. 113)².

Nico koppelt 'geheel getal' aan 'portie' (141) zodat hij zowel voor Ko als voor Dik en Joop gesprekspartner kan zijn. Huub (= ik) duidt 'geheel getal' op een beschrijvende manier in het kader van volumeverhoudingen (147). Destijds vond ik echter dat er niettemin sprake was van een beschouwend standpunt, vanwege het gebruik van het begrip element (148). Ik had nog geen oog voor de kwaliteit van de argumentatie waarin 'element' funktioneert (3.3.2).

'Element' moest gaan dienen als kwantitatief beginsel waarmee we een structuur kunnen aanbrengen in de beschrijvende volumeregelmaat die een diskreet karakter heeft. Hier ontmoeten twee probleemgebieden elkaar. Allereerst het feit dat wij 'stof' en 'element' los zagen van 'hebben van massa' (2.2 en 2.3). Wij hadden daardoor alleen al moeite 'element' te koppelen aan de volgens de ervaringskontekst kontinu variabele grootheid massa. Het tweede probleem is het doorbreken van deze continue variabiliteit in massa in het kader van 'element'. De gekonstateerde volumeregelmaat bij chemische reacties leidt juist tot een opvatting waarbij aan 'elementmassa' een kwaliteit met een niet-kontinu variabel dus een diskreet karakter moet worden toegekend. Omdat we niet uitgingen van een deeltjeskarakter voor 'stof' en/of 'element', was het tot uitdrukking laten komen van een daarmee samenhangende diskrete kwaliteit van het gehanteerde begrip 'element' extra moeilijk.

Destijds was ik nog niet toe aan het zetten van een dergelijke stap (3.1.1, 3.3.4), want ik dacht bij diskontinu te veel aan atomen als afzonderbare deeltjes. *Nu ben ik van mening dat bij het denken over deze volumeregelmaat een atoombegrip als verkla-*

*rend principe noodzakelijk is en dat het niet meer gaat om de vraag 'wel of niet een atoombegrip?' maar om 'welk atoombegrip?'. Ik benoem het komen tot een kwantitatieve kwaliteit voor 'element' die dergelijke stapsgewijze regelmatigheden kan verklaren, in het vervolg als een **kwantificering van het elementbegrip**.*

Dik en Joop bedoelen m.i. een dergelijke kwaliteit met 'reageren volgens gehele getallen'. Ik was dan ook noch voor Dik en Joop, noch voor Nico en Ko gesprekspartner zoals duidelijk blijkt als Ko zegt: "*ja en die 2 heeft naar mijn mening niets meer met liters te maken, maar met het aantal porties die je veronderstelt*" (152-153).

Ik schreef zojuist dat ik meende dat er alleen al vanwege het gebruik van 'element' sprake was van een beschouwende zienswijze. Dit vloeide niet alleen voort uit het ontbreken van zicht op de kwaliteit van de argumentatie waarin een dergelijk begrip moet functioneren. Ik werd misleid door een voorstelling van zaken als zou iemand die eenmaal een beschouwend niveau bereikt heeft voor een bepaald begrip, over alles in een beschouwende taal spreken. Dit zou, nog steeds volgens mijn idee van destijds, zeker het geval zijn, als er termen werden gehanteerd die tot een beschouwend taalveld konden worden gerekend. Ik zag 'niveau' blijkbaar als een 'situatie' die wel of niet was bereikt.

De voorstelling van zaken die ik in 6.2.6 gaf, heeft dit bezwaar veel minder. Volgens die opvatting is het mogelijk dat de sprekers ten aanzien van bepaalde zaken al beschrijvende termen hanteren en ten aanzien van andere zaken termen die we kunnen rekenen tot een grondniveau. In deze visie komt sterker naar voren dat '*niveau*' en '*niveauverandering*' worden gezien als kenmerken om een gespreksituatie, dus een proces, mee te karakteriseren.

Huub benadrukt verschillende keren zijn gebondenheid aan het hem vertrouwde, beschrijvende relatienet t.a.v. volumeverhoudingen (169-171, 173-174, 176-177). Hij wijst vanuit de bij het beschrijvend niveau horende beperking tot de ervaring (3.3.3) daarom 'portie' af (195-197). Het valt hem moeilijk de *overstap te maken van een beschrijvend niveau met deze beperking naar het logisch noodzakelijke uitgangspunt dat het om een eigenschap gaat die altijd zal gelden* (J: 178-193; K: 198-203, 205).

Het punt dat het om een eigenschap gaat die altijd gelden zal, speelt in de discussie een belangrijke rol als kenmerk van een beschouwende redenering en is te verduidelijken aan de hand van de argumentatie uit 3.3.4. Deze geeft aan welke volumeverhoudingsgetallen wél en welke niet mogelijk zijn bij de één-tot-één gasreactie t.a.v. een bepaald elementindividu, en wordt voor alle gevallen geldig geacht. Daardoor ontstaat structuur in het beschrijvende relatienet. In 'altijd gelden' zit dus opgesloten dat er geen alternatief is en dat bij de redenering is gekozen voor één van twee elkaar uitsluitende mogelijkheden. Bijv. voor het element waterstof: bij de één-tot-één gasreactie t.a.v. dit element zal V liter van een met waterstof samengestelde stof bij ontleding

– altijd;

– niet altijd

$n \cdot 1/2 V$ liter waterstofgas leveren, waarin n een natuurlijk getal voorstelt.

Ten Voorde (1981, p. 100) noemt *het maken van een keuze tussen dergelijke logische alternatieven een kenmerk van een overgang naar een beschouwende redenering*. De zojuist gegeven vergelijking met de argumentatie uit 3.3.4 geeft aan dat hier een ander criterium ligt voor het kunnen toekennen van de kwaliteit 'beschouwend'.

7.1.3 Ontwikkelen van een beschouwend taalveld chemie

We waren in de Amersfoortse groep gewend 'stof', 'stofindividu', 'element', 'reactie' en 'reactie-individu' te gebruiken. 'Portie' en 'groepering' waren nieuw voor ons (protokol 11, regel 86, 118-124). In hoeverre deze bruikbaar bleken, ga ik na aan de hand van protokol 12 (bijlage 18), een gedeelte van het gesprek op dezelfde dag dat komt na protokol 11.

Protokol 12

In het gesprek dat ligt tussen protokol 11 en 12 was een van de thema's: wat noemen we een kwantitatieve eigenschap van een elementindividu? Dit gaat hier nog door waarbij de term '(chemische) verdunbaarheid' valt (1, 29, 39, 42 en 51; zie voor de betekenis ervan het eind van 5.3.3). Het blijkt daarbij dat het *wel mogelijk is eenduidig te spreken over de chemische verdunbaarheid van de enkelvoudige stof waterstofgas maar niet over de chemische verdunbaarheid van de samengestelde stof waterstofoxide*. In het laatste geval moet het elementbegrip een rol gaan spelen. Dergelijke moeilijkheden rond het gebruik van 'verdunbaarheid' waren voor ons de aanleiding geweest tot de gesprekken over de formulering van kwantitatieve reactiekenmerken.

Joop, Paul, Chris en Ted (C: 16-20) nemen, ondanks ondervonden problemen, 'verdunbaarheid' als voorlopige naam voor de gezochte 'kwantitatieve kwaliteit van element' (P: 28-29, 39-40, 42-43). Hierbij staat voor Chris "het element waterstof, als zodanig" tegenover het element waterstof in een bepaald stofindividu (20, 21)³. Aan het eerste wil hij "geen kwantitatieve eigenschappen aan toekennen", aan het tweede dus wel (C: 24-26). Joop is het daar niet mee eens "want het element waterstof heeft als kenmerk, als eigenschap dat het gehele getallen oplevert" (33-35). Hij kent hiermee een kwantitatieve kwaliteit toe aan het begrip element (3.1.4). Deze visie op het begrip element kwam ook ter sprake in protokol 11 (89).

Chris lijkt dus na het constateren van bepaalde volume- en/of massaverhoudingen er wel toe over te gaan deze te koppelen aan de betreffende stof- en/of elementindividuen, maar hij zet niet de fundamentele stap 'volume' en 'massa' te verbinden met de begrippen 'stof' en 'element'. M.i. vloeit dit voort uit het ontkoppelen van 'stof' en 'element' van 'hebben van massa' en 'innemen van ruimte' (2.2, 2.3).

Paul komt tot een formulering waarin hij een relatie legt tussen de begrippen 'kwantitatieve eigenschap', 'element' en 'stofindividu' (39-40) en "de verdunbaarheden van de elementen (...) kwantitatieve eigenschappen van de stoffen" noemt (42-43). Tenslotte geeft hij aan dat "de verdunbaarheden van de elementen

in een bepaalde stof (...) kwantitatieve eigenschappen van die bepaalde stof" zijn (51-53). Wij proberen hier dus een taal te ontwikkelen waarin wij met termen als 'element', 'verdunbaarheid', 'kwantitatieve eigenschap', 'portie' en 'geheel getal' de gevonden volumeregelmaat kunnen verklaren.

Ko vindt 'stoffen' of 'stofindividu' voor deze redenering niet geschikt omdat dat hem doet denken aan het beschrijvende gezichtspunt 'verdwijnen en ontstaan van stofindividuen' en 'element' juist als behoudsprincipe is bedoeld (74-79; zie ook 5.3.1). Dit door Ko uitgesproken ongenoegen zou verdwijnen bij gebruik van "groepering elementen" (60-62) dat hij al eerder gebruikte in protocol 11, regel 86. *"Stof" is nu benoembaar als "de groepering elementen" (60) en 'reactie' als "hergroeperen" (80). Hiermee wordt een nieuw soort argumentatie mogelijk t.a.v. chemische reactie. Ik wil hier spreken van een op een beschouwend niveau gericht taalveld.*

Huub (= ik) ziet niet dat Ko met het gebruik van deze nieuwe termen een stap heeft gezet als gevolg van het innemen van een nieuw gezichtspunt (66-67). Ik zei in 7.1.2 dat ik Huub al in het begin niet tot de gespreksgemeenschap wilde rekenen. Nu constateer ik dat de zaken waarover de anderen spreken voor hem nog steeds geen ervaring zijn geworden. Ik kon in hoofdstuk 6 t.a.v. Caroline, ondanks haar niet-volledig-mee-kunnen-spreken met de anderen in haar gespreksgroepje, toch in de loop van de tijd een zekere vordering opmerken in de vorming van aanspreekbaarheid voor de betreffende chemische thema's. Ik kan dit niet voor Huub. Het is achteraf dan ook te begrijpen dat hij (= ik) later in het gesprek zei: *"ik heb er geen bal van begrepen, ik begrijp er nog steeds niets van, jij met je porties, ik denk dan meteen aan porties mosselen of zo"* (2.1.2).

De groep spreekt nog niet unaniem over de stof waterstof als over de 'enkelvoudige elementgroepering waterstof', maar over "de stof waterstof" (D: 97-99; C: 110-111 en P: 112), of over "de enkelvoudige stof" (D: 117). Ik wil dit zeker zien als gevolg van het met elkaar bezig zijn in een levend gesprek, en dus onnauwkeurigheden gebruikend, die de goede verstaanders weten te begrijpen. Ik acht het daarnaast niet uitgesloten dat de aandacht van de sprekers nog niet consequent is gericht op het element waterstof, maar op een combinatie ervan met de stof waterstofgas (C: 110-111; P: 112). Het oude taalveld volgens welk stofindividuen kunnen verdwijnen en ontstaan is dus nog niet geheel verlaten.

Het combineren van 'portie' met 'groepering' leidt tot een formulering die Dik (134), Ko (131) en Huub (135-136) dingmatig vinden klinken. Dit voldoet niet aan het niet-voorwerpelijk spreken over datgene wat we in formules tot uitdrukking willen brengen (zie ook relaas en interpretatie 5 in 2.1.2 waarin ik zeg bij porties aan 'porties mosselen te denken'). 'Verdunbaarheid' en 'groepering' roepen zulk een dingmatigheid niet op (P: 127-130). Dik benoemt dit dan ook als in een "andersoortige taal te praten dan die van het beschrijvend niveau" (151-152).

'Verdunbaarheid' is echter omschreven als het aantal keer dat uit 1 liter van een stofindividu in de gasfase "(die portie) 1/2 V liter" (D: 97, 101) kan ontstaan. Daardoor treedt een spanning op doordat er nu een koppeling lijkt te ontstaan tussen 'element' en 'volume' (K: 118-119, 124-125).

In deze groep is een begin gemaakt met de kwantificering van het elementbegrip. Uit de geanalyseerde gedeelten van hun gesprek blijkt duidelijk dat zij nog niet tot een afgeronde redenering zijn gekomen zoals die bijv. in 3.3.4 staat. Zij zoeken wel verder in een dergelijke richting door met de termen 'verdunbaarheid' en 'elementgroepering' te zoeken naar een verklaring voor de gevonden volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie, waarbij vooral Ko een verband probeert te verwoorden (156-158, 160, 163). Hij blijft daarbij worstelen met de combinatie van volumetermen en termen die op 'element' slaan. Dat zij nog niet tot een volledige explicitering van deze verklaring in staat zijn, geven zij zelf duidelijk aan: "hoe zeg je het nou" (158), "ik dacht dat dat ook kwam achter het dus" (161), "wánnéer één liter van dit, dan (...) zoiets" (164).

De term "formulehoeveelheid" (K: 177, 181-182) verenigt m.i. in zich de relatie tussen 'massa' en 'elementindividu' (K: 188-189). Met deze term kan Paul een formulering geven waarin hij voor een bijzonder geval een deel van de redenering uit 3.3.4 kan geven: "de verdunbaarheid van waterstof in de groepering waterstofchloride is één, daaruit volgt één formulehoeveelheid van de groepering waterstof geeft bij hergroeperen twee formulehoeveelheden van de groepering waterstofchloride" (207-210). Vergelijking van zijn uitspraak met de redenering zoals die staat in 3.3.4 geeft wel aan dat we nog niet kunnen spreken van een volledig beschouwende redenering, maar dat zij daar een begin mee hebben gemaakt.

7.1.4 Konklusie

Het verklaren van de bij de één-tot-één gasreactie optredende extra volumeregelmaat naast die welke vervat is in de wet van Gay-Lussac, vereist dat de aandacht op de relatie tussen de gevonden verhoudingsgetallen zelf wordt gericht. Het gaat dus om een ander objekt van vraagstelling dan het bepalen van de grootte van deze getallen. Nu wordt gezocht naar een structuur in de samenhang tussen de volumeverhoudingsgetallen. Voor het kunnen geven van een dergelijke verklaring moet een nieuw gezichtspunt worden ingenomen. Gebeurt dit niet, dan kan een kloof van niet-verstaan worden opgemerkt.

Bij het analyseren van het gesprek over het afleiden van de wet van Proust uit het homogeen-zijn van zuivere stof, bleek ook een andere vraagstelling én niet-verstaan op te treden (7.1.1). Ik kon daarbij *niet spreken over een niveauperandering, omdat het gezichtspunt van waaruit werd gesproken bij deze afleiding niet de beschrijvende ervaring te boven ging*. Evenmin was er sprake van een *keuze uit elkaar logisch uitsluitende alternatieven*.

In de Amersfoortse groep bleek een begin van een niveauperandering mogelijk doordat hij taal vormde om niet-corporaal over de diskrete volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie te spreken. *Daarbij dienden chemische gezichtspunten om de verenigbaarheid van termen in een taalveld te beoordelen. Zo zag hij 'stof', 'reactie' en 'volumeverhouding' als beschrijvend en 'element', 'elementgroepering', 'hergroepering', 'portie' en 'geheel getal' als beschouwend*. Hier werd door de gespreksdeelnemers direkte ervaring opgedaan met het onderscheid tussen beschrijvende

en beschouwende manieren van spreken over kwantitatieve aspecten van chemische reacties.

Empirisch-chemische begripsgenese vond plaats in een beschrijvend en in een overgang naar een beschouwend niveau. De vorderingen in ons didactisch leerproces lagen vooral in het komen tot een grondniveau. Zo deed ik directe ervaring op met een kloof-van-niet-verstaan van de kant van degene aan wie niet kon worden uitgelegd (relaas 5, 2.1.2). Ik kan dit nu zien als het gevolg van mijn gebondenheid aan beschrijvende, chemische formuleringen, terwijl op dat moment de anderen er toe overgingen vanuit een beschouwend, chemisch gezichtspunt een structuur aan te brengen in de beschrijvende volumeregelmaat.

Bij de gesprekken werden twee verschillende gezichtspunten verwoord van waaruit zo'n structuur kan worden aangebracht, nl. 'portie van element' en 'hergroeperen van elementen volgens gehele getallen'. Beide formuleringen geven een niet-corpusculair gezichtspunt weer. In de volgende paragraaf wil ik dan ook bekijken hoe deze groep gebonden aan zulk niet-corpusculair spreken over chemische reacties komt tot een atoom als chemische eenheid.

7.2 Zoeken naar atoom als chemische eenheid

De gesprekken van de Amersfoortse groep begonnen in het voorjaar 1978 met het zoeken naar een verklaring voor de extra volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie zonder gebruik te maken van een corpusculaire voorstelling. Na twee maanden ontstond daarnaast een thema dat ik wil omschrijven als het zoeken naar een '*chemische eenheid*', hiervoor de kwantificering van het element genoemd. De bedoelde eenheid werd gezocht in de lijn van de betekenis van atoom als niet afzonderbaar deeltje (3.2.3).

7.2.1 Een chemische eenheid voor element

Naar aanleiding van protocol 12 (C: 110-111) merkte ik op dat bij het spreken over de stof waterstof, die als 'referentie-punt' diende bij een verklaring van de volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie, nog geen formulering werd gebruikt die de aandacht konsekvent richt op het element waterstof. Chris roerde deze kwestie tegen het eind van het gesprek op 17 juni 1978 weer aan (protocol 13, bijlage 19).

Protocol 13

Het gesprek was die dag o.a. begonnen rond mijn vraag waarom we, uitgaande van de stof waterstof, geen volumeverhoudingsgetallen vinden tussen één en twee (C: 7-8; zie ook 3.3.3 en 3.3.4). Deze vraag was voortgekomen uit mijn onderwijzen met het K-deel waarin een paar maal volumeverhoudingsgetallen ter sprake komen uitgaande van "enkelvoudige stoffen" (10-11). Chris wijst erop "als je als uitgangspunt kiest (...) met waterstof samengestelde stoffen waaruit geen groter volume gemaakt kan worden dan het volume van die stof" dat er dan "helemaal niets belangrijks

meer [is met] tussen die één en die twee, dan is alles $1/2$ $1/3$ $1/4$ " (11-13, 15-16). Naast het getal 1 komen nu alleen gebroken getallen voor.

Als niet duidelijk is waarom de stap wordt gezet in plaats van de stof waterstof uit te gaan van de bedoelde groep stofindividueen, dan kan de aandacht gericht blijven op het niet voorkomen van getallen tussen de twee grootste (T: 17, 43-44). Chemisch gezien maakt het geen verschil welk(e) stofindividue(n) als referentie wordt(en) genomen. Terugdenkend aan Paul's notitie gaat het hier i.p.v. de tweede rij uit zijn matrix nu om de eerste (3.3.4). Nu wordt niet meer een verklaring gezocht voor de reeks $2 : n$, maar voor de reeks $1 : n$. Voor mij blijft het belangrijke verschil tussen beide uitgangspunten echter dat in Chris' standpunt *niet anders dan op het element waterstof kan worden gelet*. Hiermee hangen m.i. bovendien nog de volgende punten samen:

- de problematische term "verdunbaarheid" (D: 22) vervalt;
- er komt "een zekere geconcentreerdheid van de elementen ten opzichte van deze groep stoffen" (C: 25-26) voor in de plaats;
- de gebruikte leergangkonstruktie vormde in elk geval voor Ko een blokkering om te gaan letten op 'element' (K: 35-37). Terugblikkend kan ik zeggen dat dat ook voor mij gold.

In protocol 12 (D: 97-114) leverde het onder woorden brengen van kwantitatieve regelmaat als behorend bij 'element-' en niet bij 'stofindividue' problemen op. Hier biedt, achteraf gezien, Chris' keuze om in plaats van de enkelvoudige stof waterstof stofindividueen als waterstofchloride te nemen als 'afteleenheid' zicht op een bruikbare verwoording (protokol 13, C: 24-26).

Als uitgangspunt bij het gesprek fungeerde de vraag naar het niet voorkomen van volumeverhoudingsgetallen tussen 1 en 2 bij de stof waterstof in de één-tot-één gasreactie (J: 38-39). De aandacht kan echter ook worden gericht op het optreden van een stofindividue-afhankelijke maximale waarde bij de volumeverhoudingen (J: 41). Dit letten op maximale volumeverhoudingsgetallen heeft geleid tot de invoering van 'verdunbaarheid'.

Ik ben het niet zonder meer eens met Joop dat "veel meer opvalt dat er niets tussen één en twee ligt, en tussen nul en één overal wat kan" (42). Om het ontbreken van getallen op te merken, moet op een bepaalde manier worden gekeken naar de bekende volumeverhoudingsgetallen. Daarbij kunnen, uitgaande van de stof waterstof de waarden 2 en 1 als bijzonder overkomen. Chris wijst erop dat uitgaande van waterstofchloride er niet twee van zulke gehele getallen bestaan (49, 52-54). Ook Joop spreekt uit dat achteraf gezien het z.g. bijzondere feit dat er geen getallen tussen 1 en 2 voorkomen een "dwaalspoor" kan worden genoemd (38, 53, 57). Vooraf heeft dit z.g. 'dwaalspoor' bij mij echter wél geleid tot een vraagstelling waardoor deze gespreksgemeenschap produktief kon worden (3.3.3 en 3.3.4).

Chris brengt onder woorden dat op deze manier de aandacht richten op het elementindividue een basis kan vormen voor de kwantificering ervan (79-80). In zijn uitspraak "je kunt de reactie niet een groter volume geven dan er al is", lees ik dat hij het oog heeft op die stofindividueen waaruit in de één-tot-één gasreactie geen

groter volume kan ontstaan van een stofindividu dat is samengesteld met het beschouwde elementindividu.

Door de laatst genoemde uitspraak van Chris aangesproken noemt Huub een overeenkomst met een analytisch criterium voor het toekennen van de kwaliteit 'enkelvoudig' aan een stofindividu (82-86):

– *we noemen die stofindividuen enkelvoudig of representant van slechts één elementindividu waarvan noch bekend is dat ze kunnen ontstaan bij een 'meer → 1' reactie, noch dat ze kunnen verdwijnen bij een '1 → meer' reactie. Als een enkelvoudig stofindividu verdwijnt, en er ontstaat slechts één stofindividu dat met dat elementindividu is samengesteld, dan is de massa van dat ontstane stofindividu altijd groter dan die van het verdwenen enkelvoudige stofindividu (82-84);*

– *we kennen aan die stofindividuen in gastoestand één elementmassaportie toe, als zijn volumeverhoudingsgetallen bij de één-tot-één gasreactie de reeks 1 : n vormen.*

In deze formuleringen komt een opeenvolging naar voren van een louter kwalitatief begrip 'enkelvoudig stofindividu' naar een kwantitatief begrip 'element', ook te benoemen als 'chemisch atoom'.

7.2.2 Van 'portie' naar 'verdeelbaar in porties'

Het protocol van ons gesprek op 17 juni 1978 was voor de eerste bijeenkomst erna, op 3 september, uitgeschreven en beschikbaar. Het lukte ons echter niet aan de hand ervan didactische thema's aan te wijzen en tot gespreksonderwerp te maken. Ik zie als eerste reden het feit dat het protocol slechts kort voor de bijeenkomst gereed was en als tweede een nog ontoereikende vordering bij de meesten van ons in het leerproces t.a.v. empirische chemie en t.a.v. didaktiek. Door de krappe voorbereidingstijd waren we onvoldoende in staat chemische en didactische begripsgenese in het gesprek aan te wijzen. De doorwerking van het gesprek op 17 juni lag dan ook vooral op chemisch vlak, mede doordat Paul zijn notitie ter bespreking indiende (3.3.4).

Na deze bijeenkomst spraken Paul en Dik 's avonds telefonisch over het gebruik van de term 'portie'. Paul had hun gesprek op de bandrecorder opgenomen, zodat hij het kon uitschrijven. Een gedeelte ervan staat in protocol 14 (bijlage 20).

Protocol 14

Bij de bespreking van Paul's notitie (3.3.4), die hij "Chemische Verdunbaarheid" had genoemd, bleek al dat ik het nu niet meer eens ben met de visie dat daarin "niet anders [wordt gedaan] dan de konsekwenties onderzoeken van de wet van Gay-Lussac" (P: 1-5). Ik toonde in 3.3.4 aan dat de aannames van het gekwantificeerd opgevatte element en van het behoud van elementmassa wezenlijke onderdelen vormen om tot Paul's matrix te komen. We kunnen zulk gekwantificeerd voorkomen benoemen met de term "portie" (D: 11). In 'portie' moet dan zijn opgenomen dat het gaat om een minimalisering t.a.v. elementmassa per standaardvolume of om een maximalisering t.a.v. het volume bij de één-tot-één gasreactie.

In 'chemische verdunbaarheid' van een elementindividu zit ook een dergelijke uiterste waarde: de maximale volumeverhouding die bij de één-tot-één gasreactie kan worden gevonden tussen het volume van het ontstane en dat van het verdwenen stofindividu (P: 12-13). We treffen de 'eenheidsportie' van een elementindividu nu aan bij de groep stofindividuen die als verdwijnstof in zo'n gasreactie geen volumeverhouding groter dan 1 : 1 opleveren, dus een chemische verdunbaarheid hebben ter grootte van één⁴. Daarop lattend is het voor mij te begrijpen dat Dik 'chemische verdunbaarheid' ook in 'portie' meent te horen (16).

Het gaat om de genese van een formulering met de termen 'element' en 'groepering' die het gekwantificeerde element in een verhoudingskontekst uit kan drukken. Dit gebeurt volgens Dik niet met 'is aanwezig in' (P: 21-26), omdat het "teveel [doet] denken aan dingen" (D: 27-28). Hij hoort dergelijke verhoudingen wel in "die groepering elementen hergroepeert zich volgens zoveel porties" (P: 28-29), of in 'verdelen in' (P: 35-36) en 'verdeelbaar in' (P: 37, 38, 39, 40 en 54). 'Verdelen' past in het reeds gevormde taalveld 'element', 'groepering' en 'hergroeperen'.

Paul stuurde de uitgeschreven bandopname van het telefoongesprek aan de andere leden van de groep en noteerde op het eind ervan⁵:

- in B: de chemische verdunbaarheid van een niet-sporige stof is het maximale aantal volume-eenheden samengestelde, gasvormige stof dat uit één volume-eenheid (z.t.p.) van de niet-sporige stof in gasvorm kan ontstaan.

- in T: de chemische verdeelbaarheid van een element in een bepaalde elementgroepering is het maximale aantal porties waarin dit element bij hergroepering verdeelbaar is.

(In deze formulering komt een uitspraak tot uitdrukking die ik ook op 2 september noteerde: "het getal n (dat is een geheel aantal) en het gebruik van porties veronderstellen elkaar.")

Als consequentie van bovenstaande formuleringen stel ik voor het begrip "verdunbaarheidsformule" te vervangen door "verdeelbaarheidsformule".

Een kenmerkende kwantitatieve eigenschap van een element in een elementgroepering is dat het zich bij een hergroepering maar in een maximaal aantal onderling gelijke delen verdelen laat. Gezien het principe van het elementmassabehoud moeten we ons dat m.i. fundamenteel wel voorstellen als een verdeling van massa. Maar bij gasreacties uit dit verdelingsprincipe zich ook in een bepaalde volumeverhouding (z.t.p.)".

Paul gebruikte onderscheiden beschrijvende ("in B: de chemische verdunbaarheid", "niet-sporige stof", "volume-eenheden", "ontstaan") en beschouwende taalvelden ("in T: de chemische verdeelbaarheid", "element", "elementgroepering", "porties", "verdeelbaar", "hergroepering"). *Ik beluister in de nieuwe term "verdeelbaarheidsformule" niet meer een bepaald stofindividu als 'afteelheid' maar het gekwantificeerd gedachte elementindividu als bepalende grootheid.*

In "het getal n (dat is een geheel aantal) en het gebruik van porties veronderstellen elkaar" zit m.i. opgenomen dat Paul 'portie' ziet als niet verder te verdelen 'eenheid'. Nico nam zo'n standpunt al eerder in (protokol 11, regel 141). De vraag hoe we ons

dat 'niet verder te verdelen zijn' kunnen voorstellen, werd gespreksthema in de eerstvolgende groepsbijeenkomst.

7.2.3 Van 'verdeelbaar in porties' naar 'verdeelbaar over een andere elementgroepering'

Paul zei op 3 september 1978 's avonds in zijn telefoongesprek met Dik: "ik zie nog wel een taart snijden, maar dat is (...) je denkt nu eenmaal materialistisch", "maar die taart is een eenheid die je opdeelt", en "de taart is op zichzelf een eenheid en die deel je op, en nu is het merkwaardige dat je dat opdelen ten opzichte van het element chloor maar maximaal in drie porties kunt doen" (protokol 14, 42-49). Zij zoeken een taalveld dat, bij het gebruik van 'portie', zo weinig mogelijk doet denken aan dingen. Mijn uitspraak op 17 juni 1978 "ik denk de hele tijd aan een portie mosselen" (relaas 5, 2.1.2) valt wel in zo'n voorwerpskontekst. Dik schreef over zijn problemen met deze kontekst, in een interne notitie van 26 oktober ter voorbereiding op de groepsbijeenkomst van 4 november 1978:

"Tijdens die bespreking op 17-6 ontstonden momenten waarin ik anderen niet meer of bijna-niet-meer verstond (enkele uitspraken in het protokol wijzen hierop).

Bovendien was ik 'argwanend' bij het horen van het woord 'portie' omdat ik vreesde dat de 'voorwerpjes' hiermee weer de intrede zouden doen, zonder dat van niveauverhoging sprake zou zijn geweest. Hierin werd ik m.i. gesteund, toen ik de 'aanschouwing-gebondenheid' van dat woord bij Giel constateerde (zie: "portie mosselen" ...). Mijs inziens kleefde dit bezwaar niet aan het gebruik van de woorden: 'geheel getal' en 'verdunbaarheid'. Vandaar dat ik beide uitdrukkingen nogal eens naar voren bracht (protokol).

Gedurende de bespreking (17-6-78) bemerkte ik dat het woord 'portie' ook anders (dus niet als voorwerp) verstaan kon worden (zie enkele uitspraken van Paul en Ko). Bovendien slaagden we erin om tot een gedisciplineerd woordgebruik te komen in ons spreken over 'een stof' en 'een reactie', maar dan in termen van elementen ... "

Dik gaf zijn notitie de titel "*Van atoom als deeltje naar atoom als principe: een deblokkeringsproces*". Ik versta 'atoom-als-deeltje' nu als afzonderbaar deeltje (3.2.2) en 'atoom-als-principe' als chemische atoom (3.2.3). Wij probeerden in de Amersfoortse groep een verandering tot stand te brengen van de eerste naar de tweede betekenis. Dik noemt dit "een deblokkeringsproces" en bedoelt daarmee het verlaten van de oude, veelal door overdracht aangeleerde betekenis van 'atoom als kleinste voorwerpje' en het zoeken van nieuwe termen om niet-voorwerpelij over kwantitatieve aspecten van chemische reacties te spreken. Zulk zoeken komt o.a. in het volgende fragment van onze bijeenkomst d.d. 4-11-1978 aan de orde (bijlage 21).

Protokol 15

Chemisch gesproken (C: 1-2) komt het bij de genese van een formule op hetzelfde neer of bij de één-tot-één gasreactie wordt uitgegaan van de enkelvoudige stof waterstof, of van de met waterstof samengestelde stofindividen in gastoestand waaruit 'geen groter volume' kan ontstaan. Uitgaande van de stof waterstof was de leergang in het verleden gekomen tot de idee 'chemische verdunbaarheid'. Zoals gemeld (7.1.3) leverde dit begrip moeilijkheden op bij de verwoording van 'chemische verdunbaarheid van een element'. Zo is het te begrijpen dat Chris zegt: "het wordt in je leergang wel een verschil omdat je niet eerst die moeizame weg via chemische verdunbaarheid hoeft te bewandelen" (2-3).

In de notitie van Paul wordt de matrix gekonstrueerd door een natuurlijk getal, dat empirisch te bepalen maximale volumeverhouding bij de één-tot-één gasreactie voorstelt, te delen door de reeks van de natuurlijke getallen. Huub wijst op de mogelijkheid om aan de hand van deze maximale volumeverhoudingsgetallen stofindividen te karakteriseren (9-13). Chris sluit hierbij aan door erop te wijzen dat "dat karakteriseren [gebeurt] door te kijken naar die groep stoffen waar ik het over heb" (18-19). Zuiver chemisch gesproken kan ik met Paul instemmen dat het "een willekeurige selectie" (21) van stofindividen betreft. Maar erop lettend dat we deze groep stofindividen kunnen karakteriseren als representant van "een ondeelbare hoeveelheid" van het element waterstof (29-33), zie ik zijn keuze niet als een willekeurige. Deze groep stofindividen vereist letten op 'element' omdat het niet meer gaat om één stofindividu. Daardoor wordt een koppeling tot stand gebracht tussen de kwaliteiten 'ondeelbaar' en 'elementindividu'. Ondeelbaar betekent voorlopig het niet kunnen geven van een 'groter volume' in de één-tot-één gasreactie.

Chris had niet alleen moeite met de keuze van waterstofgas als referentie-stofindividu bij het formuleren van regelmaat, maar ook met de term 'verdeelbaar'. Hij vroeg kort voor protokol 15 aan Paul: "verdelen waarover?" en deze vraag werd gespreksthemata (protokol 16, bijlage 22).

Protokol 16

Voor Chris heeft spreken over 'de verdeelbaarheid' van een elementindividu in een groepering' weinig betekenis (7-8). Paul hecht er echter in ieder geval één betekenis aan die past in een verhoudingskontekst: "als hij in een andere groepering twee is, dan moet er in de verhoudingen van volumes, massa's, weet ik, dat moet dan zo zijn" (K: 10-12; P:13). Chris ziet waarschijnlijk n.a.v. deze uitspraak verdeelbaarheid als het vermogen van het verdelen "van een massahoeveelheid element over een [standaard]volume" (24-25). Ik kan dit interpreteren als een weergave van de noodzaak die Chris voelt om nadrukkelijk een relatie te horen tussen beschrijvende verwoordingen ("massahoeveelheid over een volume") en beschouwende ("verdeelbaarheid").

Paul en Ko wijzen dit af (26) wat ik kan begrijpen omdat "massahoeveelheid" een beeld van 'voorwerpen' kan oproepen. Paul koppelt 'verdeelbaarheid' (= "het" in "het zit gekombineerd", 30) wel met elementmassabehoud, maar wijst het gebruik van "volume" af (33). Dat hij 'volume' een irrelevante zaak vindt, komt ook uit de omschrijving van 'standaardvolume' naar voren: de grootte is variabel, maar moet wel in een redenering konstant zijn (33). Paul geeft 'verdelen over' de betekenis "over andere elementgroeperingen" (35). Ik versta dit in de lijn van de redenering uit 3.3.4 als 'verdelen van de elementmassa over andere elementgroeperingen'. In die zin drukt hij zich ook uit in zijn notitie die ik in 7.2.2 aanhaalde.

Nu dit gesprek herlezend en benoemend kan ik aan 'verdelen over andere elementgroeperingen' nog een andere interpretatie geven. Ik ben overigens niet van mening dat Paul destijds deze interpretatie op het oog had. "Elementgroepering" heeft hierbij slechts een kwalitatieve betekenis en "twee" geeft het maximale aantal stofindividueen aan dat kan ontstaan uit het verdwenen stofindividue bij een gasreactie; alle genoemde stofindividueen zijn met hetzelfde elementindividue samengesteld en van ieder stofindividue gaat het om een standaardvolume. Bovendien geldt de eis dat het verdwenen stofindividue het enige is dat is samengesteld met dit elementindividue. Als voorbeeld kunt u denken aan chloor: uit V liter chloor kunnen bij reactie maximaal twee stofindividueen met een volume van V liter ontstaan. Dit gebeurt bijv. in de reactie tussen chloor en trichloormethaan. Deze, door mij achteraf gegeven, interpretatie van 'verdeelbaar over andere elementgroeperingen' houdt in dat de beperking tot de één-tot-één gasreactie wordt verruimd tot een 'één-tot-meer gasreactie'.

Een nadere invulling van 'verdeelbaar' betreft de vraag: "portie, maar van wat?" (K: 57). Deze vraag is mede geïnduceerd door 'het verdelen van een taart' in samenhang met 'portie' waarover Dik en Paul spraken (protokol 14, 42-54). Hierin zit het risico besloten dat 'portie' als 'ding' wordt gezien, zeker in de combinatie "verdelen in wat" (N: 74-78). Deze dingmatigheid klinkt niet door in de opvatting "verdeelbaar over andere elementgroeperingen" (C: 34; P: 35; C: 81-82; P: 86-88). Ik wil deze formulering de kwaliteit beschouwend toekennen omdat hij de mogelijkheid biedt aan te geven hoe zulk verdelen maximaal kan geschieden (bij gelijke volumes): in 'porties' of 'over andere elementgroeperingen'. Afhankelijk van de vraag of 'elementgroepering' louter kwalitatief of ook kwantitatief wordt verstaan en van het wel of niet loslaten van de beperking tot de één-tot-één gasreactie krijgt dit 'verdelen over' de ene of de andere hierboven aangeduide betekenis.

Chris gebruikte eerder 'ondeelbare hoeveelheid van een elementindividue' (protokol 15, regel 33). Gezien tegen het licht van de zojuist gegeven omschrijving voor 'verdeelbaar over andere elementgroeperingen' kan ik 'ondeelbaar' de betekenis toekennen 'niet-meer-verdeelbaar-zijn over meer dan één elementgroepering'. *'Ondeelbaar' heeft zo een kwantitatieve betekenis gekregen die overeenkomsten vindt vertonen met het in 6.2.7 beschreven semi-kwantitatieve taalveld. Ook daarin speelden termen als 'meer', 'minder' of 'het verschil' een rol. Ik zie het toekennen van een dergelijke betekenis aan 'verdeelbaar over' als een mogelijk eerste stap in het tot stand brengen van een kwantitatief begrip element.*

In de kwantificering van het element hoort een expliciete koppeling tussen 'hoeveelheid' en 'element' (C: 145-146). Om te voorkomen dat 'hoeveelheid' in een voorwerpsfeer wordt verstaan, moet de aandacht gericht zijn op het verhoudingsaspect in de relaties (N: 154-156, 167-169). Dit is van belang omdat 'verdelen in porties' (N: 156-159) zo'n voorwerpsfeer op kan roepen (H: 160). Ondanks de eerdere uitbreiding van 'verdelen' tot 'verdelen over een andere elementgroepering' ondervindt Paul taalnod (161) wat kan aangeven dat de term 'verdelen' verdere uitbreiding behoeft.

Om te komen tot een geschikte kwantificering van het elementbegrip zullen niet alleen massanoties aandacht moeten krijgen (N: 171-172, 175-176), maar ook volume-aspekten. Want het doel van de groep is regelmaat in volumeverhoudingsgetallen te verklaren (K: 199-201; H: 233-234, 236-239). *Het gaat om een relatie tussen 'elementmassabehoud', 'verdelen (volgens gehele getallen)' en 'volume'* (C: 217-219). In de formulering "kan een nieuwe hergroepering van elementen uit ontstaan, waarin 1/3 portie, of 1/3 gedeelte van de massa" (N: 227-229) zit het begrip 'standaardvolume' impliciet opgenomen.

Paul zei in 86-88: "het is: verdeelbaar over, over een andere elementgroepering, het element in een bepaalde elementgroepering is al of niet verdeelbaar over andere elementgroeperingen". Ik vind hierin de overgang opvallend van de aanvankelijke enkelvoudsvorm "elementgroepering" naar het meervoud "elementgroeperingen". Bij 'verdelen over' denken we snel aan 'meerdere mensen of dingen' (vergelijk Paul in protokol 14, 42-43). Het nadrukkelijke gebruik van het enkelvoud "elementgroepering" zie ik dan ook als aanwijzing dat Paul hier een beschouwende taal spreekt. Dat maakt zijn afwijzing van "volume" (23-33) ook begrijpelijk: bij een kwantitatief opgevatte betekenis van 'elementgroepering' in combinatie met 'hergroeperen', dat de chemische kontekst aangeeft, heeft het volume geen speciale plaats meer en kan het worden weggelaten in de redenering.

Chris en ik (= Huub) proberen in dit protokol de relatie tussen beschrijvende ervaring en beschouwende redenering daarover vast te houden, zodat wij wel het gebruik van 'volume' benadrukken. We verliezen daarbij uit het oog dat het nieuw ingenomen beschouwende gezichtspunt geen directe afbeelding in de beschrijvende regelmaat hoeft te hebben. Ik zie Nico's herhaalde opmerkingen t.a.v. het taalgebruik (62, 64, 71-72, 74-78, 103-114, 128-130, 132-135) tegen het licht van het verschil in benadering van het probleemveld door Paul enerzijds en door Chris en mij anderzijds: een weergave van het gevoel dat een beschouwende taal zijn eigen 'idioom' heeft die niet direct te associëren hoeft te zijn met termen uit een grond- of een beschrijvend niveau.

7.2.4 Van 'verdeelbaar over' naar 'onverdeelbaar'

In 7.2.3 wees ik met 'verdelen over een andere elementgroepering' m.i. een eerste kwantificering van het element aan. Een nadere invulling krijgt het in het vervolg van het gesprek (protokol 17, bijlage 23).

Protokol 17

Wij maakten, zoals eerder aangegeven (relaas 6 in 2.2.1, 2.2.2, 2.3) geen onderscheid tussen de stofkenmerken 'hebben van massa' en 'innemen van ruimte' en de voorwerpsgebonden eigenschappen 'een zekere massa' of 'een zeker volume'. Ik beluister dit in Paul's waarschuwing "dat we moeten letten op hergroepering" (2): we gebruiken 'massa' of 'volume' die we destijds zagen als fysische termen, maar moeten desondanks letten op de plaats vindende chemische reacties.

Het gaat m.i. zeker over een chemische kontekst als wordt gesproken over stof-individuen die bij de één-tot-één gasreactie geen 'groter volume' kunnen geven, ook al valt de term "volume" (P: 4). Ondanks de vorderingen voelt Chris zich nog in een beschrijvend niveau, maar hij is er duidelijk op gericht een overgang naar een beschouwend niveau tot stand te brengen (5-6).

Het ongenoegen dat 'portie' oproept, verdwijnt bij "ondeelbaarheidsprincipe" (A: 7-13). Dit is gekoppeld aan 'element' en we kunnen de grootte ervan in een bepaalde groepering aanduiden met 'potentie' (P: 14-18). Een redenering met de termen 'hergroepering', 'portie', 'potentie' en 'totaliteit' (P: 20-26, 30-33) leidt tot het besef dat er een bij 'stofindividu' horende grootte nodig is die Dik "hoeveelheid" (34) noemt. Hier volgen 'ongenoegen', 'analyse' en 'explicitering' elkaar dus zeer snel op! Een teken van de sterke zaakgebondenheid.

Chris verstaat wat Dik voorlopig benoemde met "hoeveelheid" (D: 34), als 'volume' (C: 38-40). Ik vermoed dat Paul dit afwijst omdat hij een grootte als 'formulehoeveelheid' op het oog heeft (protokol 12, 177-178). In ieder geval gaat het Paul om "massa" (41-42) als het hoeveelheidsaspect dat met het behoudsprincipe 'element' is verbonden.

Als bij een één-tot-één gasreactie het volume van de verdwenen en de ontstane stofindividuen niet gelijk is aan elkaar, dan verandert ook de 'potentie van een elementindividu tot hergroepering' (P: 20-25). Dit vormt m.i. de basis voor Chris' uitspraak dat "het volume gewoon maar even niet mee[doet] (...) als jij zegt 'de potentie van waterstof in'" (43-45). Zijn ongenoegen met 'verdelen' geeft hij aan door erop te wijzen dat een 'letterlijke vertaling' ervan bij bijv. waterstofchloride geen betekenis heeft (53). Hij ziet 'verdelen' daar niet als bruikbaar, dus is de toepassing volgens hem stofindividu-gebonden. Ik interpreteer zijn tegenwerpingen als het zoeken naar een term die de aandacht richt op het 'element' en daarmee bruikbaar is in alle voorkomende gevallen. Hij wijst het formele gebruik af van 'verdelen van het element waterstof' bij stofindividuen als waterstofchloride. Hij is dus bezig met een analyse van zijn ongenoegen met de term 'verdeelbaar' en heeft nog geen volledige objektwisseling tot stand gebracht (7.1.1).

Chris formuleert nu tastenderwijs: "misschien wordt het dan duidelijker, in waterstofchloride - als je aan die hergroepering denkt - dan kan, je zou haast moeten zeggen dan kan het element waterstof niet aan de hergroepering deelnemen, maar dat is niet helemaal goed" (79-82). Ik kan dit begrijpen als ik aanneem dat hij een één-tot-één gasreactie op het oog heeft waarbij het verdwenen volume waterstofchloridegas groter is dan het volume van het ontstane stofindividu. 'Verdelen'

suggereert juist een volumetoename. Daarom "zou [je] haast moeten zeggen dan kan het element waterstof niet aan de hergroepering deelnemen".

In deze uitspraak lees ik de moeite die deze kwantificering van het elementbegrip kost, als een passende taal daarbij moet worden gevormd. Ook Nico, Ans en Paul worstelen met het gebruiken van 'verdelen' in het geval waterstofchloride (N: 83; A: 88; P: 94). Het gaat dus niet om een persoonsgebonden probleem. Chris geeft een semi-kwantitatieve formulering: "het kan zich niet verdelen over verschillende hergroeperingen", "het kan niet tot meer hergroeperingen gaan behoren" (90-91, 96). Ik lees dit in de zin van de interpretatie die ik in 7.2.3 gaf n.a.v. protocol 16 regel 35: verdeelbaar over het maximale aantal elementgroeperingen met hetzelfde standaardvolume als de uitgangselementgroepering.

Huub (= ik) verbindt Chris' uitspraak met " $1/n$ " en benoemt dit als "het ondeelbare" (96). Het getal "1" daarin is gekoppeld aan de door Chris gekozen groep stof-individueen, nl. die welke in de één-tot-één gasreactie 'geen groter volume' kunnen opleveren. Er kan bij deze stofindividueen geen verdeling plaats vinden over meer dan één elementgroepering met hetzelfde standaardvolume. In die zin zie ik hier "ondeelbaar" functioneren.

Chris' ongenoegen met 'verdelen' en 'verdeelbaar' speelde in protocol 17 een rol. Even later, aan het einde van het gesprek gaan wij nogmaals op deze terminologie in (protocol 18, bijlage 24).

Protocol 18

De uitspraak van Huub "*stoffen karakteriseren met enerzijds elementsymbolen en anderzijds de getallen die aangeven het maximaal aantal porties waaruit je hem samenstelt die groepering*" (1-3) kan ik zien als een zeer bondige weergave van het in deze gespreksgemeenschap bereikte. Het gedeelte "waaruit je hem samenstelt" kan echter een voorwerpskontekst oproepen, die Huub later nadrukkelijker vervangt door een chemische: "*de elementgroepering! nu kun je een reactie weergeven met dus de verschillende elementgroeperingen en de volumeverhouding*" (7-8).

Het fragment van protocol 18 is het slot van de middagbespreking. In de ochtend was kort gesproken over 'hergroeperen van equivalenten'. Een van de deelnemers koppelde daar ook de term 'portie' aan. Zodoende krijgen 'portie' (12) en het elementsymbool nu een tweevoudige kwantitatieve betekenis, namelijk 'volumeportie' en 'equivalentportie' (H: 17-23). Omdat beide soorten portie niet altijd aan elkaar gelijk zijn (D: 23-27), leidt het door elkaar gebruiken ervan tot ongenoegen t.a.v. 'portie'.

In kwantitatieve zin hoeven beide 'porties' niet betrokken te zijn op een gelijk massaverhoudingsgetal. Daarnaast is ook hun ontstaansgrond verschillend. 'Volumeportie' is voortgekomen uit volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie, dus verbonden met een bepaalde fysische toestand van stofindividueen; 'equivalentportie' is echter gebaseerd op de redoxreactie en dus verbonden met chemische toestanden van een elementindividue. Dit laatste houdt in dat aan elementindividueen met meer dan één redoxkoppel en dus meer dan één equivalentge-

tal, evenzovele 'porties' kunnen worden toegekend. Wij zijn niet uitvoerig nagegaan in hoeverre kan worden gesproken over 'hergroeperen van equivalenten' (H: 40-42), en hebben het probleemveld van meer dan één 'equivalentportie' niet diepgaand met elkaar besproken.

De kontekst van de één-tot-één gasreactie komt in ons gesprek weer naar voren in "je kijkt alleen maar naar porties in een bepaalde hergroepering" (A: 60). Het spreken in voorwerpstermen ('portie mosselen') tegenover spreken in termen van stofindividuen (verhoudingskontekst) is onderscheidend gekarakteriseerd in: "daar moet je niet ondeelbaar [gebruiken] want dan denk je aan voorwerpje en het principe is onverdeelbaar" (D: 62-63). 'Ondeelbaar' hoort in een taalveld met 'portie', 'onverdeelbaar' in één met 'element', 'groepering' en 'hergroepering'.

7.3 Konklusie

In 7.2 kwam de genese van een taal aan de orde die geschikt is om te kunnen spreken over de één-tot-één gasreactie als over een hergroepering van kwantitatieve, chemische eenheden. Nu kan ik dit benoemen als het zoeken naar een kwantificering van het elementbegrip in een verhoudingskontekst. Hierbij ontstond een begrip 'onverdeelbare eenheid element', dat niet moet worden verstaan als 'afzonderbaar deeltje'. We kunnen daarbij de kwaliteit 'onverdeelbaar' toekennen aan het elementindividu in een stofindividu waaruit bij de één-tot-één gasreactie 'geen groter volume' kan ontstaan. Anders gezegd: de volumeverhoudingsgetallen ervan vormen samen de reeks $1 : n$. *Ik plaats de kwaliteit 'onverdeelbare eenheid' in een beschouwend niveau chemie omdat daarmee een redenering als die uit 3.3.4 mogelijk wordt.* Hierbij is een uitgangspunt dat alle stofindividuen in de één-tot-één gasreactie een volumeverhoudingsgetal opleveren dat in deze reeks thuishoort. Dit betekent dat *een keus is gemaakt tussen de elkaar logisch uitsluitende alternatieven* dat dit wel zo is, dan wel dat dit niet zo zou zijn. Dit wordt gezien als een kenmerk van een beschouwende redenering.

Bij de onderzochte kwantificering van het element kon ik een semi-kwantitatieve benadering opmerken, namelijk de opvatting dat het elementindividu niet kan worden verdeeld over meer dan één elementgroepering met een gelijk standaardvolume. Dit vormt een tussenfase na een louter kwalitatieve betekenis van element.

De deelnemers aan deze groep riepen verschillende keren op tot voorzichtigheid bij het gebruik van de termen 'volume', 'massa', 'liter' en 'gram'. Ik zie dit als gevolg zowel van hun blokkering stofindividu alleen te kunnen zien als een bundel kwalitatief geformuleerde stofindividu-eigenschappen (2.2.2, 2.3), als ook van hun streven zoveel mogelijk een verhoudingskontekst te bewaren. Het laatste bleek noodzakelijk voor een algemeen spreken over kwantiteiten bij de chemische reactie (3.1).

Uit de onderzochte gespreksfragmenten komt naar voren dat in de loop van de tijd de deelnemers een gespreksgemeenschap gingen vormen. Het is de vraag in hoeverre we ieder recht doen als we het formuleren van een eindkonklusie of het noe-

men van een nieuwe term aan een of aan enkele personen toeschrijven. Weliswaar zegt één van hen als eerste bijv. 'het principe is onverdeelbaar', maar dit gespreksresultaat is mede voorbereid door de bijdragen van de anderen. In die opvatting komt m.i. ook meer naar voren dat het in een gesprek niet alleen gaat om het registreerbare spreken, maar ook om het niet vast te leggen luisteren naar en interpreteren van elkaars (mondelinge) bijdragen.

De gesprekken die in de Amersfoortse groep plaats vonden rond de kwantificering van het elementbegrip vormden voor mij een basis om de betreffende gedeeltes uit de leergang om te werken (5.3.4). In het volgende hoofdstuk wil ik nagaan of leerlingen erin slagen een gekwantificeerd begrip element te ontwikkelen en zo ja in hoeverre daarin gewenste massa- en volumeverhoudingsaspecten bij reakties zijn opgenomen.

7.4 Noten

1. Ten Voorde (1977) p. 39. Zie ook Ten Voorde (1979a) p. 176, opgenomen in Ten Voorde (1981) op p. 65.
2. Larder (1966) schreef over de vrijheid in te kiezen gezichtspunten:

"The postulation of the existence of atoms is a theory which is no more true nor valid than the nonatomic theory of matter, which has a similar degree of generality, and which, presumably, could lead to a new chemical theory. ... It is not always possible to make a decision regarding minimum assumption, and more than one concept may have to be considered in different contexts."
3. Merk op dat ook in protokol 5 (77, 192, 197, 230) het gebruik van 'element in een stofindividu' voorkwam (7.2.2).
4. Kekulé neemt een vergelijkbaar uitgangspunt in als hij een groep stofindividuen noemt met betrekking tot het element koolstof die hij karakteriseert met "... die Menge Kohlenstoff, welche die Chemiker als geringst-mögliche, als *Atom* erkannt haben ..." (3.2.3).
5. In het geciteerde gedeelte, maar ook later bijv. in protokol 15 regel 15, komt de term 'niet-sporig' voor. In de ermee samenhangende term 'sporig' wordt de kwaliteit van een stofindividu uitgedrukt dat het als enig reaktieprodukt kan ontstaan uit twee of meer andere stofindividuen. Omdat bij ontleding van een 'sporig' stofindividu de uitgangsstofindividuen weer kunnen ontstaan, vatten we het 'sporige' stofindividu op als 'het spoor' van de uitgangsstofindividuen.
Voor 'niet-sporig' kunt u dan ook lezen 'enkelvoudig' en voor 'sporig' 'samengesteld'.

8. LEERLINGEN LEREN KWANTITATIEVE FORMULES VOOR STOFINDIVIDUEN IN DE GASFASE

In hoofdstuk 6 interpreteerde ik uitspraken van leerlingen die met elkaar spreken over opdrachten inzake het derde equivalentgetal als begin van een genese van kwantitatieve aspecten van 'element'. In hoofdstuk 7 beschreef ik een genese van kwantificering van het elementbegrip met behulp van fragmenten van gesprekken van leraren-didaktici bij hun streven te komen tot een verklaring van een bijzondere volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie.

In 8.2 en 8.3 zal ik gesprekken van leerlingen analyseren die bezig zijn met enkele opdrachten aangaande de één-tot-één gasreactie. Zij werken met het laatste door mij ontworpen onderwijsaanbod (1983; 5.3.4). In 8.1 ga ik allereerst kort in op die opdrachten, daarna op de gevolgde gespreksgroepjes en vervolgens op de bij mijn analyse gebruikte onderzoeksvragen.

8.1 Onderwijstext, leerlingengroepjes en onderzoeksvragen

8.1.1 Leerganggedeelte: K 6 en K 7

Zoals ik in 5.3.4 aangaf, was de kern van de door mij aangebrachte verandering in het K-deel een poging een opdrachtenserie te ontwikkelen waarmee leerlingen zouden kunnen komen tot een kwantificering van het elementbegrip uitgaande van de extra volumeregelmaat, naast die welke vervat is in de wet van Gay-Lussac, bij de één-tot-één gasreactie. De auteurs van de oorspronkelijke opzet van het K-deel begonnen een kwantificering met behulp van de metaal-elementindividuen met meer dan één geoxideerde toestand in hoofdstuk K 5. Om problemen met verwijzingen verderop in de leergang te voorkomen, heb ik de door mij veranderde hoofdstukken K 6, 7 en 8 qua nummering ongewijzigd gelaten, zodat in mijn versie geen K 5 voorkomt. In mijn K 8 komt naast het elementgetal van koolstof ook dat van de metalen ter sprake.

De tekst van K6-9 tot en met K7-3, die de leerlingen gebruikten bij hun, in dit hoofdstuk te analyseren gesprekken, staat in bijlage 7. Voorafgaande aan deze opdrachten worden in K 6 enige reactie-individuen die in K 1 en 2 reeds aan de orde kwamen, opnieuw bekeken. Toen viel de nadruk op de massaverhouding, nu op de volumeverhouding. Dan blijkt dat we de volumeverhouding van stofindividuen die in gasvorm bij een reactie-individu zijn betrokken, er één mogen noemen van eenvoudige, gehele getallen, mits men de volumes bij dezelfde temperatuur en druk vergelijkt. Vervolgens worden enkele reacties in een eudiometer beschreven. Uit de vermelde experimentele resultaten is een soortgelijke konklusie te trekken. Daarna lezen de leerlingen:

"Uit het voorgaande blijkt dat de volumes (z.t.p.) van gassen die bij een chemische verandering betrokken zijn, zich bij benadering verhouden als eenvoudige gehele getallen. In 1809 sprak Gay-Lussac als zijn overtuiging uit, dat deze verhouding niet slechts bij benadering maar ook inderdaad een verhouding van eenvoudige gehele getallen is: de chemische wet van Gay-Lussac.

...

- Zegt deze wet iets over de grootte van de volumeverhoudingsgetallen tussen reagerende gassen?"

Dan volgt K6-9 waarin tabel 1 voorkomt. In deze tabel maken de leerlingen voor het eerst kennis met de hier belangrijke extra regelmaat in de volumeverhoudingen tussen waterstofgas en daaruit te vormen, met het element waterstof samengestelde stofindividueen bij de één-tot-één gasreactie. In K6-9c staat: "... niet elke willekeurige volumeverhouding kan worden gevonden." Dit is natuurlijk door mij bedoeld in de kontekst van "eenvoudige, gehele getallen" (de chemische wet van Gay-Lussac). Ik had dit echter wel nadrukkelijker mogen zeggen. Wegens deze regelmaat ontstaat de mogelijkheid de *stof* waterstof te kenmerken met het getal 1/2 of met het getal 2 (zie de tekst tussen K6-9 en K6-10). Aan de hand van de, met tabel 1 vergelijkbare, tabel 2 blijken ook andere enkelvoudige stofindividueen op soortgelijke wijze gekarakteriseerd te kunnen worden (K6-10).

Om de aandacht te richten op het *element* waterstof volgt tabel 3 waarin voor een aantal met waterstof samengestelde stofindividueen de volumeverhoudingen zijn weergegeven in een, al of niet realiseerbare één-tot-één gasreactie. De leerlingen kunnen zich met behulp van twee opdrachten oriënteren op deze tabel. Zij moeten middels K6-11 nagaan dat de gegevens uit de tabellen 1 en 2, voor zover van toepassing, zijn opgenomen in tabel 3, en middels K6-12 de in deze tabel vervatte regelmaat opsporen.

In de tekst voorafgaande aan K6-13 stelde ik dat tabel 3 ook op een andere wijze is te interpreteren. Ik liet daarbij impliciet dat bij een chemische reactie elementmassabehoud wordt aangenomen en dat ook hier naar de *verhouding* van de massa van het *element* waterstof in een standaardvolume van verschillende stofindividueen wordt gekeken in de kontekst van de chemische reactie. Dit gebeurt in K6-13a door te kijken naar een gemeenschappelijk omzettingsproduct ("eerste kolom": $H^+ Cl^-$ of $H^+ Br^-$, en de betreffende volumeverhoudingen) en daaraan de massaverhouding te ontleen van het *element* waterstof in een standaardvolume van de uitgangsstoffen ("de daar genoemde stoffen"). Ik interpreteerde vervolgens de gevonden massaverhouding (1 : 2 : 3 : 4) als het voorkomen van de elementmassa in afgestemde massaporties per standaardvolume. Zowel tegen deze formulering als tegen die van K6-14 ("Welke stoffen uit tabel 3 worden gekenmerkt door 1 maal zo'n massaportie van het element waterstof per volume-eenheid?") is in te brengen dat het strikte verhoudingspreken lijkt te worden losgelaten en dat 'portie' kan worden begrepen als 'een klein voorwerpje' (relaas 5, 2.1.2). Deze voorwerpsopvatting wordt waarschijnlijk ook opgeroepen door in de tekst na K6-14 te schrijven "aan ... geven hoeveel elementmassaporties-per-volume-eenheid voorkomen".

Aan de hand van het element waterstof wordt de term "verdeelbaarheid" ingevoerd, als kwantitatieve karakterisering van een elementindividue in een stofindividue. 'Verdeelbaarheid' van een elementindividue in een stofindividue kan worden omschreven als de verhoudingswaarde van de massa van dat elementindividue per standaardvolume van het betreffende stofindividue, genormeerd op de kleinst bekende massa van dat elementindividue per standaardvolume van een stofindividue als één. (Dit alles uiteraard in het kader van de één-tot-één gasreactie.) Daarnaast

voerde ik de term "*elementeenheid*" in met de betekenis 'een elementmassaportie per standaardvolume'.

Als van twee stofindividueen de verdeelbaarheid van een gemeenschappelijk elementindividueen is gegeven, kan de volumeverhouding tussen deze stofindividueen bij een één-tot-één gasreactie waarin zij in elkaar worden omgezet (gedacht), worden berekend (K6-16). In de volgende opdracht wordt de beperking tot de één-tot-één gasreactie losgelaten en moeten de leerlingen een verband afleiden tussen de verdeelbaarheid van hetzelfde elementindividueen in drie bij een reactie-individueen betrokken stofindividueen en hun volumeverhoudingsgetallen. Hier liet ik impliciet dat nog steeds wordt gedacht aan stofindividueen in de gasfase. Bij de gevraagde afleiding moeten de leerlingen gebruik maken van het principe elementmassabehoud. Ik gaf dat impliciet aan met "op grond van het aantal elementeenheden". Dit is hier echter een onjuiste term. *Elementmassabehoud wordt in deze terminologie uitgedrukt door een konstant aantal elementmassaporties, niet door een konstant aantal elementeenheden, omdat dat een konstant aantal elementmassaporties per standaardvolume voorstelt.* Terugblikkend verbaast het me dan ook niet meer dat de leerlingen K6-17 niet zelfstandig konden maken.

Stofindividueen in de gasfase zijn nu in een kwantitatieve formule af te beelden (K6-18,19). We waren zo'n formule in de Amersfoortse groep 'verdeelbaarheidsformule' gaan noemen (7.2.2). Aan de hand van enkele van de zo bepaalde verdeelbaarheidsformules moeten de leerlingen opdracht K6-16 met behulp van K6-20 konkretiseren. En dit wordt de opstap tot de daarna weergegeven reactievergelijking van de vorming van waterstofchloride uit de enkelvoudige stoffen waterstof en chloor. Zij moeten in K6-21 vervolgens zelf enige reactievergelijkingen opstellen.

In K 7 komt de massaverhouding tussen de massaporties van verschillende elementindividueen aan de orde. In de opdrachten bleef ik de fout maken 'elementeenheid' (= elementmassaportie per standaardvolume) in feite gelijk te stellen aan 'elementmassaportie'. Dit gebeurt bijv. in K7-1, vierde streepje, waar ik de vraag stelde of de leerling het eens is met: "In een reactievergelijking beeldt het product van coëfficiënt en verdeelbaarheids-index het aantal element-eenheden af."

De berekende verhoudingen tussen de massaporties van verschillende elementindividueen zijn tot één reeks te combineren waarin ieder elementindividueen slechts één maal voorkomt (K7-2). Deze massaverhoudingsgetallen worden "*elementgetallen*" genoemd. De leergang vraagt niet aan de leerlingen een verklaring te zoeken voor het feit dat aan ieder elementindividueen slechts één elementgetal kan worden toegekend. Als auteur geef ik die in de tekst tussen K7-2 en 3. Daarbij noteer ik:

"Maar nu hoeft ons dat niet te verbazen, want deze ene reeks moest ontstaan. We zien namelijk alle reacties als een hergroepering van elementeenheden. Dit gezichtspunt hebben we ingenomen om de geheeltallige volumeverhoudingen volgens Gay-Lussac te verklaren."

De aanname dat hetgeen tot nu toe is gevonden bij de één-tot-één gasreactie voor "*alle reacties*" zal gelden, is in dit stadium een ongeoorloofde generalisatie (zie 3.5,

noot 19). Daarnaast is in de voorafgaande tekst geen verklaring gegeven van "de geheeltallige volumeverhouding volgens Gay-Lussac". Met het ontwikkelde model van de elementmassa- en volumeverhouding is een verklaring mogelijk van de extra regelmaat in de volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie, die in 3.3.4 is gegeven.

In die tekst tussen K7-2 en 3 ging ik er bovendien toe over te eisen dat aan een stofindividueel een getal kan worden gekoppeld dat vergelijkbaar is met het elementgetal. Ik noemde dit het *formulegetal*. Ik vrees dat de gegeven tekst te weinig benadrukt dat het om massaverhoudingsgetallen gaat, zodat de functie van het element- en het formulegetal mistig kan blijven. Ik verwacht dat protokolanalyse hierop licht zal werpen.

8.1.2 De onderzochte gespreksgroepjes

Zowel in hoofdstuk 6 als in 7 heb ik begripsgenese beschreven aan de hand van materiaal dat stamde van één gespreksgroep. In dit hoofdstuk wil ik materiaal gebruiken dat komt van twee verschillende groepjes, één van vier meisjes en één van vier jongens. Door de bespreking van protokollen van beide groepjes ontstaat de mogelijkheid te kijken in hoeverre het bereikt hebben van de fase van explicitering t.a.v. de in K 6 en 7 aangereikte begrippen en relaties hun aanspreekbaarheid voor de opdrachten beïnvloedt en in hoeverre dit leidt tot verschil in hun begripsgenese (6.1).

8.1.3 De onderzoeksvragen

In 7.3 omschreef ik reeds twee onderzoeksvragen:

1. slagen leerlingen erin een genese van een kwantificering van het elementbegrip tot stand te brengen?
2. in hoeverre zijn in de bedoelde kwantificering massa- en volumeverhoudingsaspecten bij chemische reacties tussen stofindividueen in de gasfase opgenomen?

In 8.1.1 noemde ik een derde vraag:

3. in hoeverre zien leerlingen de aangereikte termen element- en formulegetal als massaverhoudingsgetallen?

In 8.1.2 staat een vierde vraag:

4. is het mogelijk verschil in begripsgenese in verband te brengen met verschil in bereikt hebben van explicitering van de begrippen en relaties?

Nu wil ik nog een vijfde vraag vermelden:

5. indien leerlingen niet tot een gewenste kwantificering van het elementbegrip komen, kan ik dan aangeven in hoeverre zij daarin zijn gehinderd door de structurering van de opdrachten?

8.2 Kwantificering van het elementbegrip

8.2.1 Taalveldverandering

In de gebruikte leergang was het mede de bedoeling een formule voor een stofindividue in de gasfase te interpreteren als weergave van beschreven regelmaat in volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie (zie protocol 17, 7.2.4). In protocol 19 (bijlage 25) spreekt een groepje leerlingen over K6-14. Zij zetten daarbij een nieuwe stap op weg naar een kwantificering van het elementbegrip.

Protocol 19

Simon kiest voor één massaportie van het element waterstof per standaardvolume bij de stoffen "water" (5) en "waterstofsulfide" (7). Deze stofindividuen staan in tabel 3 in hetzelfde vakje als de stof waterstof. Daarom lijkt het mij niet onlogisch te konkluderen dat Simon ook één massaportie van het element waterstof zou kiezen voor de stof waterstof. Ik zie dit dan als uitvloeisel van de volgende twee veronderstellingen:

1. Simon leest 'element' in de opdracht in de zin van 'de stof waterstof';
2. waterstofgas ("element", S: 3) representeert slechts het element waterstof.

Fred is het niet eens met Simon's zienswijze (10-11). Om dit te kunnen motiveren, gaat hij, overeenkomstig de opdracht, letten op de volumeverhoudingen uit tabel 3 (15-17, 27-28). Hij geeft vervolgens een antwoord dat wél is gebaseerd op het element waterstof ("ja water waterstof en waterstofsulfide 2 massaporties", 21-22). Hij begint met een motivering (27-28, 30) waarin hij de volumeverhoudingsgetallen uit de tabel naar een reactie toe vertaalt: "ontstaat uit" (27). Ik noem dit het taalveld 'ontstaat uit'. Dit is duidelijk geïnduceerd door tabel 3, waarin volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie staan. Verder staat in de onderwijstekst n.a.v. tabel 1 "... het daaruit te vormen ...", en bij tabel 2 "... waaruit ze gevormd kunnen worden." Dit taalveld werkt blijkbaar aansprekend naar Fred toe.

In tegenstelling tot 'ontstaat uit' gebruikt Fred in 15-17 een ander taalveld met 'zit in' als kenmerkende term. Ook hier zal de onderwijstekst een rol hebben gespeeld, omdat die verschillende malen na K6-12 spreekt over 'massa van het element waterstof in'.

Klaas begint enigszins voorzichtig een regel te formuleren (33-34) waarmee hij in 39-41 doorgaat. Ik interpreteer daarbij:

- 33: "verhouding van waterstoffen" als de verhouding van de elementmassaporties waterstof;
- 33: "in een gelijke hoeveelheid eh samengestelde stof" als in een standaardvolume van de betreffende stofindividuen;
- 39: "de hoeveelheid waterstof" als het aantal elementmassaporties;
- 40: "als element" als enkelvoudige stof waterstof;
- 40: "bij een gelijke hoeveelheid" als in een standaardvolume;
- 42: "dit omdraaien" als het omgekeerde van de volumeverhouding;
- 42: "het verhouding van waterstof" als verhouding van het aantal elementmassaporties;

43: "hoeveelheid" als volume.

Zijn regel komt dus neer op: de verhouding van de aan twee stofindividueen toe te kennen elementmassaporties per standaardvolume is het omgekeerde van de volumeverhouding tussen deze stofindividueen bij de één-tot-één gasreactie. Ook Klaas spreekt in het taalveld 'zit in': "waterstof in een samengestelde stof" (39). De chemische reactie zit impliciet opgenomen in de volumeverhoudingsgetallen (41). Fred roept dit én het elementmassabehoud heel nadrukkelijk op: "is ontstaan uit 2 liter waterstof is 2 maal zoveel massa is er ook in gekomen" (51-52). *Hij geeft zo een redenering waarbij het taalveld 'ontstaat uit' de basis vormt voor het taalveld 'zit in'.* Een vergelijkbare taalveldverandering is m.i. ook op te merken in protocol 17, regel 30-36 (7.2.4).

Omdat Simon het niet begrijpt, volgens eigen zeggen omdat hij "aan het slapen" (55) is, probeert Fred, wederom in het taalveld 'ontstaat uit' (58, 60) gevolgd door 'zit in' (67), de benodigde relaties te verduidelijken. Voor Fred is het hier "wel handiger" (72) de verhoudingsgetallen 1 : 1 te zien als 2 : 2, maar de reden ervoor ontgaat Simon ("dat is mooier he", 71). Ik wil ze daarom op dit moment geen gesprekspartners van elkaar noemen (81-83). *Toch blijven zij als groep proberen samen een gespreksgemeenschap te vormen doordat Fred nogmaals de volumeverhoudingsgetallen uit de tabel interpreteert naar massabehoud toe (84-101). Hij gebruikt bij volumeverhoudingen het taalveld 'ontstaat uit', bij massabehoud 'zit in'.*

Zij kennen uiteraard de formule H_2O (104, 106), maar hier blijkt dat het een feit is dat losstaat van overige verbanden. We herkennen hier de functie van een formule als steno "... to label vessels ..." zoals ik Berzelius citeerde in 3.3.1. Maar ook wat ik zei in 1.2.3 over de trend in de Nederlandse school-scheikundeboeken vanaf 1970: overgang naar formules als 'feiten'. Simon slaagt er niet in een relatie te leggen tussen het getal 2 in deze formule én de volumeverhoudingen uit de tabel aan de ene kant en de verhouding van aantallen elementmassaporties aan de andere kant.

Fred kan Simon ook in een hernieuwde poging het gezochte verband tussen aantallen elementmassaporties per standaardvolume niet duidelijk maken (112-125). Opeens (126) kan Simon het gevraagde aantal onder woorden brengen in het taalveld 'zit in'. Het feit dat hij daarvoor Fred niet laat uitspreken (126, 128-130), wijst er m.i. op dat hier sprake is van een directe ervaring t.a.v. het gevraagde verband. Volgens mij gaat hij in 140-141 een verband leggen tussen de volumeverhouding voor het stoffenpaar waterstofchloride en ammoniak en het aantal elementmassaporties waterstof per standaardvolume in ammoniak zodat hij meer doet dan alleen maar een algoritme toepassen ("dus heb je 3 keer zoveel portie als bij waterstofchloride", 140-141, zie ook 135).

Simons bijdrage tot hun onderwijsresultaten bestaat er vooral uit dat hij de onuitgesproken aanname aangeeft: het aftellen begint bij waterstofchloride (146-147, 149). Ik sprak in relaas 4 van 2.1.2 over deze onderwijssituatie en gaf daar aan dat ik mij ten tijde van het uitschrijven van de bandopname onvoldoende realiseerde dat een dergelijke afspraak nodig is voor het toekennen van de (verhoudings)waarde 1. Simon wijst hier nadrukkelijk op.

Overigens merk ik op dat alle deelnemers een bijdrage aan dit onderwijsresultaat hebben geleverd. Zij komen tot een expliciete uitspraak dat de toe te kennen aantallen elementmassaporties per standaardvolume zijn genormeerd op 1 in bijv. waterstofchloride. Het is de vraag of zij hiertoe zouden zijn gekomen als Simon niet zo vasthoudend was geweest.

8.2.2 Explicitering

De leerlingen uit protocol 19 verkenden het terrein van de kwantificering van het elementbegrip. Hun gesprek leidde tot een analyse van de relatie tussen volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie enerzijds en de aantallen elementmassaporties per standaardvolume stofindividueel anderzijds. Ik kan hier geen duidelijke fase van ongenoegen aanwijzen.

Fred gaf al snel een motivering vanuit het taalveld 'ontstaat uit' naar 'zit in'. Daarbij kwam hij tot de formulering van een regel voor het berekenen van het aantal elementmassaporties per standaardvolume. Uit zijn bijdrage aan het gesprek blijkt dat hij die regel chemisch kan onderbouwen (zie ook 183-184). Zijn uitspraken hebben het karakter van een legitiem gereduceerde vaktaal (3.3.5).

Ook Klaas is in staat deze regel te hanteren. Hij gaf volgens mijn interpretatie in regel 39-44 een formulering die past bij het spreken over volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie. Hij komt op het einde tot een eenvoudigere formulering, omdat hij niet zoals Fred uitgaat van "2 liter" (183), maar van 'gelijke volumes' (187-188). Dit sluit aan bij zijn uitspraken aan het begin van het protocol (33-34, 39-44). Daarom lijkt het mij dat hij eveneens hier een legitiem gereduceerde vaktaal spreekt.

Aan de hand van een fragment uit de erop volgende les (protocol 20, bijlage 26) wil ik nagaan in hoeverre dit groepje de onder woorden gebrachte relaties in de nieuwe vraagstelling van K6-19 en 20 weet toe te passen.

Protocol 20

Bij opdracht K6-18 stond vermeld dat zij tabel 2 moesten gebruiken om te komen tot een "verdeelbaarheidsformule" ('molekuulformule') voor de vijf enkelvoudige stofindividueel in de gasfase die in deze tabel staan. Ondanks deze aanwijzing veronderstelt de opdracht dat een leerling hier eigener beweging een verband legt tussen de aantallen elementmassaporties per standaardvolume en de volumeverhouding bij de één-tot-één gasreactie zoals die in die tabel staan. Daarom wil ik deze opdracht en K6-19 kenmerken als een vrije oriëntatie t.a.v. genoemde relatie (5.3.4.2). Beide opdrachten vereisen dat leerlingen op grond van gegeven volumeverhoudingen, verwoord in het taalveld 'ontstaat uit', komen tot een karakterisering van stofindividueel in het taalveld 'zit in'.

Voor Fred lijkt het verband tussen toe te kennen formule en volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie expliciet te zijn want "ammoniak daar moeten we dus tabel moeten we erbij nemen" (20). Hij bedoelt hier tabel 2 uit en zijn uitspraak kan dus worden opgevat als gedaan in het taalveld 'ontstaat uit' (26-27). Hij

gebruikte het taalveld 'zit in' in samenhang met 'portie' (23-24), welke term m.i. voor hem funktioneert als aanduiding voor 'element' en niet voor 'stof' (i.c. stikstofgas), omdat hij N_2H_3 afwijst (20-27).

Fred spreekt n.a.v. fosfien over "1 portie fosfor en 3 porties waterstofgas" (51-52). Omdat hij 'portie' gebruikt, zeker in dit geval in combinatie met "fosfor", lijkt het mij dat hij nog steeds het begrip 'element' hanteert. "3 porties waterstofgas" komt dan over als een hybride van 'element' en 'stof'. Ik zie dit echter als spreekfout en ga ervan uit dat hij in feite is gericht op het element waterstof. Fred gebruikt hier de betekenis van een formule zoals Berzelius die op het oog had: een weergave van de volumeverhouding volgens welke een stofindividue kan ontstaan uit de enkelvoudige stofindividue in de gasfase (3.3.1).

Piet bedoelt met "1/4 deel is fosfor" (50) mogelijk dat "1/4 liter fosfordamp overeenkomt met 1 elementportie fosfor". Een andere zienswijze is dat hij hier heel beknopt tabel 2 weergeeft: V liter fosfien ontstaat uit $1/4 V$ liter fosfordamp. Ik weet niet wat Simon zou kunnen bedoelen met "zo moet je dat doen en niet zo van $1/4$ en 3 " (51). In ieder geval geven Piet en Simon aan dat zij weten hoe zij dit soort vragen kunnen oplossen (53-55), maar voor hen beiden blijft m.i. in dit gespreksfragment de chemische achtergrond nog impliciet.

Opdracht K6-20 luidt "In welke volumeverhouding zijn nu de volgende stoffen tot elkaar betrokken in een chemische reactie?" De beperking, die ik als auteur bedoelde, tot de één-tot-één gasreactie staat hier niet vermeld. Omdat in K6-17 deze beperking was opgeheven, is op de keper beschouwd voor leerlingen opdracht 20 eigenlijk onbeantwoordbaar tenzij ze zich wel tot de één-tot-één gasreactie beperken. In elk geval zou ik ook hier willen spreken van een vrije oriëntatie t.a.v. het verband tussen de volumeverhouding bij de één-tot-één gasreactie en de verhouding van de aantallen elementmassaportie per standaardvolume in twee stofindividue.

Mogelijk komt Simons en Freds aanvankelijke onzekerheid voort uit de zojuist aangestipte onzorgvuldigheden in de formulering van de opdracht (61-62). Het lijkt mij dat Simons antwoord "4 staat tot 3 of zo?" (68) berust op de som van de indices in respectievelijk waterstofazide (N_3H_1) en lachgas (N_2O_1). Hij blijft daarmee spreken volgens het taalveld 'zit in' en gaat niet over naar spreken volgens 'ontstaat uit'. Klaas wordt door de opdracht wel aangesproken door de term 'reactie' (63, 67, 69). M.i. speelt de formulering van de opdracht hem parten: "waar wou je de H heen dan?" (80). De opdracht geeft niet expliciet aan dat ze alleen op het gemeenschappelijke elementindividue hoeven te letten en deze vrije oriëntatie betekent dan een te grote anticipatiespanning (6.2.8) voor Klaas.

Omdat Klaas niet aan het gemeenschappelijk elementindividue van waterstofazide en lachgas refereert, lijkt mij een steekhoudende interpretatie van regel 75 dat hij op tabel 2 wijst. Tabel 3 heeft namelijk het gemeenschappelijke element waterstof als uitgangspunt. Fred refereert wél aan tabel 3 (81) en als vanzelfsprekend aan het gemeenschappelijk elementindividue (85, 100). Dit komt ook tot uiting in zijn antwoord: "2 staat tot 3" (78-79, zie ook 87-88, 97, 104-105). *Hij verbindt er direct een regel aan over het verband tussen enerzijds de volumeverhouding tussen een*

verdwijnt en een ontstaand stofindividue bij een één-tot-één gasreactie en anderzijds de respektieve indices van het gemeenschappelijke elementindividue in hun verdeelbaarheidsformules (87-88).

Fred gebruikt per ongeluk 'massa' in plaats van 'volume' (93, 95), wat door Klaas en door Simon wordt opgemerkt (107-112). Dit zal er niet de oorzaak van zijn geweest dat Simon hen/hem niet begrijpt (101-102, 113, 116). Voor Fred en Klaas is het reactie-individue hier niet meer van belang: de indices in een formule geven een verband aan dat voor alle één-tot-één gasreacties geldt (F + K: 114-115, F: 118-119). Simon echter heeft wel behoefte aan een specifiek reactie-individue (113, 116, 121). De aantallen elementmassaporties per standaardvolume die aan twee stofindividuen worden toegekend, zijn voor hem nog geen afbeelding van de resulterende volumeverhouding. Het aangereikte begrip 'verdeelbaarheid' brengt voor hem niet, maar voor Fred en Klaas wel structuur aan in mogelijke volumeverhoudingen bij één-tot-één gasreacties, zodat ik kan spreken over een verschil in aanspreekbaarheid bij de groepsleden.

M.i. kunnen Fred en Klaas wel, maar Simon niet, met behulp van beschouwende termen een beschrijvende redenering geven (BB, 6.2.6). Dit komt uit de gegeven fragmenten voor Klaas minder duidelijk naar voren dan voor Fred. Ik baseer de genoemde kwalifikatie voor Klaas op het feit dat hij voor Fred gesprekspartner blijft en zelf ook produktief bijdraagt aan de oplossing van voorgelegde problemen.

Piet geeft als volumeverhouding tussen fosfien (= P_1H_3) en fosforoxide (= P_4O_{10}) de waarden "12 staat tot 10" (131) en "4 staat tot 12" (133). Ik kan deze begrijpen als ik P_1H_3 schrijf als P_4H_{12} waarin 4 : 12 naar voren komt. De verhouding 12 : 10 kan dan aangeven dat hij de index '12' vergelijkt met de index 10 uit P_4O_{10} . Indien deze interpretatie juist mag worden genoemd, geeft zij aan dat Piet niet ziet dat hij een verdeelbaarheidsformule niet op deze manier mag behandelen. Weliswaar stellen de indices verhoudingsgetallen voor (zie het gesprek van protocol 19), maar als eenmaal een normering op 1 is gekozen, liggen de waarden voor het elementindividue verder vast. Fred wijst hem op het gemeenschappelijk elementindividue als het in het oog te houden kenmerk (139). Piet noemt later wel de verhouding 4 : 1 (148), maar geeft niet aan waarom hij nu daarvoor kiest. Piet heeft m.i. nog geen structuur tot stand gebracht in de beschrijvende volumerelaties.

Simon lijkt ondertussen een door anderen aangereikt algoritme toe te passen. *Toch is hij niet tevreden met alleen de oplossingsmethode, want hij vraagt naar het waarom van het omdraaien van de indices om de volumeverhouding te krijgen (164). Ook spreekt hij uit dat hij wil begrijpen wat hij doet (170) en dat hij daarvoor de anderen nodig heeft (175). Fred vertaalt de samenhang tussen volumeverhouding en indices als weergave van elementmassabehoud (184-185, 189-190). Simon zegt dit te begrijpen (186, 188, 191), maar het valt moeilijk vast te stellen in hoeverre dat werkelijk het geval is. Korte regels als die in 189-190 zijn gemakkelijk hanteerbaar en geven de gebruik(st)er de schijn van inzicht omdat hij of zij hiermee 'sommen' kan maken.*

Zo heeft Simon nog de steun van Fred nodig om te formuleren waarom zij geen volumeverhouding aan kunnen geven tussen ammoniak (= N_1H_3) en waterstofazide (= N_3H_1) (220-230). Formules hebben voor Fred een betekenis gekregen

aan de hand waarvan hij structuur kan aanbrengen in de beschrijvende volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie (248-249, 251, 253). Overeenkomstig de terminologie van 6.2.6 kan ik dit benoemen als het geven van een beschrijvende redenering vanuit een beschouwend gezichtspunt (BB). Ik zie zijn taalgebruik als legitiem gereduceerd. Vanwege de moeite die Simon ondervindt, is hij na zijn ongenoegen (164, 170, 175) nog niet door de benodigde analyse heen. Een dergelijke taalreductie als door Fred gehanteerd, lijkt mij voor hem dan ook te vroeg te komen (235-236, 238, 242-243).

8.2.3 Het innemen van een nieuw gezichtspunt

De leerlingen van protokol 19 en 20 probeerden met elkaar in gesprek te blijven, waarbij zij stonden in de spanning tussen elkaar wel en elkaar niet-verstaan. Het elkaar wel of niet-verstaan hing samen met de ingenomen gezichtspunten. In protokol 21 (bijlage 27), waarin een groepje van vier meisjes samspreekt over K6-14 (bijlage 7) treedt zo'n spanning heel duidelijk aan de oppervlakte.

Protokol 21

In protokol 19 sprak het jongensgroepje over dezelfde opdracht K6-14 als hier het meisjesgroepje. Bij de analyse van protokol 19 bleek dat voor de beantwoording van de vraag een verandering van het taalveld 'ontstaat uit' naar 'zit in' belangrijk is. Ook K6-13, die gaat over de verhouding van de massa van het element waterstof in een standaardvolume van enige stofindividen, houdt in feite deze taalveldverandering al in. Op grond van tabel 3, dus 'ontstaat uit', wordt namelijk een uitspraak gedaan over de relatieve massa van het element waterstof *in* die stofindividen. Zie ook mijn bespreking van K6-13 en 14 in 8.1.1 met mijn kritiek op de formulering van deze opdrachten.

Carla lijkt het verband tussen beide reeksen verhoudingen niet te zien (1, 10, 21), maar Tineke (3, 6-7, 9-10) en Sonja (4) wel. Tineke vat het zojuist afgeleide verband uit K6-13, op als identiek aan een nu te geven antwoord (3, 6-7). En indien stofindividen bij elkaar in één hokje in tabel 3 staan, betekent dat voor haar dat zij daaraan hetzelfde aantal elementmassaporties per standaardvolume moet toekennen ("dat was HCl en HBr of niet, dat is natuurlijk hetzelfde", 19-20; 22). Ik wil voor Tineke daarom spreken over een eigen explicitering van de relatie tussen de volumeverhoudingen in de één-tot-één gasreactie en de bijbehorende elementmassaverhouding per standaardvolume. Ik kan op grond van haar uitspraken nog niet hard maken dat ze inderdaad een 'objektwisseling' (7.1.1) tot stand heeft gebracht t.a.v. de volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie.

Petra heeft een dergelijke zekerheid niet ("maar waar ga je eigenlijk hiervan uit", 24; 26, 29-30), zij ziet de stap niet die moet worden gezet om van 'ontstaat uit' te komen tot 'zit in'. M.i. doet Tineke dit wel, want zij verbindt de in K6-13 berekende verhouding van de elementmassa's waterstof in de daar genoemde stofindividen per standaardvolume met de gevraagde aantallen elementmassaporties per standaardvolume ("het gaat nou niet meer om, om die verhouding tussen deze,

maar de verhouding van waterstof in dat", 33; 35-37, 43-45). Zij let daarmee nadrukkelijk op het verhoudingsaspect in de gezochte relatie (47-51).

Petra ziet de getallen wel die Tineke opschrijft, maar zij meent dat deze "gevoon" uit tabel 3 vallen af te lezen (41-42). Ze begrijpt niet waarom dat 'zo maar' kan. Voor mij is het daarom de vraag of zij de toe te kennen aantallen elementmassaporties per standaardvolume verbindt met een verhouding zoals Tineke deed. Haar uitspraak: "je hebt zeg ik 1 liter hoeveel H zit er dan in?" (P: 55-56) geeft duidelijk aan dat zij hier denkt aan een absolute grootte van de elementmassa (zie ook 59). Petra spreekt hierbij in een taalveld 'zit in' (56, 59), dat echter geen verhouding weergeeft. Daarom wil ik haar gebruik van 'zit in' als verschillend zien van dat in protocol 19 en 20 of als de manier waarop Tineke het hanteert (69, 72). Want Tineke verbindt het uitdrukkelijk met massaverhouding ("dat is toch ook 1 staat tot 2", 78) en 'standaardvolume' ("nee in V liter HCl", 85; 90).

Petra en Carla stemmen wel in met de in K6-13 berekende verhouding van de elementmassa waterstof in een standaardvolume van verschillende stofindividuen (P: 91, 94; C: 92-93). Petra ziet echter niet hoe in tabel 3 valt af te lezen (98) ófwel dat deze massaverhouding zo is, ófwel welke de gevraagde aantallen elementmassaporties per standaardvolume zijn. Tineke geeft haar aan dat het niet gaat om een direkt afleesbare relatie (103-104, 105-106). Daarbij duidt zij vermoedelijk op stofindividuen als water en waterstofgas (114-118) die in één hokje van tabel 3 bij elkaar staan ("omdat dat hier bij in zit dus dat hebben ze allemaal hetzelfde", 117-118). Petra maakt niet de blikwisseling die samenhangt met de verandering van het taalveld 'ontstaat uit' naar 'zit in', ook al gebruikt ze deze laatste termen. Zij vertoont dus een andere ontwikkeling dan Simon in protocol 19, die ook de anderen niet begreep, maar daarbij aanvankelijk niet in het taalveld 'zit in' sprak.

Ik lees Petra's uitspraak (120) vrij vertaald als volgt: indien waterstof volledig uit waterstof bestaat, hoe kan het dan twee keer waterstof zijn. Daarmee maakt zij geen duidelijk onderscheid tussen het element waterstof en de stof waterstofgas zodat zij nog niet komt tot een eerste kwantificering van het elementbegrip. Voor haar is dus duidelijk sprake van ongenoegen (98, 109, 116, 120, 122, 131) t.a.v. de relatie tussen volumeverhoudingen van een stofindividu bij de één-tot-één gasreactie en het daaraan toe te kennen aantal elementmassaporties per standaardvolume.

De overgang van het taalveld 'ontstaat uit' naar 'zit in' betekent dat in K6-14 een verband wordt aangebracht tussen de begrippen 'element', 'massaportie' en 'hergroepering van elementen'. Dit zit impliciet opgenomen in "als je hier nou H neerzet, dan kun je gewoon zien dan kun je toch gewoon die O wegstrepen" (127-128). Ik vermoed dat zij hiermee spreken over de reactie van waterstof en zuurstof tot water. Ik kan begrijpen dat Tineke dat als voorbeeld kiest, om zo Petra's ongenoegen met 'twee elementmassaporties waterstof in de stof waterstof' weg te kunnen nemen. Als Petra wél instemt met twee elementmassaporties waterstof in water, dan kan, na wegstrepen van het element zuurstof in het reactieschema, een gelijkheid rond het element waterstof ontstaan. Het al gebruikte elementmassabehoud wordt daarmee vervangen door een notie 'behoud van elementmassaporties'. Deze interpretatie zou dan betekenen dat Petra in 135 met " H^+ " doelt op de schrijfwijze

'H⁺O' voor water die in tabel 3 is gebruikt. Tineke en Sonja formuleren echter zo beknopt dat zij geen woorden gebruiken die Petra aanspreken in haar vraagstelling naar de betekenis van de toegekende aantallen elementmassaporties per standaardvolume (P: 131).

Tineke memoreert nogmaals de relatie tussen de volumeverhoudingsgetallen uit tabel 3 en de daaruit afgeleide massaverhoudingen van het element waterstof in een standaardvolume van verschillende stofindividuen (133-134, 139-140). Zij neemt daarbij de formulering van de onderwijstekst over ("m van H", 139-140; "in grammen", 151), terwijl Petra spreekt over "waterstof" (143, 145) en Carla over die "hoeveelheid" (146).

Tinekes nauwgezetheid strekt zich uit tot het scherp onderscheid maken tussen "volume" van een stofindividu en "massa" van een elementindividu (153-154, 163-164). Petra vermoedt een omrekening tussen deze twee grootheden, analoog aan het, met behulp van de dichtheid, berekenen van de grootte van de massa die bij een bepaald volume hoort (P: 161; S: 162). Tineke drukt ook hier weer uit dat de massarelatie waar het om gaat, in wezen een massaverhouding per standaardvolume is (163-164, 166-167).

De getallen die de verhoudingen van de elementmassa waterstof per standaardvolume van verschillende stofindividuen aangeven (K6-13), zijn voor Tineke "precies hetzelfde" (172, 174, 176) als de toegekende aantallen elementmassaporties per standaardvolume (K6-14) (179-180, 182), maar voor Petra niet (170-171). Petra en Tineke noemen beide "2 staat tot 1" (168-169) gevolgd door "2" (181-182). Ik kan echter niet uit Petra's uitspraken konkluderen dat zij zulke waarden is gaan zien als het aantal elementmassaportie: "dan krijg je er alleen maar 3 eruit, wat kan je dan weten?" (200-201). Sonja brengt als een massaverhouding een betekenis onder woorden van de toegekende aantallen elementmassaporties per standaardvolume van verschillende stofindividuen (202-203). Ze gebruikt hierbij het taalveld 'zit in', dat ook verderop voorkomt (? : 209, T?: 211-213, T: 216).

Dit verhoudingsaspect, waarin Tineke en Sonja elkaar verstaan, is voor Petra blijikbaar onduidelijk en vormt een thema in het laatste deel van hun gesprek. Vanwege de vele onherkenbare spreeksters en stukken gesprek wil ik daar echter geen nadrukkelijke analyse-uitspraken over doen. Ik vermoed dat Petra er niet in slaagt de aantallen toe te kennen elementmassaporties per standaardvolume te zien als een weergave van een elementmassaverhouding. Vooral haar uitspraken op het einde geven dit aan (262-263, 275). Zij neemt niet een nieuw gezichtspunt in om van daaruit de volumeverhoudingsgetallen bij de één-tot-één gasreactie te gaan beschouwen als gevolg van een hergroepering van elementmassaporties. Daardoor komt zij niet tot een eerste kwantificering van het elementbegrip.

Vergelijken we de zojuist gegeven analyse met die van de jongensgroep uit protocol 19, dan valt op dat Simon wel de genoemde stap zet naar 'elementmassaportie'. Een reden daarvoor zou kunnen zijn dat de jongens heel duidelijk de overgang van 'ontstaat uit' naar 'zit in' maken. In de meisjesgroep komt die verandering veel minder duidelijk aan de oppervlakte. Mogelijk doordat Petra teveel een absolute grootte wil verbinden aan 'elementmassaportie per standaard-

volume', waardoor de chemische reactie, verwoord middels het taalveld 'ontstaat uit', uit het zicht raakt.

In dit opzicht vind ik haar moeite om volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie te gaan zien als een gevolg van het hergroeperen van elementmassaporties, vergelijkbaar met de moeite die ik destijds ondervond in de Amersfoortse groep, door mij verwoord in "portie mosselen" (relaas 5, 2.1.2). Ik interpreteer deze uitspraak van mij nu ook als weergave van spreken in absolute termen in plaats van in verhoudingen (zie o.a. interpretatie 5 2.1.2, 3.2.1, 3.2.5). Noch Petra hier, noch ik toen slaagden erin een eerste stap te zetten op de weg naar een mogelijke objectwisseling.

8.2.4 Werken vanuit niet doorzien algoritme

In 8.2.2 gaf ik naar aanleiding van protocol 20 (190-191) aan dat het gevaar groot is dat het werken met kwantitatieve aspecten van chemische reacties gebeurt volgens (deels) onbegrepen algoritmes. Er ontstaat dan een gericht raken op het 'maken van sommen' zonder een chemische achtergrond ervan te zien. In protocol 22 (bijlage 28) komt deze problematiek aan de orde naar aanleiding van opdracht K6-21 waar het opstellen van reactievergelijkingen thema is.

Protocol 22

In de tekst voor K6-21 staat een reactievergelijking gegeven van de synthese van waterstofchloride. Sonja interpreteert deze aanvankelijk in het door de leergang ontwikkelde kader van volumeverhoudingen (6). Petra geeft m.i. met "dit moet altijd gelijk zijn" (13, 15, 17) de gelijkheid aan van het produkt van coëfficiënt en index voor ieder elementindividu. Dit klinkt als een voorschrift, dat ze echter niet met een argumentatie onderbouwt. Het is dan ook te begrijpen dat zowel Tineke (19-20) als Carla (24, 26, 28, 30) andere mogelijkheden opperen om aan een gelijkheid te voldoen. Ik kan Tineke's uitspraak 19-20, zeker gezien Petra's reactie uit 21, interpreteren als een voorstel om index en coëfficiënt om te wisselen. Dit zou betekenen dat zij afziet van de reeds eerder toegekende betekenis aan de index bij het elementsymbool. Voor wat betreft de dan te verkrijgen formule " H_2Cl_2 " wijzen Petra en Sonja op de formules zoals zij die al eerder hebben afgeleid (21-23). Zij verbinden dit niet met een verwijzing naar volumeverhoudingen, zodat het in mijn ogen een zelfde functie heeft als de verwijzing naar de formule H_2O in protocol 19 regel 104: formule als feit (1.2.3).

Carla wil de indices in H_1Cl_1 optellen omdat dat ook de waarde twee oplevert (24, 26, 28). Sonja, Tineke en Petra proberen dus een betekenis toe te kennen aan de coëfficiënten en aan de indices in een reactievergelijking zonder daar bevredigend in te slagen (33, 35-44). Tineke is wel zeker t.a.v. de betekenis "volumes" (42), maar uit het gesprek kan ik niet opmaken of ze daarbij doelt op de coëfficiënten.

Sonja refereert nu niet meer, zoals in regel 6, aan volumeverhoudingen. M.i. geeft zij een reactievergelijking verder in het gesprek vooral een betekenis in het kader van atomen als afzonderbare deeltjes (" H_2 zijn 2 bolletjes maar wat zijn die

bolletjes", 50-52). Overigens lijkt mij het beeld dat ze aanduidt in deze samenhang ("die bolletjes", 52) aan te geven dat ze daarbij geen duidelijke voorstelling heeft van de gebruikte symbolen.

Carla blijkt wel aanspreekbaar voor de door Petra aangedragen 'gelijkheid', maar niet voor de erin weergegeven chemische relaties, want ze let niet op ieder elementindividueel afzonderlijk. Zo probeert ze op louter wiskundige wijze tot een gelijkheid te komen op grond van de getallen die in de reactievergelijking staan ("ja maar, ze hebben toch iets met die 1 gedaan, die 1 moet toch bij elkaar opgeteld zijn of, met elkaar vermenigvuldigd kan niet want dan moest er ook 1 uitkomen, je moet toch iets met die 1-en zijn gedaan, die 1 H hier en die 1 Cl₂", 58-61; 65). Zij komen aan de hand van de synthese van fosfien wel (P: 68-71) tot overeenstemming over een berekening (T: 77, C: 83-98), maar niet over een betekenis van de coëfficiënten.

Tineke zoekt in de kontekst van de leergang naar een betekenis van de gevolgde stappen (79-80, 108-109) in het licht van "massaporties per volume-eenheid" (102, 104). Petra en Sonja blijven zich beperken tot "kloppend maken" (P: 70, 110) en dat "je moet zorgen dat er overal evenveel van komt" (S: 115-116). *Dit groepje stelt zo een reactievergelijking op zonder de gebruikte symbolen met elkaar in verband te kunnen brengen. Ik wil daarom spreken van het toepassen van een onbegrepen algoritme (3.3.5).*

Zij komen dan ook niet tot een gesprek over de gebruikte begrippen en hun relaties. Het stellen van de vraag naar de betekenis van de coëfficiënten in K6-21a betekent dat ik er als auteur van de leergang van uitging dat de leerlingen hier de relatie tussen de aantallen elementmassaporties per standaardvolume en de volumeverhouding bij de één-tot-één gasreactie zouden kunnen expliciteren. Uit het gesprek in protokol 22 tot nu toe blijkt dat voor deze meisjes nog niet het geval te zijn. Sonja beantwoordt de vraag naar de betekenis van de coëfficiënten in het algemeen met "volumeverhouding" (122) wat ze m.i. toelicht aan de hand van de gegeven voorbeeldvergelijking voor de reactie tussen waterstofgas en chloorgas tot waterstofchloride ("1 liter en 1 liter is 2 liter", 124).

Petra interpreteert de coëfficiënten als "verdeelbaarheidsverhouding" (123). Hierbij ging zij uit van de in K6-16 ter sprake gebrachte relatie dat de verhouding van de verdeelbaarheden in de één-tot-één gasreactie het omgekeerde is van de volumeverhouding (125, 129-131). Hier wreekt zich m.i. de in K6-21 in algemene termen gestelde vraag, terwijl zij pas één voorbeeld van een reactievergelijking hebben gezien. Volgens mij geeft Sonja met "klopt niet altijd" (126) aan dat Petra's interpretatie niet opgaat als de beperking tot de één-tot-één gasreactie wordt opgeheven (K6-17). Hier proberen Sonja en Petra dus wel te komen tot een interpretatie van de symbolen in een reactievergelijking die past in het kader dat de onderwijstekst heeft proberen aan te reiken.

Het lijkt mij dat Carla (128) weer is aangesproken door het, toevallige, gelijk blijven van het totaalvolume bij de synthese van waterstofchloride ("1 liter en 1 liter is 2 liter", S: 124). Carla ziet dan ook hier een wiskundige wijze om tot een gelijkheid te komen, net zoals zij eerder daartoe kwam door de indices op te tellen (24, 26, 28, 58-60).

Het verdere vergelijken van hun antwoorden op K6-21a leidt niet tot diepgaande analyse van 'verdeelbaarheid' (132-148) of van 'elementsmassaportie' (153-154), ook al is er duidelijk sprake van ongenoegen bij Carla en bij Tineke rond de symbolen die zijn gebruikt in de gegeven reactievergelijking. Tineke begint m.i. wel met deze nodige analyse door "verdeelbaarheid is elementsmassaportie gedeeld door volume-eenheid" (153) te noemen, waarschijnlijk een 'citaat' uit de onderwijstekst tussen K6-14 en 15. Alleen Carla gaat er op in, en dan nog in afwijzende zin (154).

Ik spreek op het eind van protocol 22 met Petra over opdracht K6-21a (205-250). Zij interpreteerde de coëfficiënten in de gegeven reactievergelijking als de verhouding van de aantallen elementsmassaporties per standaardvolume (123, 125, 129-131 [ze leest hier uit K6-16]). Ik let onvoldoende op het feit dat de algemeen gestelde vraag in K6-21a door hen vanuit verschillende gezichtspunten kan worden beantwoord. Omdat ze hier in de onderwijstekst nog niet meer dan één reactievergelijking hebben gezien, ontbreekt het hun aan tegenvoorbeelden om te zien dat een bepaalde interpretatie van de coëfficiënten niet altijd opgaat. Ik zie ze wel in het algemeen als weergave van de volumeverhouding. Ik laat Petra niet zelf een voorbeeld zoeken waar haar interpretatie niet opgaat (237-248, [verbranden van ammoniak: K6-21b3]). Zou ik dat wel hebben gedaan, dan waren hun problemen misschien duidelijker naar voren gekomen en zij verder in hun leerproces.

Zij zien formules onvoldoende als weergave van verhoudingen van aantallen elementsmassaporties per standaardvolume, en zijn ten aanzien hiervan niet of onvoldoende tot eigen explicitering gekomen. Opdracht K6-21a is echter geschreven als een vrije oriëntatie rond deze relatie. Bijgevolg kunnen zij moeilijk, zo niet onmogelijk een reactievergelijking zien als afbeelding van het verband tussen volumeverhouding en formules. Wat niet bekend is, kan niet in een nieuwe situatie worden toegepast. Zo kan een onbegrepen algoritme ontstaan bij prematuur overnemen van een regel.

8.2.5 Conclusie

De leergang heeft in de opdrachten K6-9 t/m K6-21 een kader proberen aan te reiken waarin spreken over een gekwantificeerd elementbegrip kan ontstaan. Deze kwantificering berust op regelmaat in de volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie. In de geanalyseerde gesprekken was aan te wijzen dat hierbij een verandering van gezichtspunt optreedt die tot uiting kan komen in twee elkaar opvolgende taalvelden. Ik heb het eerste benoemd als 'ontstaat uit' en het tweede als 'zit in'. Het eerste taalveld geeft de context van de chemische reactie aan en het tweede die van een gekwantificeerde voorstelling van element. Het feit dat leerlingen erin slagen deze verandering van gezichtspunt tot stand te brengen, betekent dat hieruit een positief antwoord volgt op de eerste onderzoeksvraag uit 8.1.3. Het innemen van het gezichtspunt 'zit in' betekent het begin van een objectwisseling om volumeverhoudingen te gaan zien als gevolg van een hergroepering van elementsmassaporties.

De zojuist genoemde kwantificering van het elementbegrip betreft de visie dat we bij stofindividuen in de gasfase kunnen spreken over 'elementsmassaportie per

standaardvolume'. Elk stofindividu kan voor ieder elementindividu worden gekarakteriseerd met het aantal elementmassaporties dat in wezen een verhoudingsgetal is. De normering vindt plaats bij die groep stofindividuen welke in de één-tot-één gasreactie de reeks $1 : n$ opleveren. In een van de onderzochte gespreksgroepjes werd dit als een belangrijk uitgangspunt opgemerkt. We kunnen hierin een parallel zien met de bijdrage van Chris aan de discussies in de Amersfoortse groep. Hij benadrukte namelijk deze groep stofindividuen als startpunt om te komen tot een kwantificering van het elementbegrip (7.2.3, 7.2.4). Met behulp van aldus verkregen formules is het mogelijk reactievergelijkingen op te stellen die weergeven in welke volumeverhouding stofindividuen in de gasfase bij een reactie-individu zijn betrokken.

In de onderzochte protocollen bleek dat deze kwantificering bij één leerlinge werd bemoeilijkt doordat zij de verkregen verhoudingsgetallen voor de massa van een elementindividu in een standaardvolume van verschillende stofindividuen in absolute zin interpreteerde. *Dit geeft het belang aan van het spreken in verhoudingstermen voor de genese van een begrip 'chemisch atoom'.*

In beide gespreksgroepjes kon worden opgemerkt dat de leerlingen steeds probeerden met elkaar in gesprek te blijven over de aangereikte chemische problematiek. In één groepje kwam daarnaast naar voren dat bij het opstellen en interpreteren van een reactievergelijking van een gasreactie het werken volgens een onbegrepen algoritme ingang vond. Dit werd mede bevorderd door prematuur onderwijsaanbod. De opdrachten in de onderwijstekst gingen er namelijk vanuit dat leerlingen reeds gekomen waren tot de fase 'explicitering' ten aanzien van een betekenis van de symbolen in een reactievergelijking. In feite hadden zij pas met één vergelijking kennis gemaakt.

In het andere groepje kwamen enige leerlingen wel tot het toekennen van een betekenis aan de symbolen in een reactievergelijking. Zij waren wel in staat de verlangde relaties zelfstandig onder woorden te brengen. Dit geeft in zoverre een antwoord op de vierde onderzoeksvraag van 8.1.2 dat in staat zijn tot een eigen verwoording van relevante begrippen en relaties ertussen, een voorwaarde lijkt te zijn voor het zelfstandig kunnen doorwerken van opdrachten. De opdrachten in het gebruikte K-deel waren echter te weinig gestructureerd volgens de in 5.3.4.2 genoemde *onderwijsfasen* om een dergelijke eigen verwoording tot stand te brengen bij alle leerlingen. Hierin ligt dus een antwoord op de vierde vraag van 8.1.3 besloten.

Kwantificering van het elementbegrip zoals door mij omschreven in hoofdstuk 7 en in 8.1, houdt, naast de vraag naar het aantal massaporties van een elementindividu in een standaardvolume van een stofindividu, ook nog in dat aandacht wordt besteed aan de relatieve 'grootte' van deze massaportie van de elementindividuen. Ik zal gesprekken over deze massaverhoudingsgetallen, elementgetallen genoemd, van beide leerlingengroepjes in 8.3 nader bekijken.

8.3 Komen tot elementgetallen

8.3.1 Meer dan één weg naar hetzelfde elementgetal

In 8.2.4 beschreef ik dat de meisjes in het gespreksgroepje van protocol 22 een reaktievergelijking volgens een deels onbegrepen algoritme opstelden. Als onderwijzende had ik dat onvoldoende in de gaten, want 'hun antwoorden waren goed'. Daarmee bedoel ik dat zij als antwoorden op de opdrachten juiste getalwaarden of reaktievergelijkingen hadden.

Uit protocol 22 kwam naar voren dat zij vooral moeite hebben met een interpretatie van een formule als afbeelding van het *aantal* elementmassaporties per standaardvolume. Ik vermoed dat een oorzaak daarvoor ligt in de sterke nadruk die de leergang legt op volumeverhoudingen bij leerlingen te weinig aandacht komt voor de ermee samenhangende verhoudingen in de elementmassa's per standaardvolume. Daarom wil ik kijken naar hun gesprek over de opdrachten K7-1 en 2 want daarin komt aan de orde welke massaverhoudingsgetallen horen bij de elementmassaportie per standaardvolume voor verschillende elementindividuen. Deze massaverhoudingsgetallen zijn in de leergang *elementgetallen* genoemd, vertaald in hedendaags chemisch spraakgebruik: de relatieve atoommassa's. De leergang kent daarbij aan waterstof het elementgetal 1,00000 toe, zodat de uiteindelijk ontstane reeks waarden vertoont die bijna 1 % lager liggen dan de thans gebruikelijke relatieve atoommassa's (protocol 23, bijlage 29).

Protocol 23

Zij hebben in K7-1 m.b.v. de reaktievergelijking en de dichtheden, ontleend aan KT - 4, de massaverhouding uitgerekend waarin de stoffen waterstof en chloor met elkaar reageren (V: 1-4). Zij moeten in K7-2 vervolgens de massaverhouding uitrekenen tussen een *elementmassaportie* H en een elementmassaportie Cl (in de opgave ten onrechte elementeenheid¹ genoemd, zie 8.1.1). Daarvoor zijn volgens de onderwijstekst in principe twee verschillende wegen mogelijk, uitgaande van de gedachte dat ongeacht de redeneerwijze, er slechts één waarde voor ieder elementindividueel zal bestaan:

1. de coëfficiënten in de reaktievergelijking geven de volumeverhouding aan waarin de (hier: enkelvoudige) stofindividuen in gasvorm bij de chemische reactie zijn betrokken. Door deze volumeverhoudingsgetallen te vermenigvuldigen met de respectieve dichtheden (KT - 4), wordt de massaverhouding verkregen waarin de elementindividuen tot elkaar staan bij dit reactie-individueel. De vermenigvuldiging van de coëfficiënten met de indices bij de betreffende elementsymbolen levert de verhouding op tussen de aantallen elementmassaporties. Vergelijking van deze verhouding met de berekende massaverhouding leidt tot een uitspraak over de verhouding tussen de elementmassaporties (elementgetallen);
2. bepaal net als in 1. de verhouding waarin de hergroepering van elementmassaporties plaats vindt, maar bereken de massaverhouding met de equivalentgetallen (KT - 1). Het laatste deel van de berekening gaat weer als in 1.

De leergang laat de keuze voor de berekening van de elementgetallen open voor de leerlingen. Er wordt dus aangenomen dat voor hen al duidelijk zal zijn dat onafhankelijk van de berekeningswijze hetzelfde elementgetal moet worden gevonden. Over deze relatie is echter nog geen enkele vraag gesteld, dus geen informatie of gebonden oriëntatie gegeven. We mogen dan ook verwachten dat leerlingen hier problemen kunnen ondervinden met het op twee verschillende wijzen berekenen van hetzelfde elementgetal.

In K7-2a wordt n.a.v. de reactievergelijking van de synthese van waterstofchloride gevraagd welke uitspraak mogelijk is over de massaverhouding tussen een elementmassaportie waterstof en een elementmassaportie chloor. Ervoor moesten de leerlingen de massaverhouding tussen de stoffen waterstof en chloor berekenen ofwel met de equivalentgetallen (KT - 1) ofwel met de dichtheden van gasvormige stoffindividen (KT - 4). Tineke ziet geen verschil tussen beide verhoudingen: "dat is toch hetzelfde" (23). Mogelijk doelt ze hiermee op de gelijke getalswaarde van de beide massaverhoudingen. Een andere interpretatie is echter dat ze het oog heeft op 'element chloor' als begrip dat zowel de stof chloor als een elementmassaportie chloor omvat. Wel spreekt ze net als in protocol 21 in verhoudingstermen: "hier neem je toch ook een bepaalde massa, (ond) dat maakt (ond) je zegt alleen niet hoeveel het is, het is gewoon, ja die die verhouding tussen die twee is in ieder geval toch" (T: 25-27). V laat haar echter niet zelf expliciteren in welk opzicht zij hier over "hetzelfde" wil spreken, want hij gaat over naar K7-2b (V: 28).

V spreekt meestal in navolging van de onderwijstekst over, het hier onjuiste, 'elementeenheid' of '-heden' (8.1.1). Hij gebruikt eenmaal terecht "elementmassaportie" (20). In mijn analyse hanteer ik verder 'elementmassaportie' in plaats van het in het protocol staande 'elementeenheid'. V's vraag naar de aantallen elementmassaporties waterstof en zuurstof die met elkaar reageren, komt sterk dingmatig over en niet als hergroeperen volgens bepaalde verhoudingen (35-37). In het antwoord "2 element-eenheden waterstof (...) reageert met 1" (C?: 38) lees ik meer spreken naar aanleiding van deze verhoudingen dan in "4 reageert met (ond) 2" (T?: 39). V gaat conform zijn vraagstelling (29) op het laatste antwoord in en vult de opdracht verder voor hen in (40-52).

In tegenstelling tot waterstof en chloor levert zuurstof een ander elementgetal dan equivalentgetal op, zodat Tineke de zojuist berekende gelijkheid "toevallig" noemt (62). De aard van de getallen blijft nog impliciet en wordt geen gespreksthema. Hun begrip van het gekwantificeerd element wordt door de opdracht en door hun en door mijn spreken niet uitgebreid. Dat blijkt als ze met de volgende opdracht (K7-2c) bezig zijn: Tineke 'probeert het maar eens' (77). Blijkbaar beschikt zij niet over een richting gevende structuur. Gesproken in termen van leerfasen: in dit gespreksgroepje is wel ongenoegen aanwijsbaar met de betekenis van de symbolen in een reactievergelijking (8.2.4), maar zij komen niet tot een bevredigende analyse van hun ongenoegen. Een opdracht die uitgaat van het bereikt hebben van explicitering t.a.v. de betekenis van de symbolen in een reactievergelijking moet dan ook problemen oproepen.

Vanaf regel 23 in protocol 23 gaat het over opdracht K7-2c waarin wordt gevraagd de verhouding te berekenen tussen de elementgetallen van zuurstof en van chloor aan de hand van de volgende reactievergelijking:



De opdracht en de reactievergelijking kunnen samen verwarring oproepen, omdat de volgorde van 'zuurstof' resp. 'chloor' niet beide keren dezelfde is.

Het lijkt mij dat Petra begint met te rekenen aan de hand van dichtheden omdat "1,43" (87) de in de betreffende tabel gegeven waarde voor de dichtheid van zuurstof is. Tineke past die berekeningswijze toe in 94, want haar waarde "6,34 staat tot 1,43" is gelijk aan tweemaal de dichtheid van chloor staat tot eenmaal de dichtheid van zuurstof. De door Petra gegeven waarden "1,43 en 0,72" kan ik echter, afgezien van 1,43 voor de dichtheid van zuurstof, niet plaatsen. Petra's waarden "1,43 en 0,72" (87) zijn om te rekenen tot 35,2 : 17,7 wat het dichtst de verhouding 35,2 : 15,9 voor de elementgetallen van chloor en zuurstof benadert. Maar dan slaat "1,43" juist op het element chloor! Mogelijk heeft zij een fout gemaakt als gevolg van de zojuist aangestipte omdraaiing van de volgorde van de elementnamen in opgave en reactievergelijking.

De genoemde verhouding "6,34 staat tot 1,43" (T: 94) zal bij verdere berekening leiden tot de verhouding van de elementmassaportie chloor en zuurstof ter grootte van $6,34/4 : 1,43/2 = 1,585 : 0,715 = 35,2 : 15,9$. Tineke en Carla zijn al op grond van de equivalentgetallen voor chloor en zuurstof (82) gekomen tot $35,2/4 : 7,95/2 = "8,8 staat tot 3,97" (90) = 35,2 : 15,9$. Zij zullen dus langs beide wegen dezelfde verhouding vinden voor de elementmassaportie van chloor en zuurstof. (Mij is niet duidelijk of Tineke in 98 en 100-101 doelt op de tabel met dichtheden of op die met de equivalentgetallen. Over de laatste spreekt Petra in 116-118).

Tineke en Petra hebben nog niet op eenzelfde waarde genormeerd, zodat hun beider verhouding tussen de elementgetallen van chloor en zuurstof niet zonder meer als gelijk of als verschillend te benoemen valt. Zij voelen wel enig ongenoegen met de verschillende verhoudingen (T: 104, 107-108, 110; P: 105), maar pas in 114 gaat Tineke ertoe over te controleren of haar langs de twee verschillende wegen berekende waarden hetzelfde zijn. Dit blijkt zo (T: 120) en leidt tot opluchting dat er verschillende wegen mogelijk zijn (T: 122-123).

Ik kan in dit gespreksfragment geen uitspraken aanwijzen die een analyse weergeven van de betekenis van de elementgetallen en de ermee verbonden noodzaak slechts één getal te vinden. Tineke noch Petra hebben hier reeds een chemisch argument in handen om aan te kunnen geven waarom "d'r moet toch wel hetzelfde antwoord" uitkomen (T: 104). Het enige waarnaar zij kunnen verwijzen, is de leerang die minstens suggereert dat ze dezelfde uitkomst moeten verkrijgen. Vragen die leiden tot een analyse van hun ongenoegen worden echter niet gesteld. (T: 122-123).

Als ik (= V) bij hen langs kom, zie ik de mij als chemicus vertrouwde getalwaarden. Daaruit trek ik de, achteraf gezien voorbarige, konklusie 'dat ze het dus inderdaad begrepen hebben' (V: 147-148). Uit de berekening van het elementgetal voor zwavel (K7-2e) blijkt dat in ieder geval Carla (156, 171, 173, 175-176) en Tineke (158-159, 166, 177, 179, 183) de manier weten waarop ze tot een (voor de docent

bevredigend) antwoord moeten komen. Zij verdelen het werk (C: 165): Tineke gaat rekenen aan de vorming van waterstofsulfide waarbij zij gebruik maakt van het equivalentgetal 15,91 (T: 164); Carla neemt de vorming van zwaveldioxide tot uitgangspunt (C: 165, 178, 180, 184-185; T: 183). Hierbij hoort het equivalentgetal 7,95 (P: 168; S: 169).

Uit hun gesprek komt niet naar voren dat zij de berekende getallen zien als massaverhoudingen behorend bij een elementmassaportie. Maar Tineke geeft nu verschillende keren aan (158-159, 166, 190, 193-194, 198) dat er ondanks de twee zo verschillende reactie-individueen met behulp waarvan zij rekenen, toch maar één getal voor zwavel in de reeks kan komen. Haar zekerheid die tot uiting komt in het gebruik van "moet" (166, 190, 193) en "kan maar één getal in de reeks" (198) zou erop kunnen wijzen dat ze een vermoeden heeft gekregen van de structuur die de elementgetallen aanbrengen in de massaverhoudingen bij de chemische reactie. De daarvoor plaats gevonden hebbende analyse van haar aanvankelijk ongenoegen kan ik niet in de tekst aanwijzen. Het feit dat Tineke aan Sonja "wel eens even uit [gaat] leggen" (209) hoe ze te werk moet gaan, past wel in verkregen zekerheid bij Tineke dat ze op een juiste wijze te werk gaat.

8.3.2 Vermoeden van de structuur-betekenis van elementgetallen

Het leerlingengroepje uit protocol 23 verkeerde in het begin van hun leerproces rond de berekening van de elementgetallen. Ik gaf aan dat m.i. Tineke op het einde van het protocol vermoedt dat bij elk elementindividue slechts één elementgetal kan worden gevonden. Aan de hand van het gesprek dat het groepje jongens uit protocol 19 voerde bij het maken van opdracht K7-2 en 3, wil ik laten zien dat het mogelijk is dat er hier een vermoeden ontstaat van de structuur die elementgetallen aanbrengen in het geheel van massarelaties bij de chemische reactie (protocol 24, bijlage 30).

Protocol 24

De eerste vraag in opdracht K7-2a n.a.v. de synthese van waterstofchloride luidt: "Hoeveel elementeenheden H hergroeperen zich met hoeveel elementeenheden Cl volgens deze reactievergelijking?" Hierin komt niet het spreken in verhoudingen naar voren, zodat ik het niet vreemd vind dat die evenmin in Simon's uitspraak: "de massa van de elementmassaporties" (6) te horen valt. Wel blijkt hieruit dat hij door de tekst tussen K7-1 en 2 (bijlage 7) is aangesproken. Simon herhaalt het gebruik van "elementmassaporties" (19-20), waarmee hij dus niet het hier onjuiste "elementeenheid" van de onderwijstekst overneemt.

Dat zij meer doen dan alleen maar getallen uitrekenen, blijkt uit Klaas' eigen vraag "wat is dat dan?" (52) voor de bij de elementen waterstof en zuurstof berekende massaverhouding 1 : 15,8. Deze vraag kan ik zien als het vragen naar een analyse van de gebruikte termen. Fred interpreteert die waarden als "de verhouding tussen, 1 elementmassaportie waterstof en 1 elementmassaportie" (53-54). Ik zie Freds antwoord als begin van zijn explicitering van de betekenis van 'elementgetal'. Ook Si-

mon komt tot een begin van een explicitering: "gewoon een nieuwe reeks ... tussen de elementmassaporties" (57 + 59). Hij spreekt hier, evenmin als in regel 6, in termen van verhoudingen maar het gebruik van 'reeks' houdt dit wel impliciet in.

Voor Fred heeft deze nieuwe reeks al een meer omvattende betekenis: "en dan zul je het ook wel niet alleen op eh redox (...) reacties maar ook op andere reacties kunnen toepassen" (61-62), oftewel de getallen zullen op alle reactie-individueen toepasbaar moeten zijn. In die zin vat ik Freds uitspraak n.a.v. de reactie tussen chloor en waterdamp op: "zeggen dat je best hetzelfde doet als bij eh (...) vorige dus dat je een verhouding krijgt van (...) eh 35,2 staat tot 15,9" (83-84, deze waarden berusten weer op het elementgetal 1,0000 voor waterstof).

Simon vermoedt aanvankelijk dat er twee verschillende massaverhoudingsgetallen voor het element zwavel komen, omdat het de ene keer gaat om een reductie en de andere keer om een oxidatie (99-100). Als de getallen toch hetzelfde blijken te zijn (S: 123-132), spreekt Fred uit dat ze een reeks zullen verkrijgen waarin ieder elementindividueel slechts één keer voorkomt (133). Simon geeft nu een reden voor het bestaan van een dergelijke reeks: "het is ook eigenlijk logisch, kan één stof nou twee verschillende massa's hebben" (136-137). Hierbij interpreteer ik "één stof" als 'elementmassaportie' dat hij al in het begin gebruikte (6, 19-20). Hij vervolgt hiermee m.i. zijn reeds in 57 + 59 begonnen explicitering.

Klaas preciseert tot een verhoudingskontekst: "het gaat hier niet om massa het getal, het gaat om massaverhouding" (138-139). Hieruit spreekt dat zeker Fred, maar toch ook Klaas en Simon, meer doen dan alleen de gevraagde elementgetallen uitrekenen. Ze vragen wat deze voorstellen (K: 52, F: 53-54) en proberen de reikwijdte ervan na te gaan. *Zo brengen zij een zekere structuur aan in het geheel van massaverhoudingen bij betreffende reactie-individueen ("getallen waarin ze aan reacties deelnemen", K: 141).*

Ik meen dat hier een parallel ligt met de in 7.1.1 beschreven situatie waarin een subgroep van de Amersfoortse groep naging welke implicaties zij zag van het-zuivere-stof-zijn. Daarnaast kan ik noch hier bij dit groepje leerlingen, noch in de subgroep van de Amersfoortse groep aanwijzen dat er een beschouwende redenering wordt gegeven. Ik zie namelijk niet het maken van een keuze uit elkaar logisch uitsluitende alternatieven of het maken van een aanname die de ervaring overstijgt. Wel lijkt het mij juist om te zeggen dat deze leerlingen een overkoepelende structuur aan het vormen zijn in een beschrijvend niveau t.a.v. massarelaties bij gasreacties.

Fred schakelt, vanwege het ontbreken van het element stikstof in de tabel met equivalentgetallen, zonder meer over op de interpretatie van de coëfficiënten als volumeverhoudingsgetallen (155-156, 158-159, 161, 165). Ik zie Simon's "oh ja volume is ervoor" (170) ook zo: de coëfficiënten staan voor de formules en geven de volumeverhouding aan. T.a.v. deze relatie zijn zij dus in de fase van de explicitering. Het aanvankelijke vermoeden van één getal voor elk elementindividueel spreekt Fred bij stikstof als zekerheid uit (212-214), die is ingebed in een begrepen samenhang en haar weergave in symbolen.

Overigens heeft Simon de oude zienswijze van equivalentgetallen nog niet geheel verlaten. Bij het toekennen van een massaverhoudingsgetal aan de groepering

O₂, komt hij met twee maal het equivalentgetal van zuurstof: $2 \times 7,94 = 15,9$. Piet moet hem erop wijzen dat het nu om een ander soort massaverhoudingsgetallen gaat (S: 237-249). Dit leidt bij Simon tot een nieuwe, eigen vraag t.a.v. het aange-reikte 'formulegetal' (S: 250-253). Fred brengt als eerste de functie van deze getal-len voor het berekenen van massaverhoudingen onder woorden (255-256). Simon sluit zich daarbij aan (261-265), en net als in protokol 19 (regel 126 + 128) komt uit de wijze waarop hij dit zegt naar voren dat het waarschijnlijk gaat om plotseling doorbrekend inzicht: "dat moet haast" (265).

Ter afsluiting van deze paragraaf wil ik enkele woorden wijden aan een vergelijking van de gesprekken in protokol 23 en in protokol 24. In protokol 23 kwam alleen Ti-neke op het einde tot een zekerheid dat bij ieder elementindividu slechts één ele-mentgetal zou worden gevonden. Zij gaf daarvoor geen argumentatie. In de groep van protokol 24 spreken Fred, Klaas en Simon zich duidelijk uit over het bestaan van één elementgetal voor ieder elementindividu. Ze gaven als reden op dat het gaat om een reeks van de elementmassaporties, zodat die voor hen de betekenis hebben gekregen van een onverdeelbare eenheid. Zij gingen zelfs na welke gevol-gen ze konden zien aan het bestaan van één elementgetal voor ieder elementin-dividu. Ik benoemde dit als het tot stand brengen van een overkoepelende structuur t.a.v. massaverhoudingen bij de chemische reactie.

De vraag doet zich nu voor of het verschil in het bereiken van een onderwijsre-sultaat in deze twee groepjes te zien valt in samenhang met de structuur van de on-derwijssituatie (4.4). Ik zie die in ieder geval liggen in de mate waarin leerlingen explicitering hebben bereikt t.a.v. de in een reactievergelijking gebruikte symbolen volgens de door de onderwijstekst aangereikte kontekst. Ik kon een dergelijke ex-plicitering beter aanwijzen in het gesprek van protokol 24 dan in dat van protokol 23. Dit betekent dat voor het bereiken van zulke onderwijsresultaten zowel onder-wijstekst als leraar, meer dan in de onderzochte situaties gebeurde, vragen moeten stellen die erop zijn gericht een explicitering tot stand te brengen.

8.3.3 Belang van explicitering

Achteraf kan ik in het onderwijsaanbod soms een structurering opmerken die op de eerste plaats tot stand gekomen is op grond van mijn chemische opleiding en de daarbij aangeleerde zienswijzen. Een voorbeeld daarvan tref ik aan in het gebruik van 'relatieve atoom- en molekuulmassa' als typisch chemische begrippen waarvan ik in de onderwijstekst een analogon probeerde aan te reiken met 'elementgetal' en 'formulegetal'. Het laatste begrip geeft een kenmerkend massaverhoudingsgetal weer dat hoort bij een door een formule afgebeelde groepering elementindividuen. Dit gebeurde in de eveneens door mij geformuleerde tekst vóór K7-3 (bijlage 7):

"Als we een element met een elementgetal kunnen karakteriseren, dan moeten we een combinatie van elementen ook met een getal kunnen karakteriseren. Dit getal zullen we analoog het formulegetal noemen. De vraag die ons nu nog rest is hoe deze formulegetallen bepaald worden."

Er wordt slechts gesproken over "getallen" zonder de vermelding dat het gaat om massaverhoudingsgetallen. Door het ontbreken van deze essentiële informatie wordt het de vraag of leerlingen hiermee wel in de kontekst van massa en massaverhoudingen zijn aangesproken. Ik wil dit nagaan in protokol 25 (bijlage 31) waar het groepje meisjes, gedeeltelijk met mij, spreekt over K7-3, in welke opdracht formulegetallen moeten worden berekend.

Protokol 25

V neemt vanuit zijn chemische vanzelfsprekendheid aan dat voor hen duidelijk is dat uitgaande van de opvatting 'elementmassaportie', aan elk elementindividu slechts één kenmerkend massaverhoudingsgetal kan worden toegekend (1-4). Tineke's "dus je hebt ook één getal voor massa" (5) kan aangeven dat zij hier een bevestiging krijgt van dit door haar op het eind van protokol 23 uitgesproken vermoeden (8.3.1).

In noot 1 van 8.3.1 vermeldde ik dat Tineke vraagtekens zette bij het gebruik van 'elementeenheid' in K7-1. Ze komt hierop terug als V die term gebruikt (V: 18; T: 21-23). V corrigeert zichzelf nu tot "elementmassaporties" (26). Ook in protokol 24 (192-199, 201-205) had hij al onderscheid gemaakt tussen 'elementmassaportie' en 'elementeenheid d.i. elementmassaportie per standaardvolume'. Het is vreemd dat hij dit onderscheid niet nauwkeuriger in zijn spreken met de leerlingen hanteert. Hij heeft net kunnen merken dat Tineke dit verschil ziet, maar toch gebruikt hij weer "elementeenheid" (31). Het lijkt erop dat V consistent gebruik van termen hier niet belangrijk vindt, maar er alleen op is gericht dat zij het (voor hem) juiste getal vinden. Hij gaat namelijk meteen terug naar de opdracht (31-32).

Wel probeert V het te berekenen 'formulegetal' als "massaverhoudingsgetal" naar voren te brengen (31-32, 34-35, 46-50). Tineke verbindt deze massaverhouding echter aan de reeds bekende equivalentgetallen (40) die eerder waren gebruikt in K7-1 en 2.

Dat ik (= V) in dit fragment meer tegen dan met hen over hun problematiek praatte, komt aan het licht als zij, na mijn vertrek, het formulegetal voor waterstofchloride berekenen (vanaf regel T?: 82). Ik ben er in ons 'gesprek' vooral op gericht dat zij de opdracht goed kunnen beantwoorden, terwijl ik het als vanzelfsprekend beschouw dat ze slechts tot een juist antwoord kunnen komen indien ze elementmassaportie koppelen aan een massaverhoudingsgetal. Ik had niet in de gaten dat ik een geforceerde situatie schiep, waarin geen gesprek meer mogelijk is.

Petra gaat bij de berekening van het formulegetal van waterstofchloride uit van "gewoon optellen" van de elementgetallen. Tineke weet echter niet wat ze moet doen (86-97), want ze wil de verkregen som van de elementgetallen van waterstof en van chloor met twee vermenigvuldigen (100-101, 106, 108). In het licht van haar uitspraak "als je dit toch bij elkaar optelt" (110) versta ik dit als volgt: in het geval H_2 tel ik één element-eenheid H op bij één elementeenheid H. Dat zijn samen twee elementeenheden. Vervolgens vermenigvuldig ik het elementgetal van H met twee. Nu bij H_1Cl_1 heb ik één elementeenheid H + één elementeenheid Cl en dat is samen twee elementeenheden. Ik tel de elementgetallen op en vermenigvuldig

die met twee omdat ik in totaal twee element-eenheden heb. Als ze zo te werk gaat, is ze in zekere zin 'konsekwent bezig' (113). Duidelijk is wel dat ze de massaverhoudingsbetekenis van elementgetal niet doorziet.

Sonja vertaalt de voorbeelden van het berekenen van een formulegetal bij waterstof en bij chloor naar waterstofchloride (114-115), wat tot een rekenvoorschrift voert ("moet ... doen" 119). Door het ontbreken van een relatie met elementmassabehoud blijft Tineke echter onzeker (130-131, 133-138).

Vanuit mijn chemische vanzelfsprekendheid voerde ik analoog aan 'elementgetal' 'formulegetal' in en nam aan dat leerlingen zich de daarvoor benodigde massaverhoudingsbetekenis van elementgetal hadden eigen gemaakt. Uit hun gesprek komt naar voren dat zij nog in de leerfase 'ongenoege' verkeren. De opmerking van Tineke dat niet moet worden gesproken over 'element-eenheid' maar over 'elementmassaportie' (21-23) zie ik als behorend tot een analyse van de gebruikte terminologie. De onderwijsteksten noch de begeleiding van de docent helpen haar echter om te komen tot een explicitering van de relatie tussen de verschillende termen.

Het leerlingengroepje uit protocol 24 doorzag wel de massaverhoudingsbetekenis van 'elementgetal'. Daardoor kon ik bij hen ook een begin aanwijzen van explicitering van de betekenis van de berekende formulegetallen (protocol 24, S: 249-251, 261-265; F: 255-256; 8.3.2). Ik schreef hun toe dat zij een overkoepelende structuur tot stand brachten met betrekking tot de betekenis van de elementgetallen. Daarin past de toepassingsmogelijkheid die Simon noemt van formulegetallen aan de hand van de reactie tussen waterstof en chloor: "... wat zijn de massaverhoudingsgetallen, formulegetal van de een en van de ander he (...) volgens mij wel (...) dat moet haast" (protocol 24, 259-265). Uit 8.3.1 t/m 8.3.3 blijkt hoe belangrijk explicitering is voor het bereiken van onderwijsresultaten.

8.4 Konklusie

Een onderzoeksvraag voor mij was of in de onderzochte gespreksgroepjes leerlingen zijn gekomen tot kwantificering van het elementbegrip. Bij de bestudering van enkele gesprekken bleek dat zij daarin slaagden, waarbij zij een nieuw gezichtspunt moesten innemen wat kon leiden tot een objectwisseling. Aanvankelijk letten zij op 'chemische reactie', weergegeven met een taalveld 'ontstaat uit'. Dit werd gevolgd door het letten op 'elementmassaportie', verwoord in een taalveld 'zit in'.

De meeste leerlingen in de onderzochte protocollen slagen erin een begin te maken met de genese van een gekwantificeerd begrip element. Zij gaan daarbij een begrip 'elementmassaportie per standaardvolume' gebruiken dat in de onderwijstekst is aangereikt. Dit betekent dat ik de in 8.1.3 gegeven onderzoeksvraag of leerlingen erin slagen een kwantificering van het elementbegrip tot stand te brengen, positief beantwoord.

In ieder geval heb ik bij één van de twee onderzochte groepjes kunnen constateren dat leerlingen erin slagen deze 'elementmassaportie' te verbinden met een massaverhoudingsgetal, het elementgetal genoemd. Daarmee kan ik dus ook de tweede onderzoeksvraag uit 8.1.3 bevestigend beantwoorden. Ik meende bovendien

op te kunnen merken dat deze leerlingen er n.a.v. het begrip 'elementgetal' toe kwamen een overkoepelende structuur tot stand te brengen t.a.v. uitspraken omtrent massaverhoudingen bij de chemische reactie.

M.i. is een gelijkenis op te merken tussen dit door hen bereikte onderwijsresultaat enerzijds en de in 7.1.1 besproken afleiding van de wet van Proust uit het begrip 'homogene stof' anderzijds. In beide gevallen trad een verandering van aandacht op: niet meer gericht op individuele situaties, maar op het betreffende begrip zelf en op zijn implicaties.

In de gesprekken van het andere groepje kon ik niet zo duidelijk aanwijzen dat de leerlingen in hun begrip 'element' ook de idee van de massakwantificering zo uitgebreid hadden opgenomen. Als oorzaken daarvoor zie ik enerzijds dat zij niet waren gekomen tot een eigen explicitering van de benodigde massarelaties. Daarnaast hielpen onduidelijkheden in de onderwijstekst en in het spreken van de docent hen niet om deze leerfase te bereiken. De onderwijstekst onderscheidde bijvoorbeeld niet duidelijk tussen 'elementmassaportie' en 'elementmassaportie per standaardvolume', en benadrukte evenmin dat de berekende 'element- en formulegetallen' in wezen massaverhoudingsgetallen zijn. De docent stelde zich tevreden met 'goede antwoorden' op rekenopdrachten en ging daarbij onvoldoende na of ze niet een in feite ondoorzien algoritme afwerkten dat los stond van de chemische achtergrond. Hiermee heb ik ook een antwoord gegeven op de derde, vierde en vijfde onderzoeksvraag van 8.1.3.

8.5 Noot

1. Opvallend is dat in het gesprek over de vierde vraag van K7-1, waar deze onjuiste benaming 'elementeenheid' al is gebruikt, Tineke teruggaat naar K6-14 en de tekst erna, en het gebruik van 'elementeenheid' in de opgave afwijst.

9. RONDZICHT

Dit proefschrift rapporteert over een chemie-didaktische studie naar de genese van een kwantificering van het elementbegrip zowel bij leraren en didaktici als bij leerlingen op een vwo-school. Daarom zijn er zowel chemische als didaktische begrippen en relaties ertussen besproken. In dit hoofdstuk wil ik niet alleen terugblikken op hetgeen in de vorige hoofdstukken staat beschreven, maar ook vragen stellen voor eventueel toekomstig onderzoek. Tevens zullen door mij gebruikte vraagstellingen en verkregen resultaten zowel op het gebied van chemie als op dat van chemie-didaktiek tegen het licht worden gehouden van de opvattingen van een aantal anderen.

9.1 Negentiende eeuwse, chemische teksten als bron voor didaktisch onderzoek

In 1.1, 3.1, 3.2 en 3.3.1 zijn chemische teksten gebruikt als basis voor een kaderstelling. In 1.1 dienden zij om aan te geven dat een formule als H_2O voor water is ontstaan in een proces van voortdurende gedachtenwisseling tussen chemici onderling over de interpretatie van experimentele resultaten. Door een analyse van enige Nederlandse schoolboeken voor secundair chemie-onderwijs vanaf 1850 bleek deze 'genese' steeds meer op de achtergrond te raken en 'het feit H_2O ' steeds meer op de voorgrond te komen.

Uit de in 3.2 gebruikte chemische teksten kwam naar voren dat in de vorige eeuw 'atoom' niet perse werd gezien als een 'kleinste afzonderbaar deeltje', maar ook als een 'kleinste massaverhoudingseenheid' die bij chemische reacties als onverdeelbaar werd beschouwd. In dat kader sprak Kekulé over het 'chemisch atoom', welk begrip in de tegenwoordige wetenschappelijke chemie-beoefening niet meer wordt gebruikt.

Het onderzoek betrof de genese bij leraren en didaktici en bij leerlingen van een dergelijk begrip atoom en een daarmee samenhangende interpretatie van chemische formules voor stofindividuen in de gasfase. Hedendaagse chemische teksten bieden geen antwoord op daarbij opkomende vragen, zodat ik daarvoor was aangewezen op teksten uit de tijd dat zo'n begrip en zulke vragen nog wel in de belangstelling van de chemici stonden. Het gebruik van negentiende eeuwse literatuur diende dus niet om een chemie-historische studie te volvoeren, maar om een chemische kaderstelling voor mijn onderzoek tot stand te brengen. Tegen deze achtergrond kon ik later uitingen van leraren-didaktici en/of van leerlingen interpreteren (bijv. 8.2.1, 8.2.2).

9.2 Overwegingen rond een didaktische structuur voor kwantiteiten

De omwerking van de betreffende hoofdstukken uit het K-deel gebeurde op grond van mij reeds bekende chemische, en op grond van nieuw geleerde empirisch chemische regelmatigigheden en feiten. We kunnen dus spreken over een vakstructuur in het onderwijsaanbod, in tegenstelling tot onderwijsaanbod dat uitgaat van

een structuur volgens didactische kenmerken. Ten Voorde zei over een dergelijke 'didactische structuur' (1987, p. 119):

"Die für viele Chemiker selbstverständliche Identifikation von Fachstruktur und didaktischen Struktur verwerfe ich also. Ich erachte eine didaktische Struktur als brauchbar, wenn der Zusammenhang der einander voraussetzenden Begriffe so geartet ist, daß unnötige Klüfte-des-einander-nicht-verstehen-könnens im Unterricht vermieden werden, während diese Kluft-des-Nicht-verstehens zwischen der Laiensprache und der Fachsprache der Chemiker überbrückt wird. Eine didaktische Struktur wird daher beschreiben müssen, in welchem Kontext ein Begriff funktionieren kann und wie dieser Kontext sich zur Fachstruktur verhält. In einer solchen Beschreibung kommt zum Ausdruck, wie ein bestimmter Begriff einerseits in einen Spannungsfeld, hervorgerufen durch das Gespräch zwischen Laien und Chemiker, entstehen kann und andererseits einen nachfolgenden Kontext vorbereitet."

De door mij onderzochte kwantificering van het elementbegrip vond plaats in het kader van de genese van een chemie-kontekst die was gebaseerd op een scheiding van kwalitatieve en kwantitatieve kenmerken van de begrippen 'stof', 'element' en 'reactie' (het S- en het K-deel). Hierdoor zijn momenten van niet-verstaan opgeroepen, waarvan ik er één in relaas 6 van 2.2.1 noemde. In 2.2.2 en 2.3 gaf ik een, voor mij noodzakelijk geworden, analyse van de relatie tussen 'stof', 'massa' en 'volume'. Ik mag aannemen dat niet alleen voor mij dergelijke problemen bestaan zullen hebben. Gezien de aard van protocol 1 (2.2.2) gold dit ook voor andere leden van de Amersfoortse groep.

Nu veronderstel ik dat zulke moeilijkheden ook bij leerlingen zijn opgeroepen bij het werken met het S- en het K-deel. Als een uitgangspunt bij het opstellen van een didactische structuur is het voorkomen van onnodige kloven van niet-verstaan, dan lijkt mij een gevolgtrekking uit mijn onderzoek te zijn dat ernaar *gestreefd moet worden de kwalitatieve en kwantitatieve aspecten van 'stof', 'reactie' en 'element' zoveel mogelijk in nauwe relatie met elkaar te ontwikkelen*. Bij een dergelijke ontwikkeling kunnen dan grofweg de volgende stappen worden onderscheiden.

1. Uitsplitsing van de leefwereldterm 'grootte van een voorwerp' naar 'volume' en 'gewicht' als te onderscheiden eigenschappen van een voorwerp.
2. Onderscheid maken tussen 'stof' en 'hoeveelheid stof'. Ten Voorde (1979a, p. 129) heeft in zijn onderzoeksmateriaal authentieke uitingen van leerlingen beschreven waarin zij als vanzelfsprekend onderscheid aanbrenge(n) tussen 'stof' en 'hoeveelheid stof'. In de fysische kontekst spelen de met de uitgebreidheid van een voorwerp verbonden eigenschappen vaak wel, en in de chemische kontekst meestal niet een belangrijke rol (2.2.1).
3. Bij experimenten als verpoederen van een vaste stof of bij het maken van een emulsie van twee vloeistoffen kan ervaring worden opgedaan met 'gelijkheid van hoeveelheden stof' voor en na een verandering. Het gaat om verwoording van 'behoud van hoeveelheid' in een fysische kontekst.
4. Nadat een kwalitatief begrip chemische reactie is ontwikkeld, kunnen leerlingen met behulp van een semi-kwantitatief taalveld met begrippen als 'ondermaat' en 'overmaat' eerste ervaringen ordenen rond kwantitatieve aspecten van de che-

mische reactie. Dit kan worden uitgebreid tot de kwantitatieve kwaliteit 'reageren volgens konstante verhoudingen'. De voor een gesloten systeem opgedane ervaring van 'gelijkheid van massa bij de chemische reactie' kan daarbij als uitgangsprincipe gaan gelden voor open systemen (zie 3.1.2 en noot 3 van 3.5). Bij 'konstante verhoudingen' kan zowel worden gelet op volume- als op massaverhoudingen.

5. 'Niet-spoorloos verdwijnen van een stofindividu' kan in kwantitatief opzicht worden aangevuld met 'niet-spoorloos verdwijnen van hoeveelheden stofindividu'. Hierin ligt een kwantitatieve voorbereiding op een elementbegrip als kwalitatief en kwantitatief behoudsprincipe.
6. Bij situaties waarin aan een elementindividu meer dan één geoxideerde toestand moet worden toegekend, is het m.i. belangrijk oog te hebben voor het optreden van een authentiek *semi-kwantitatief* taalveld (6.2.7). Ik heb dit als een belangrijke tussenfase aangemerkt bij het komen tot een verwoording van kwantitatieve aspecten rond het derde equivalentgetal. Als deze problematiek de eerste is, waarbij de leerling niet om het elementbegrip heen kan, moet aandacht worden gevraagd voor het feit dat bij 'element' slechts een massa- en geen volumeverhouding hoort.
7. Door het beschrijven van massaverhoudingen bij redox-reactie-individuen, kan een reeks van equivalentgetallen tot stand komen. Deze reeks is een kwantitatieve kwaliteit van de redoxreactie. Het bestaan ervan kan worden begrepen door een kwantificering van het model van ladingsoverdracht bij redoxreacties. Een vraag voor verder onderzoek kan zijn in hoeverre het voor de genese van een begrip chemisch atoom voldoende is deze kwantificering te beperken tot de konstatering dat de bij reductor en bij oxidator betrokken hoeveelheden lading gelijk zijn. Hierin komt naar voren dat de eenvoudige redoxreactie wordt gezien als *hergroepering van lading*. De Faraday zou in dat verband een niet noodzakelijke, absolute grootheid zijn die de, voor de chemie, kenmerkende verhoudings-kontekst kan doorkruisen.
8. Aan de hand van volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie kan, zoals in dit onderzoek is aangetoond, een kwantificering van het elementbegrip worden voltooid en over een begrip (chemisch) atoom worden gesproken. Dit begrip 'chemisch atoom' geeft weer dat *de gasreactie wordt gezien als een hergroepering van elementmassaporties*. Dit begrip chemisch atoom kan worden uitgebreid tot de metalen door te letten op de geheeltallige verhouding tussen de equivalentgetallen voor een elementindividu met meer dan één geoxideerde toestand.

Hierboven zijn slechts grote lijnen geschetst van een kwantificering van het elementbegrip. Nader onderzoek moet hier een verdere invulling aan geven. In dat kader onderzoekt De Jong, zoals reeds gemeld in noot 3 van 3.5, o.a. de onder 2, 4. en 5. beschreven stappen. Uit zulk onderzoek kan naar voren komen in hoeverre bijv. een semi-kwantitatief taalveld ook in andere stadia van de genese van kwantitatieve begrippen een rol speelt.

Onder 8. zijn twee wegen aangegeven om een kwantificering van het elementbegrip zijn beslag te laten vinden. In dit onderzoek is de weg van de volumeregelmaat bij de één-tot-één gasreactie onderzocht. Dit gekwantificeerd begrip element uit zich bij de metalen het duidelijkst in een fysisch kenmerk, nl. de 'konstante' warmtecapaciteit per 'elementhoeveelheid' (= wet van Dulong en Petit). Daarom verdient het de voorkeur om via de door mij onderzochte weg tot een opvatting 'chemisch atoom' te komen. De begaanbaarheid van de weg via de metalen kan in verder onderzoek worden verkend.

9.3 Twee-lagen-schema versus drie niveaus

Bij mijn benoemingen van begripsgenese heb ik drie onderscheiden niveaus gehanteerd: een grond-, een beschrijvend en een beschouwend niveau. Voor het leren van chemie en didaktiek zijn uitspraken in verband gebracht met zowel een grond- als een beschrijvend niveau. Alleen voor het leren van chemie kon ik in dit proefschrift spreken over beschouwende uitspraken. Ik wil nu kort ingaan op drie visies op onderwijzen en leren waar m.i. wordt uitgegaan van twee onderscheiden taalwerelden.

9.3.1 Dierks en Weninger (IPN)

Medewerkers van het in Kiel gevestigde Institut für die Paedagogik der Naturwissenschaften (IPN) hebben een leergang scheikunde ontwikkeld waarin zij zoveel mogelijk trachten aan te sluiten bij de manier van kijken en verwoorden van leerlingen¹. Dierks zei over de gehanteerde uitgangspunten (Bericht, 1985, p. 80):

"Da die Alltagssprache oberste Metasprache zu allen Fachsprachen ist, ist es nicht nur prinzipiell möglich, Sachdiskussionen auch in Worten der den Lernenden gewohnten Sprache zu führen, sondern es ist auch erwünscht, die Fachsprache aus der Alltagssprache heraus zu entwickeln, damit auch auf die[se] Weise "die Kluft des Nicht-verstehen-könnens" nicht unnötig weit aufreißt."

Dierks spreekt over omgangstaal ("Alltagssprache") en chemische vaktaal en onderkent het gevaar van het ontstaan van een "kloof van niet-verstaan" door het (voortijdig) spreken van vaktaal bij beginonderwijs scheikunde. Dit doet denken aan de niveautheorie waarin aan elk niveau een eigen taalwereld wordt toegekend waartussen een kloof van niet-verstaan kan optreden. In 7.1.1 onderkende ik een tweede soort situatie waarbij niet-verstaan voor kan komen hoewel geen niveauverschil aanwijsbaar is. Uit het citaat noch uit andere geschriften van Dierks kan ik opmaken of hij, dan wel één van de andere medewerkers van het IPN, met "Kluft des Nicht-verstehen-könnens" onderscheid maakt tussen deze twee verschillende situaties van niet-verstaan.

Behalve het onderkennen door Dierks van twee i.p.v. drie onderscheiden talen, is nog een verschil op te merken. In de leraarshandleiding bij het eerste deel van de IPN-leergang staat een paragraaf met de titel "*Die Schüler brauchen Übergangsnamen auf dem Weg von der Alltagssprache zur Fachsprache*" (Weninger e.a., 1979, p. 41). Daarin wordt de ontwikkeling in naamgeving aangegeven van een reactiepro-

dukt in vaste fase van een verbranding. Aanvankelijk wordt dat in de IPN-leergang een 'as' genoemd, later een 'oxide'. In de laatste naam is de ontstaanswijze uit o.a. zuurstof weergegeven. Dierks zegt nu dat de naam 'zinkas' niet fout te noemen is, wanneer ook de naam 'zinkoxide' wordt gebruikt. Hij geeft hiermee aan dat hij meent dat het invoeren van zo'n nieuwe naam het oude gezichtspunt van waaruit een benoeming plaats vond, niet zonder meer uitschakelt. Ik kan dit slechts onderschrijven.

Bij chemie-onderwijzen is uiteraard een doelstelling dat leerlingen een relatie tot stand gaan brengen tussen de aan de orde zijnde begrippen. Zo betrof mijn onderzoek o.a. de vraag in hoeverre leerlingen een begrip 'chemisch atoom' gestalte weten te geven. Dit begrip is in de huidige chemie geen gangbaar concept meer. Toch geeft het onderzoek aan dat het waardevol kan worden genoemd omdat leerlingen ermee kwantitatieve, chemische verschijnselen met elkaar in samenhang kunnen zien. Bovendien kan 'chemisch atoom' beter dan 'atoom als afzonderbare eenheid' het typisch chemische verhoudingspreken tot zijn recht laten komen.

'Chemisch atoom' kan een plaats worden toegekend in een beschouwend niveau chemie. Voor de genese ervan zijn beschrijvende regelmatigheden nodig, die op hun beurt weer begrippen in een grondniveau veronderstellen. De genese van een chemisch atoom betekent dat leerlingen terug kunnen naar hun ervaringen en niet een 'model' opgelegd krijgen dat zij niet in verband kunnen brengen met ervaringen van zichzelf. Het onderzoek heeft laten zien hoe belangrijk het is voor de begripsgenese dat een dergelijke 'weg terug' kan worden afgelegd.

Dierks wil, zoals gezegd, bij zijn onderwijsaanbod uitgaan van de leefwereldtaal van de leerlingen en komt dan tot vermelde namen als 'zink-as'. Ik beschouw die als een volwaardige, zelfstandige manier van zeggen voor chemische verschijnselen. Ik vind het dan ook vreemd, dat hij deze naam plaatst onder het kopje "Übergangssprache". Op de bladzijde vóór het zojuist gegeven citaat stond te lezen (Weninger e.a., 1979, p. 40): "Wenn sich dann mit fortschreitender sachlicher Klärung die Vorstellungen der Schüler in Richtung auf die heute gültigen Theorien ändern, sollte sich auch die *Sprache in Richtung auf die Fachsprache ändern*." Ik lees hier, net als in "Übergangssprache" een gericht zijn op voorstellingen en benoemingen zoals die in de huidige chemie opgeld doen. Een gelijkwaardige plaats voor een andere zienswijze met een afweging van voordelen ervan wordt echter niet genoemd.

Is men gericht op het onderzoeken van begripsgenese in de zin van het scheppen van de mogelijkheid de 'weg terug' te kunnen gaan van beschouwend naar beschrijvend en naar grondniveau dan komt de vraag of een bepaald begrip momenteel in de vakwetenschap gangbaar is, in een ander licht te staan. Die vraag is niet meer het enige argument om ertoe te besluiten zo'n begrip wel of niet te ontwikkelen in onderwijsaanbod. Het gaat veeleer om de vraag of het bruikbaar is om relevante betrekkingen mee te verwoorden. Vanuit dat gezichtspunt kan noch een begrip uit een grondniveau, noch een uit een beschrijvend noch een uit een beschouwend niveau worden ondergebracht onder het hoofd 'overgangstaal'. Ze komen voort uit elkaar en daardoor veronderstelt bijv. een beschouwend begrip 'element' een beschrijvend begrip 'stofindividu' en dat op zijn beurt een begrip 'stof' in het grondniveau.

9.3.2 Theorie uit experimenten

De werkgroep Theorie uit Experimenten (TUE) is sinds 1968 actief op het gebied van ontwikkeling van secundair scheikunde-onderwijs². Vanuit deze groep is tot nu toe geen omvattend verslag of proefschrift verschenen over geschiedenis of over chemische en didactische aspecten van dit vernieuwingswerk. Wel zijn een aantal artikelen gepubliceerd waarin wordt bericht over de manier waarop men binnen de TUE tot een aantal chemische begrippen komt³. Daarbij komen soms vragen aan de orde die betrekking hebben op de nagestreefde begripsontwikkeling zoals in het volgende citaat over de toegepaste werkvorm (Van Berkel en Arnold, 1988, p. 80):

"Het verdwijnen van koper als koperoxide ontstaat en het ontstaan van juist weer koper als koperoxide verdwijnt, impliceert een elementbegrip zoals boven aangeduid. Een mededeling van deze strekking aan leerlingen leidt er echter niet toe dat zo'n elementbegrip dan daarna bij alle leerlingen functioneert. Sommige leerlingen blijken al na het bij elkaar zetten van de drie reactieschema's zelf "element" onder woorden te kunnen brengen, andere moeten daar naar toe stapsgewijs begeleid worden. ...

Vanwege de verschillende leerwegen van leerlingen kan het boven beschreven leerproces niet klassikaal plaatsvinden. Dat geldt ook voor de ontwikkeling van andere begrippen. Wij hebben daarom gekozen voor een werkvorm waarbij leerlingen in groepjes van vier of drie opdrachten doorwerken."

De keuze voor groepswork met bijbehorende schriftelijke vragen stelt eisen aan het taalgebruik (TUE-informatiefolder, p. 6 + 18):

"Van woorden, termen en begrippen mag niet zomaar verondersteld worden dat leerlingen wel weten wat wij, chemici, er mee bedoelen. ...

16. Worden TUE-leerlingen niet overbodig belast met het aanleren van enkele TUE-termen?

Inderdaad worden in de tekst enkele termen gehanteerd die niet in gebruik zijn bij andere methoden. Die extra belasting is niet overbodig maar juist nodig als je leerlingen serieus wilt nemen en een ook voor hen logische lijn wilt construeren. Uiteindelijk komen de leerlingen toch wel uit op het chemisch spraakgebruik ... Wij spreken in dit verband van zorgvuldige vaktaalvorming."

'Logisch' was al eerder gebruikt in samenhang met de keuze voor wat een "fenomenologische benadering van de scheikunde" wordt genoemd (TUE-informatiefolder, p. 5):

"Uitgaan van experimenten betekent voor TUE uitgaan van wat ervaren wordt: uitgaan van de verschijnselen zoals ze door leerlingen ervaren worden. Pas nadat voldoende ervaringen zijn opgedaan kan het zinvol zijn die ervaringen te gaan ordenen, bijvoorbeeld door het aanreiken van een model. De eis van een logische structurering, noodzakelijk omdat groepjes leerlingen zelfstandig moeten kunnen werken, heeft geleid tot een fenomenologische benadering van de scheikunde. Als leerlingen namelijk zelf experimenten uitvoeren, gaan ze daarna uit van de verschijnselen zoals zij die ervaren hebben. Pas nadat voldoende ervaringen zijn

opgedaan, kan een punt bereikt worden waar abstrakties (zoals een deeltjesmodel) inderdaad functioneren."

Het zal uit de voorafgaande hoofdstukken duidelijk zijn dat ik van harte instem met de gedachte dat iedere leerling een resultaat bij een experiment op een andere wijze kan opvatten. Daarmee ontstaat voor mij wel de vraag wat te verstaan onder "logische lijn" en "logische structurering"? Ik vermoed dat het 'logica' betreft, gezien vanuit de docent en vanuit de vakstructuur.

Een andere optie is dat zij bedoelen dat leerlingen een samenhang kunnen zien tussen datgene wat ze verwerven in verschillende opdrachten. We kunnen echter bij veel, zo niet alle, thema's spreken over meer dan één mogelijk gezichtspunt. Ook dan vind ik spreken over 'logica' vreemd.

'Beschrijvend' en 'beschouwend' hebben in dit proefschrift een betekenis gekregen in het kader van beschrijving en analyse van begripsgenese. Van Berkel en Arnold (1987, p. 66, 68) gebruiken de term 'beschrijvend' in een andere zin:

"Een zorgvuldige didactiek betekent ook dat modeltermen en (de werkelijkheid) beschrijvende termen apart geïntroduceerd en van elkaar onderscheiden moeten worden. De beschrijvende term eiwit gekoppeld aan de modelterm ijzer(II)ion is een voorbeeld van hoe dat niet moet. ...

Bij moleculen O_3 en moleculen O_2 horen de stoffen ozon en zuurstof, maar welke beschrijvende term hoort bij de modelterm radicaal? ...

In dat leerplan wordt echter geen beschrijvende term aangereikt bij de modelterm ion. ... Introductie van de beschrijvende term reagens [4] biedt in deze gevallen een elegante uitweg. ...

Als de doelstelling "heen-en-weer-denken" serieus genomen wordt dan

1. moeten naast modeltermen ook beschrijvende termen beschikbaar zijn; bij ionen kan dat reagens zijn.
2. moeten modeltermen en beschrijvende termen zorgvuldig onderscheiden worden; ..."

Van Berkel en Arnold stellen 'beschrijvende termen' tegenover 'modeltermen'. Zij relateren de eerste aan 'de werkelijkheid', de tweede aan deeltjes (molekulen, atomen, ionen en radicalen). Het lijkt daarbij niet te gaan om begripsgenese, maar om een consistente verwoording binnen een van beide taalwerelden, waartussen een één-op-één-afbeelding schijnt te moeten bestaan ("*Bij moleculen O_3 en moleculen O_2 horen de stoffen ozon en zuurstof, maar welke beschrijvende term hoort bij de modelterm radicaal? ...*").

Deze zienswijze verschilt van de in het onderzoek gehanteerde. Grond-, beschrijvend en beschouwend niveau zijn drie verschillende manieren om te spreken over ervaringen, waarbij deze in ieder niveau op een eigen wijze worden gezien. Vandaaruit heb ik moeite met de vraag "... welke beschrijvende term hoort bij de modelterm radicaal? ...". Bij de door mij gehanteerde en als beschouwend bedoelde term 'chemisch atoom' kan ik geen beschrijvende term plaatsen, omdat het een standpunt weergeeft dat in een beschrijvend niveau niet kan worden ingenomen. Ten Voorde (1977, § 12.2; 1978a, p. 12) noemde een visie als die van Arnold en

Van Berkel een twee-lagen schema. Ik kende deze kwalifikatie eveneens toe aan de visie van Dierks en Weninger (Vogelezang, 1988, p. 232).

9.3.3 Chemie in duizend vragen

De Vos (1985) heeft verslag gedaan over zijn onderzoek naar een door hem ontwikkelde leergang voor het eerste leerjaar scheikunde op het havo/vwo. Uitgangspunt was de te ontwikkelen chemische begrippen vanaf het begin te relateren aan een deeltjesvoorstelling (De Vos, 1985, p. 15, 88). Hij (p. 84) hanteert daarbij de tweedeling makro- en mikrochemie die ik in 1.2.4 noemde en zegt in dit verband (p. 87):

"Blijkbaar is voor de chemicus het heen-en-weer-denken tussen mikro- en makrochemie een routinezaak geworden en maakt de chemische vaktaal door de genoemde mogelijkheden een bijzonder efficiënte kommunikatie tussen chemici over chemische zaken mogelijk."

Dit beeld van de chemicus staat bij De Vos model voor zijn onderwijsopzet. Leerlingen moeten vanaf het begin heen-en-weer-denken tussen makro- en mikrochemie: een twee-lagen-schema.

Op twee aspecten van zijn werk die reeds in het voorgaande besloten liggen, wil ik nader ingaan: de opvatting van corpuscula die hij in zijn onderwijs hanteert en zijn uitgangspunt, zojuist genoemd, de leerling reeds vanaf het begin heen-en-weer te laten denken.

Inzake zijn uitgangspunt bij het ontwerpen van nieuw onderwijs zegt hij (1985, p. 41):

"Mijn keuze bij het ontwerpen van onderwijs is geweest niet te trachten de leerlingen van de realiteit van de korpusculaire wereld te overtuigen door middel van proeven of redeneringen maar het bestaan van materie uit molekulen bij afspraak tot uitgangspunt te kiezen."

Ik beluister hierin een naïef-realistische opvatting van de materie - "*de realiteit van de korpusculaire wereld*" en "*het bestaan van materie uit molekulen*" - in de betekenis die ik daar aan het einde van 3.2.3 aan hechte. Dit wordt nog versterkt door de volgende uitspraken van hem (p. 123):

"De ruimte die het kind wordt gelaten om eigen handelingen en operaties op molekulen te projekteren is daarentegen veel geringer. Verwantschapsgevoelens zijn alleen gerechtvaardigd in die zin dat het molekuul ook een lichaam in ruimte en tijd is met al daarbij behorende kenmerken als vorm en beweging."

en (p. 125):

"Als het elementbegrip in het chemie-onderwijs zonder korpusculaire voorstelling (dus zonder atoombegrip) wordt onderwezen, mist de leerling de mogelijkheid gebruik te maken van eigen ervaring met de mechanika van voorwerpen in de ruimte."

Uit het laatste gedeelte van het eerste en uit het tweede citaat blijkt dat hij de leerling een molekuul/atoom toont als een voorwerpje waaraan hij eigenschappen toe-

kent van een fysisch lichaam in de vaste fase ("vorm"). Dit is m.i. de mechanistische zienswijze van de negentiende-eeuwse fysica.

De Vos komt tot de konklusie (p. 127-129) dat het hem niet aanwijsbaar is gelukt "via de ontwikkeling van korpusculaire voorstellingen het formeel-operationeel denken van leerlingen te bevorderen." Aangezien hij geen materiaal toont waarop hij die konklusie baseert, moet ik dat op zijn gezag aannemen. Verder rapporteert hij m.i. nauwelijks over een ontwikkeling van de korpusculaire voorstellingen als zodanig bij leerlingen gedurende het cursusjaar.

In 4.1.1 noemde ik kort een vernieuwing van scheikunde-onderwijs rond de vijftiger jaren die resulteerde in het Scheikunde-werkboek van Kaptein e.a. (1954). In de eerste twee hoofdstukken daarvan maken de leerlingen kennis met allerlei verbrandingsverschijnselen ("Vuur en vlam"), met mengsels, verbindingen en elementen, met oxidatie en reductie. In hoofdstuk III worden dan molekulen en atomen, als afzonderbare deeltjes, ingevoerd om "een verklaring te geven van de gevonden verschillen tussen mengsels en verbindingen en van de veranderingen die de stoffen kunnen ondergaan." Ik zie hier een duidelijke overeenkomst met De Vos die de leerlingen reeds na enkele lessen heen-en-weer laat denken tussen makro- en mikrochemie.

Mede onder invloed van Van Hiele - zie 4.1.1 - is De Miranda, in zijn pogingen vernieuwingen in het onderwijs in de scheikunde aan te brengen, andere wegen gaan bewandelen. Hij publiceerde van 1959 tot 1964 in Faraday een aantal artikelen over een geheel nieuwe opzet van een door hem en door Roest opgezette scheikunde-leergang. Ik wil daarvan hier met name noemen: "Is scheikunde "De wetenschap der atomen" ?, een vraag met didaktische consequenties" (1963) en "Synthese?" (1964). In het eerste artikel formuleert hij de vraag uit de titel aldus:

"De vraag kan dus nauwkeuriger geformuleerd worden: zijn de atomen (moleculen, ionen enz.) de objecten van het chemische onderzoek terwijl de stoffen met hun waarneembare eigenschappen "middel" zijn, waardoor wij iets van die objecten te weten komen - of zijn de stoffen zelf objecten van chemisch onderzoek en zijn de atomen (moleculen enz.) "middel" (i.c. denkmodel) om de empirische regelmaat van centrale theoretische gezichtspunten uit te begrijpen en te beheersen?"

In beide artikelen betoogt hij uitvoerig dat het tweede alternatief de lijn is waarlangs het onderwijs moet worden ingericht, omdat hij tot het inzicht kwam dat "*het niet mogelijk is, in het onderwijs in de scheikunde ... de denk- en werkmethoden van de volwassen chemicus direct in te voeren.*" Onder die denk- en werkmethoden reken ik ook het door De Vos beschreven "heen-en-weer-denken".

De Vos vermeldt (1985, p. 14) dat hij rond 1975 het bestaan kende van de Werkgroep Empirische Inleiding (W.E.I.). Hij vervolgt dan:

"... ik wist dat deze groep scheikunde didaktici en -docenten meende het hele beginnend scheikunde-onderwijs zonder gebruikmaking van korpusculaire voorstellingen te kunnen realiseren. Zonder van details van hun onderwijs op de hoogte te zijn, maar mijzelf en mijn eigen leerlingen enigszins kennende, vormde ik mij

als voorlopig oordeel dat de W.E.I. een intellectuele uitdaging voor onderwijzende chemici bood maar de problemen van de leerlingen niet zou kunnen oplossen. Met name zag ik niet hoe een leerling zich naast de stof koper, die bij de reactie met chloor verdwijnt, ook nog een element koper, dat bij deze reactie behouden blijft, zou moeten voorstellen. Mij volledig bewust van de voorlopigheid van dit oordeel besloot ik mij te concentreren op een mogelijk alternatief, waarbij de ontwikkeling van de in eerste instantie waarschijnlijk nog zeer primitieve korpusculaire voorstellingen van leerlingen simultaan met de ontwikkeling van het begrip element en de daaraan ten grondslag liggende begrippen stof en reactie zou moeten verlopen."

Gezien mijn eigen, beschreven leerproces kan ik me maar al te goed voorstellen dat een onderzoeker zich aan het begin van zijn onderzoek een bepaald, voorlopig oordeel vormt. Het bevreemdt mij echter dat De Vos bij de reflectie, die optreedt bij de verslaggeving, met geen woord aandacht besteedt aan het werk van De Miranda. Ook noemt hij eigenlijk het werk van Ten Voorde niet, die heeft laten zien dat de W.E.I. wél op een bepaalde wijze in staat bleek "de problemen van de leerlingen" op te kunnen lossen.

Mijn konklusie is dat De Vos, door zich volledig te houden aan het rijksleerplan (1985, p. 34), zichzelf de mogelijkheid ontnam te komen tot een ontmechanisering van de chemische reactie. Hij heeft, onder inbreng van vele verrassende proeven, gewerkt binnen een kader waarvan de uitgangspunten rond het begin van de zestiger jaren reeds principieel ter discussie waren gesteld.

9.4 Didaktiekontwikkeling

In dit onderzoek is als omschrijving voor didaktiek genomen de wetenschap die begripsgenese bestudeert in gespreksituaties (4.3.2). Het gaat daarbij om situaties van een durend gesprek om zo op niveauverhoging gericht leren tot stand te laten komen. Deze bestudering heeft plaats gevonden aan de hand van gesprekken van zowel leerlingen als van leraren en didaktici. In beide soorten gespreksgroepen viel *gespreksproductiviteit* op te merken doordat de deelnemers met elkaar tot de vorming kwamen van nieuwe taal om over nieuwe zaken te kunnen spreken.

Het onderzoek is verricht in het kader gevormd door de didaktische gezichtspunten neergelegd in 'niveaus in de argumentatie', 'direkte ervaring', 'gespreksmodel voor onderwijzen' en 'productieve groep' (hoofdstuk 4). Daarbij zijn, in navolging van de Van Hieles, De Miranda en Ten Voorde de benoemingen 'grond-' 'beschrijvend' en 'beschouwend niveau' gebruikt om drie verschillende wijzen van verwoorden van een vaktekst aan te geven. Ik wil daarom nu nagaan of mijn betekenis van 'beschouwend' overeenkomt met 'theoretisch' zoals De Miranda en Ten Voorde die voor chemie-leren hebben gebruikt.

In 7.1.2 sloot ik aan bij Ten Voorde ter zake van het gebruik van 'logisch noodzakelijk volgen uit' als kenmerk voor een redenering die ik beschouwend en Ten Voorde 'theoretisch' noemde. Hij bespreekt (Ten Voorde, 1981, p. 92 e.v.) een genese van een begrip 'element als principe horend tot een theoretisch niveau'. In

dezelfde zin sprak ik ook over 'element' (3.3.4, 5.3.1). De Miranda (1980, p. 81) schrijft over niveauverandering (G = grondniveau, B = beschrijvend niveau en T = theoretisch niveau):

"Hoe verloopt nivoverhoging? (uiteraard: als daartoe voldoende gelegenheid wordt gegeven in het onderwijs).

- a. Studenten konden tot het hogere nivo komen, doordat zij hun handelen en spreken van het lagere nivo tot object van hun gesprek hebben gekozen en daarover ook individueel gingen nadenken.
- b. Dit gesprek (resp. denken) óver eigen handelen of spreken (denken) heeft hen inzicht doen verkrijgen in de structuur van de mogelijkheden van dat vroegere handelen. Dit geldt m.n. voor de overgang van B naar T omdat in G nog geen structuur (relatienet) aanwezig was. Bij de overgang B - T gaan zij beschikken over de structuur (T) van de ordenende principes der structuren (B), die hun vroegere handelen of denken bepaalde."

De Miranda noemt hier het verkrijgen van inzicht in de structuur van het vorige niveau als kenmerk voor met name de overgang naar een theoretisch niveau. In 3.3.4 gebruikte ik dit als kenmerk voor de overgang van een beschrijvende naar een beschouwende redenering. Ik ben dan ook van mening dat ik mij naar de inhoud van het begrip 'theoretisch niveau' heb gericht, zoals dat door Ten Voorde en De Miranda is omschreven voor chemie-leren.

De vraag is nu welke term de voorkeur verdient: theoretisch of beschouwend. Als bezwaar tegen 'theoretisch' is in 4.1.2 gezegd dat het ook kan worden opgevat in de zin van 'volgens een (natuurwetenschappelijke) theorie'. Een bezwaar tegen 'beschouwend' is dat kan worden gezegd dat men vanuit een beschrijvend niveau de begrippen van het grondniveau 'beschouwt'. Nadere gedachtenwisseling omtrent deze termen lijkt mij gewenst.

Bij mijn onderzoek zijn zowel in de gespreksgroepen van leerlingen als in die van leraren en didaktici situaties van verstaan en van niet-verstaan opgemerkt. Er zijn twee kwalitatief verschillende soorten niet-verstaan naar voren gekomen. Het eerste komt voort uit een verschil in niveau tussen de sprekers. In navolging van de Van Hiele, De Miranda en Ten Voorde is dit benoemd als een kloof van niet-verstaan. De tweede soort niet-verstaan treedt op doordat de ene spreker nagaat wat de implicaties van een bepaald begrip zijn en een andere uitgaat van een individueel geval waarop dat begrip betrekking heeft. Hier spreek ik slechts over 'niet-verstaan'.

Het niveaumodel is in het onderzoek bruikbaar gebleken om gespreksituaties te beschrijven waarbij leren van chemie en van didaktiek plaats vond. Bij het leren van didaktiek is uitvoerig aandacht besteed aan de vorming van een grondniveau. Daarbij bleken termen bruikbaar die Ten Voorde ook hanteerde bij de beschrijving van de vorming van zowel zijn grondniveau didaktiek, als van een grondniveau chemie bij leerlingen.

Bij de analyse van protokollen was aanwijsbaar wat De Miranda in een interne samenspraak met Van Sprang en mij had geopperd, namelijk dat leerlingen bij de genese van hun chemische begrippen in een gesprekssituatie enerzijds een beschrijvend niveau chemie uitbreiden vanuit een grondniveau (BG) en anderzijds sprekend in een beschrijvende taal ook gericht zijn door een beschouwende vraagstelling (BB, 6.2.6).

In dezelfde samenspraak reikte De Miranda de term 'overkoepelende structuur' aan (3.3.4) als aanduiding voor een algemene wetmatigheid in verschijnselen (bijv. de wet van Gay-Lussac of die van Proust, 3.3.4). Met een overkoepelende structuur wordt dus een zeker overzicht verkregen van gelijksoortige relaties binnen één niveau. Omdat daarbij geen gebruik wordt gemaakt van een of meer *aannames die de ervaring overstijgen*, spreek ik niet over het bereiken van een volgend niveau (3.3.4, 7.1.1). Bij het vormen van een overkoepelende structuur is evenmin sprake van het *kiezen uit elkaar logisch noodzakelijk uitsluitende alternatieven*. Ik heb deze twee aspecten gezien als kenmerken van een overgang van een beschrijvend naar een beschouwend niveau.

In 1.2.3 en 1.2.4 is de situatie geschetst dat in hedendaagse Nederlandse schoolboeken voor secundair scheikunde-onderwijs formules als H_2O vooral als 'feiten' worden gepresenteerd. De wijze waarop chemici tot zulke formules zijn gekomen, komt vrijwel niet meer ter sprake in de gangbare Nederlandse schoolboeken. Een uitzondering vormen 'TUE', 'Chemie in duizend vragen' en De Jong in zijn ontwikkelingswerk voor het L.A.O. die nog wel aandacht besteden aan een aantal facetten van de vaststelling van een formule.

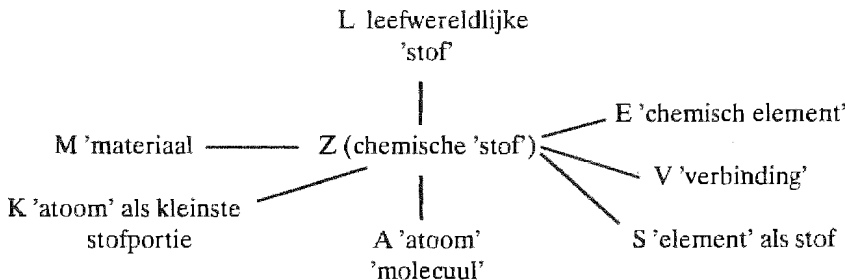
Het 'feitelijk' karakter van zulke formules kwam naar voren in protocol 19 (8.2.1): H_2O was aanvankelijk voor één van de gespreksdeelnemers geen weergave van een regelmaat in bepaalde volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie. Door samen te blijven spreken, kwam hij later tot het inzicht dat in dergelijke formules een keuze is gemaakt om bepaalde stofindividuen de waarde 1 als index bij een elementsymbool toe te kennen.

Een andere deelnemer aan dat gesprek sprak uit dat hij nu begreep wat zulke formules voorstelden. Deze onderwijsresultaten geven de mogelijkheid aan dat leerlingen aangeleerde 'feiten' een plaats gaan geven in een daartoe strekkende samenhang. Daarvoor is het nodig dat ze de gelegenheid krijgen zich uit te spreken over opdrachten die hen uitnodigen verschillende visies tegenover elkaar te zetten en zo hun eigen vakkontekst vorm te geven.

9.5 Leeftijd of leertijd?

In beide soorten onderzochte gespreksgroepen wees ik een kloof van niet-verstaan aan bij het komen tot een eerste kwantificering van het elementbegrip n.a.v. volumeverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie. Dit wijst erop dat het komen tot inzicht in relaties niet op de eerste plaats afhangt van leeftijd, maar van aanspreekbaarheid oftewel van vordering in een betreffend leerproces. Hierin ver-

schilt mijn visie met die van Buck, wanneer hij schrijft naar aanleiding van een aantal door hem onderscheiden betekenisinhouden van het begrip 'stof' die hij in de volgende "figuur 1" heeft weergegeven (Buck en Lenz, 1987, p. 102):



Figuur 1. Aspektenster van betekenissen van 'stof' volgens Buck en Lenz.

"... besteden Ten Voorde (1977) en Weninger/Dierks/Pfundt (1979) in hun onderwijsconcepten bijzonder veel aandacht aan een strenge ... en expliciete begripsvorming. Zij hebben voor heel bepaalde begripsinhouden gekozen, die in figuur 1 gelocaliseerd kunnen worden, ... Hun concepten vereisen een zorgvuldige programmering. Het lijkt ons echter twijfelachtig, of een dergelijke programmering - althans voor oudere leerlingen en studenten - noodzakelijk is. Kan men deze begripssituatie op zichzelf niet thematiseren (b.v. met een schema zo als in figuur 1) om te bereiken, dat streng geformuleerde vaktermen worden vermeden, die maar al te snel het etiket 'uitsluitend correct' dragen? Het voordeel van zo'n concept met zijn klemtoon op begripsvorming door discussie is een bewegelijk begrijpen in de verschillende situaties en contexten."

Mijn bezwaar tegen een voorstelling van verschillende begripsinhouden op de manier zoals Buck en Lenz die hier geven, is dat deze suggereert dat de verschillende betekenissen los staan van elkaar. Een dergelijke voorstelling nodigt m.i. niet uit tot het onderzoeken van begripsgenese omdat er geen noodzakelijke volgorde in begripsinhouden uit voortvloeit. Dit zie ik als eerste aanwijzing dat Buck vanuit een andere achtergrond over onderwijs spreekt dan ik.

In het citaat staat: *"Het lijkt ons echter twijfelachtig, of een dergelijke programmering - althans voor oudere leerlingen en studenten - noodzakelijk is."* Ik wil dit zien als een weergave van het spreken vanuit een pedagogisch gerichte achtergrond. Het lijkt mij dat Buck hier het kunnen onderscheiden van verschillende begripsinhouden vooral ziet als bepaald door 'biologische rijping'.

In beide soorten gepreksgroepen wees ik een kloof van niet-verstaan aan bij het komen tot een eerste kwantificering van het elementbegrip bij de één-tot-één gasreactie. Dit wijst erop dat het komen tot inzicht in relaties niet op de eerste plaats afhangt van de leeftijd, maar van aanspreekbaarheid oftewel van vordering in een betreffend leerproces. Hierin verschilt mijn visie met die van Buck.

Zo slaagde ik er in de Amersfoortse groep, waar alle deelnemers volwassen waren, bijvoorbeeld niet in verschillende betekenissen van 'portie' te onderscheiden, en ervoer daardoor een kloof van niet-verstaan (2.2.2, 7.1.2). Ik ga er vanuit dat dit

zijn oorsprong heeft in het spreken van verschillende talen, ieder horend bij een eigen niveau. Daarom is in mijn ogen leertijd en niet leeftijd een bepalende faktor in het kunnen overbruggen van een dergelijke kloof (Van Hiele, 1982).

9.6 Konklusie

In dit onderzoek heb ik de genese van een begrip 'chemisch atoom' beschreven, zowel in onderzoeks- als in onderwijsgespreksituaties. Dit atoombegrip funktioneert in een kontekst waarin spreken over chemische reacties in termen van verhoudingen centraal staat. 'Atoom' heeft hierbij de betekenis de 'relatief gezien kleinste elementmassa per standaardvolume' te representeren. Het 'chemisch atoom' stelt dus niet een in absolute grootte 'kleinste massa' voor.

Met dit begrip 'chemisch atoom' kan inzicht worden verkregen in de mogelijke volume- en massaverhoudingen bij de één-tot-één gasreactie. Dit is benoemd als het bereiken van een beschouwend niveau chemie. Bij het komen tot zo'n beschouwend niveau speelt één van, of beide, volgende punten een rol:

- men maakt een aanname die de ervaring overstijgt;
- men maakt een keuze uit elkaar logisch uitsluitende alternatieven.

De bestudeerde genese trad op doordat een gemeenschap van lerende mensen met elkaar in dierend gesprek was. Dit gesprek speelt zich in de tijd 'lineair' af, lettend op de optredende begripsvorming echter niet. Bovengenoemde overgang bijvoorbeeld naar een beschouwend niveau chemie hield een diskontinuiteit in t.a.v. het taalgebruik die samenhang met het kiezen van het gezichtspunt 'elementmassapor-tie per standaardvolume stofindividu' in plaats van het reeds bekende 'stofindividu- en ontstaan uit andere stofindividuen' (8.2.1).

De vraag naar de genese van een chemisch atoom vloeit op de eerste plaats voort uit het streven over kwantitatieve betrekkingen bij de chemische reactie te spreken in termen van verhoudingen. Als een uitgangspunt is dat een begrip atoom aan het begin van het scheikunde-onderwijs moet staan (9.3.3) dan kan dat slechts 'atoom' in de zin van afzonderbaar deeltje zijn (3.2.1). In zo'n visie vervalt automatisch de vraag naar een chemisch atoom, omdat dit, anders dan in de vorige eeuw, in de huidige chemie geen rol meer speelt.

Ziet men naast de taal van alledag slechts de huidige wetenschappelijke wijze van verwoorden, dan komt een begrip chemisch atoom evenmin voor bestudering en ontwikkeling in aanmerking (9.3.1). Een vraag voor verdere onderzoek kan dan ook zijn in hoeverre drie niveaus ter beschrijving van het leren van een vakkontekst een noodzakelijke voorwaarde mag worden genoemd voor de genese van een begrip chemisch atoom.

Bij het onderzoek bleken problemen die leerlingen ondervinden bij het spreken over opdrachten, voort te vloeien uit een combinatie van de structuur die in deze opdrachten zit vervat, van hun eigen vordering in hun chemisch leerproces én van de vordering van de docent in zijn chemisch en didaktisch leerproces. Indien leerlingen de mogelijkheid wordt geboden in een op niveauverhoging gericht leerproces zich een chemiekontekst eigen te maken dan zal er aandacht moeten zijn voor

de structuur van de opdrachten en voor het empirisch chemie- en didactiek-leren door de docent.

9.7 Noten

1. Deel 1: Weninger e.a. (1979); deel 2: Marcus & Pfundt (1982); deel 3: Dierks & Weninger (1988).
2. Zie de door de faculteit der wiskunde en natuurwetenschappen van de Katholieke Universiteit Nijmegen uitgegeven informatiefolder betreffende de TUE en de ook aldaar uitgegeven leergangen voor mavo/havo/vwo.
3. Zie b.v. Arnold en Van Berkel (1983), Arnold en Van Berkel (1984), Van Berkel en Arnold (1988).
4. Opvallend is dat Van Berkel en Arnold hier niet naar Ten Voorde (1979b) verwijzen waar hij de term 'reagens' in de bedoelde betekenis aanreikt. Van Berkel (1986, p. 20) refereert hier wel aan als hij onder andere schrijft:

"De toestandsaanduidingen s, l, en g kunnen gebruikt worden bij formules als daarmee stoffen (werkelijkheid) worden aangeduid... Die stoffen kunnen worden voorgesteld met deeltjes (model). Maar in "Chemie" en andere scheikunde-boeken wordt geen term aangereikt die de werkelijkheid beschrijft bij ionen (model!). De vraag hoe je de werkelijkheid kunt beschrijven die wordt voorgesteld met ionen, is overigens niet nieuw en kan ook beantwoord worden [Ten Voorde, 1979b] ..."

LITERATUUR

- Arkel, A.E. van & H.G.S. Snijder (1936), *Leerboek der scheikunde - gegrond op atoommodel en periodiek systeem*. Groningen-Batavia: P. Noordhoff.
- Arnold, F.J.C.M. & A.A.J. van Berkel (1983), "Spektakels en gezichtspunten bij TUE". *Faraday*, 52, 69-72.
- Arnold, F.J.C.M. & A.A.J. van Berkel (1984), "Indelen van stoffen en reacties - Gezichtspunten bij TUE II". *Faraday*, 53, 25-27.
- Bericht über den IPN-workshop "Stoffbegriff" (9.-12. April 1985), Kiel: IPN.
- Bericht über den IPN-workshop 2 "Stoffbegriff" (16.-18. November 1986, Siegen), Kiel: IPN.
- Berkel, T. van (1986), "Toestandsaanduidingen". *NVON-maandblad*, 11 (2), 18-20.
- Berkel, A.A.J. van & F.J.C.M. Arnold (1987), "Heen en weer denken in het examen scheikunde voor havo". *NVON-maandblad*, 12, 66-68.
- Berkel, Ton van & Frans Arnold (1988), "Een alternatieve (koper)-kringloop". *NVON-maandblad*, 13, 78-80.
- Berzelius, J. (1814), "Article V. Essay on the cause of chemical proportions and on some circumstances relating to them, together with a short and easy method of expressing them." *Annals of philosophy*, 3, 51-106.
- Boer, T. de (1980), *Grondslagen van een kritische psychologie*. Baarn: Ambo.
- Bokhorst, S.C. (1956), *Leerboek der scheikunde Ia*. Groningen-Djakarta: J.B. Wolters, 16^e druk.
- Buck, P. & A. Lenz (1987), "Een begripsinhoudelijke analyse van 'stof' ". *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 5, 88-104.
- Burg, J.H.N. van der (1935), *Leerboek der scheikunde - eerste deel*. Groningen-Batavia: J.B. Wolters, 6^e druk.
- Cannizzaro, S. (1858), *Abriss eines Lehrganges der Theoretischen Chemie vorgetragen an der K. Universität Genua*. Duitse vertaling onder redactie van Lothar Meyer als nr. 30 van *Ostwald's Klassiker der Exakten Wissenschaften*. Leipzig: W. Engelmann (1891).
- Cohen, I.B. (1959), "Conservation and the concept of electric charge: an aspect of philosophy in relation to physics in the nineteenth century". In: M. Clagett (Ed.), *Critical problems in the history of science*, Madison: University of Wisconsin Press.
- Coops, G.H. (1923), *Leerboek der scheikunde - eerste deel*. Groningen: P. Noordhoff, 3^e druk.
- Dierks, W. & J. Weninger (1988), *Stoffe und Stoffumbildungen, 3. Teil, Auf dem Weg zu einer Chemie der Aggregate*. Stuttgart: Ernst Klett.
- Dumas, M.J. (1826), "Mémoire sur quelques points de la théorie atomistique". *Annales de chimie et de physique*, 33, 337-392.
- Dumas, M.J. (1832), "Dissertation sur la densité de la vapeur de quelques corps simples". *Annales de chimie et de physique*, 50, 170-181.
- Freund, I. (1904), *The study of chemical composition*. Cambridge: Cambridge University Press. Heruitgegeven door Dover Publications te New York (1968).

- Gadamer, H.-G. (1986), *Hermeneutik I - Wahrheit und Methode*. Verschenen in band 1 van *Gesammelte Werke*. Tübingen: J.C.B. Mohr (Paul Siebeck).
- Gee, A.L.W. de (1950), *Scheikunde voor het middelbaar en gymasiaal onderwijs - deel 1*. Groningen-Djakarta: J.B. Wolters, 6^e druk.
- Gerhardt, Ch. F. (1854-1858) m.m.v. R. Wagner, *Lehrbuch der Organischen Chemie*, 4 banden. Leipzig: Otto Wigand.
- Germs, H.C. (1926), *Beknopt leerboek der anorganische chemie*. Groningen: P. Noordhoff, 6^e druk.
- Goedhart, M.J. (1990), *Meten: normen en waarden*. (Proefschrift Utrecht).
- Groen, J., H. Hamann & J.W. Schuijl (1963), *Inleiding tot de scheikunde*. Zeist: NIB, 7^e druk.
- Groen, J., H. Hamann & J.W. Schuijl (1985), *Scheikunde voor voortgezet onderwijs deel 1, 3 havo/hwo*. Zeist: NIB, 2^e druk.
- Hemmes, H. (1914), *Leerboek der anorganische scheikunde*. Leiden: Brill, 3^e druk.
- Hiele, P.M. van (1957), *De problematiek van het inzicht*. Purmerend: Muusses (proefschrift Utrecht).
- Hiele, P.M. van (1973), *Begrip en inzicht*. Purmerend: Muusses.
- Hiele, P.M. van (1982), "Fasen en stadia in de ontwikkeling van het denken bij kinderen, zoals die door Piaget worden geconstateerd, vergeleken met de denkniveaus geïntroduceerd door Van Hiele". *Pedagogisch Tijdschrift/Forum voor Opvoedkunde*, 7, 207-218.
- Hiele-Geldof, D. van (1957), *De didactiek van de meetkunde in de eerste klas van het V.H.M.O.* (Proefschrift Utrecht).
- Hooykaas, R. (1947a), "De wet van massabehoud". *Chemisch Weekblad*, 43, 244-248.
- Hooykaas, R. (1947b), "De wet van elementenbehoud". *Chemisch Weekblad*, 43, 526-531.
- Hooykaas, R. (1976), *Geschiedenis der natuurwetenschappen*. Utrecht: Bohn, Scheltema & Holkema, 2^e druk.
- Huizinga, D. (1877), *Handleiding bij het eerste onderwijs in scheikunde aan burgerscholen*. Groningen: P. Noordhoff, 2^e druk.
- Johnstone, A.H. (1982), "Macro- and microchemistry". *School Science Review*, 64, 377-379.
- Jong, O. de (1990), *Rekenen aan reacties*. (Proefschrift Utrecht).
- Kaptein, A.J.G., J. Koning, J. de Miranda & J.G. Vogel (1954), *Scheikunde werkboek 1*. Groningen-Djakarta: J.B. Wolters, 2^e druk.
- Kekulé, A. (1858), "Über die Konstitution und die Metamorphosen der chemischen Verbindungen und über die chemische Natur des Kohlenstoffes". *Liebigs Annalen der Chemie*, 106, 129-159.
- Kekulé, A. (1867), "Original communications. On some points of chemical philosophy". *The Laboratory*, 1. Opgenomen op p. 364-370 van: R. Anschutz (1929), *August Kekulé*. Berlin: Verlag Chemie.
- Kelly, G.A. (1955), *A theory of personality*. New York: W.W. Norton & Co.
- Koning, J. (1948), *Enige problemen uit de didactiek der natuurwetenschappen in het bijzonder van de scheikunde*. Dordrecht: Retèl en Felkers (proefschrift Utrecht).

- Kopp, H. (1873), *Die Entwicklung der Chemie in der neueren Zeit*. München: R. Oldenbourg.
- Kramers, J. (1923), *Beknopt leerboek der scheikunde*. 's Hertogenbosch - Antwerpen: Malmberg.
- Larder, David F. (1966), "The axiom of simplicity in the development of chemistry". *Journal of Chemical Education*, 43 (9), 490-491.
- Lavoisier, A.L. (1790), *Elements of Chemistry*. Edinburgh: William Creech. Heruitgegeven bij: Dover Publications te New York (1965).
- Mach, E. (1913), *Principien der Wärmelehre*. Leipzig: Verlag Johann Ambrosius Barth, 3. Auflage.
- Marcus, W., H. Pfundt m.m.v. W. Dierks (1982), *Stoffe und Stoffumbildungen, 2. Teil, Von der Atomhypothese zur Kern-Elektron-Hypothese*. Stuttgart: Ernst Klett.
- Meurs, G.J. van & H.P. Baudet (1948), *Beginselen der scheikunde - eerste deel*. Rotterdam - 's Gravenhage: Nijgh & Van Ditmar, 14^e druk.
- Meurs, G.J. van & H.P. Baudet (1961), *Inleiding tot de scheikunde*. Rotterdam - 's Gravenhage: Nijgh & Van Ditmar.
- Miranda, J. de (1955), *Verkenning van de 'Terra Incognita' tussen praktijk en theorie in Middelbaar (Scheikunde-) Onderwijs*. Groningen: Wolters-Noordhoff (proefschrift Utrecht). Heruitgegeven door de Afdeling Didaktiek der Scheikunde van de Universiteit van Amsterdam als Discoreeks nr. 2.
- Miranda, J. de (1962) m.m.v. P.M. van Hiele, "De structuur van de onderwijssituatie als basis voor de opbouw van de didaktiek". *Pedagogische Studieën*, 39, 532-557.
- Miranda, J. de (1963), "Is scheikunde "de wetenschap der atomen?" - een vraag met didactische consequenties". *Faraday*, 32, 217-222.
- Miranda, J. de (1963), "Synthese?", *Faraday*, 33, 77-86.
- Miranda, J. de (1980), *Onderwijzen volgens het gespreksmodel*. Tilburg: Katholieke Hogeschool Tilburg, kenmerk: 325.80.109.
- Miranda, J. de (1985), *Didaktiek: een gesprekswetenschap*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, afdeling Didaktiek der Scheikunde (Discoreeks nr. 7).
- Ostwald, W. (1908), *Grondslagen der chemie*. Groningen: J.B. Wolters.
- Ostwald, W. (1909), *Grundriss der Allgemeinen Chemie*. Leipzig: W. Engelmann, 4. Auflage.
- Petit et Dulong (1819), "Recherches sur quelques points importants de la théorie de la chaleur". *Annales de chimie et de physique*, 10, 395-413.
- Pieren, L.O.F., H. van Dieten, G.M. van Hoeve-Brouwer, K. Klosse, J.W. Smilde & H. Wessels (1983), *Chemie 3 vwo/havo*. Groningen: Wolters-Noordhoff, 2^e druk.
- Pfundt, H. & R. Duit (1985), *Alltagsvorstellungen und naturwissenschaftlicher Unterricht*. Kiel: IPN-Kurzberichte 31.
- Reiding, J. & P.W. Franken (1984), *Chemie overal 3hv*. Culemborg: Educaboek.
- Roest, J.F. (1963), *Algemene Scheikunde*. Utrecht-Antwerpen: Het Spectrum, 2^e druk.

- Roest, J.F. (1985), "Onderwijzen en bezinning op weten". In: J. de Miranda (Ed.), *Didaktiek: een gesprekswetenschap*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, afdeling Didaktiek der Scheikunde (Discoreeks nr. 7).
- Scharf, V. (1985), "Zum Problem der Verständigung zwischen Laien (Schülern) und Fachleuten aus dem Bereich der Chemie". *Siegener Studien* 38, 47-60. Opgenomen in: *Bericht über den IPN-workshop "Stoff-begriff"* (9.-12. April 1985) op p. 128-134.
- Snelders, H.A.M. (1968), "De chemische volumewet van Gay-Lussac (1808)". *Faraday*, 38, 49-55.
- Sprang, H.F. van & H.H. ten Voorde (1986), "Stoffmenge, Anzahl und Erfahrungskontext". *Chimica didactica*, 12, 149-165.
- Theorie uit experimenten, *Informatiefolder*. Faculteit der wiskunde en natuurwetenschappen, Katholieke Universiteit, Nijmegen.
- Theorie uit experimenten (1986), *HAVO/VWO Bovenbouw deel 1 en 2*. Faculteit der wiskunde en natuurwetenschappen, Katholieke Universiteit, Nijmegen.
- Veer, T.J. van der (1849), *Katechismus der stöchiometrie, voor beoefenaars der scheiden artseneijbereidkunde enz.* Utrecht-Amsterdam: C. van der Post Jr. & C. G. van der Post.
- Vegting, P. (1986), "Kracht, een moeilijk begrip". *NVON-maandblad*, 11 (11), 26-31.
- Vogelezang, M.J. (1985), "Ervaring tot theorie". *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 3, 108-123.
- Vogelezang, M.J. (1986), "Fase-aanduidingen: kwestie van gezichtspuntskeuze". *NVON-maandblad*, 11 (3), 20.
- Vogelezang, M.J. & H.F. van Sprang (1987), "Bezinning op 'verklaren' in een scheikunde-onderwijssituatie". *Tijdschrift voor Didactiek der β -Wetenschappen*, 5, 216-227.
- Vogelezang, M.J. (1987), "Development of the concept 'chemical substance' - some thoughts and arguments". *International Journal of Science Education*, 9 (5), 519-528.
- Vogelezang, M.J. (1988), "Zum Verhältnis von Unterrichtskonzeption und den didaktischen Prämissen (chemischer) Begriffsbildung - erläutert am Stoffbegriff". *Chimica didactica*, 14, 217-256.
- Voorde, H.H. ten (1977), *Verwoorden en Verstaan*, band 1 (onderzoeksbeschrijving). 's Gravenhage: Staatsuitgeverij (proefschrift Amsterdam).
- Voorde, H.H. ten (1977a), *Verwoorden en Verstaan*, band 2 (onderzoeksmateriaal). 's Gravenhage: Staatsuitgeverij (proefschrift Amsterdam).
- Voorde, H.H. ten (1978a), "Empirische Didaktiek (I)". *Faraday*, 47, 73-90.
- Voorde, H.H. ten (1978b), "Empirische Didaktiek (II)". *Faraday*, 47, 183-196.
- Voorde, H.H. ten (1978c), "Empirische Didaktiek (III)". *Faraday*, 47, 240-255.
- Voorde, H.H. ten (1979a), "Empirische Didaktiek (V)". *Faraday*, 48, 172-183.
- Voorde, H.H. ten (1979b), "Empirische Didaktiek (VI)". *Faraday*, 48, 221-239.
- Voorde, H.H. ten (1981), *Niveauperhogend scheikunde-onderwijs ten behoeve van voorbereidend wetenschappelijk onderwijs*. Amsterdam: Universiteit van Amsterdam, afdeling Didaktiek der Scheikunde (Discoreeks nr. 3).

- Voorde, H.H. ten (1984), "Der chemische Elementbegriff als Ergebnis eines Wechsels in der Betrachtungsweise". *Chimica didactica*, 10, 99-116.
- Voorde, H.H. ten (1987), "Die Überbrückung der Kluft des Nicht-verstehenskönnens: eine Aufgabe des Unterrichts, Teil I, Kernthema "Stoff" ". *Chimica didactica*, 13, 117-148.
- Vos, W. de (1985), *Corpusculum Delicti*. (Proefschrift Utrecht).
- Weninger, J., H. Pfundt, m.m.v. W. Dierks, W. Marcus (1979), *Stoffe und Stoffumbildungen, 1. Teil, Ein Weg zur Atomhypothese*. Stuttgart: Ernst Klett.
- Weninger, J. (1984), "Grundsätzliches zur Verwendung von Stoff- und Stoffklassennamen". *Chimica didactica*, 10, 75-97.
- Werkgroep Empirische Inleiding (1968), "Vorbereidend wetenschappelijk onderwijs". *Chemisch Weekblad* 64 (47), 45-49.

REGISTER

- Aanwijzen
 - en directe ervaring 55
- Aanwijzend benoemen 55, 60
- Algoritme 143
 - ondoorzien 108, 147, 150
- Amersfoortse groep 36, 70
- Analyse 20, 61, 97
- Anticipatiespanning 107, 142
- Argumentatie
 - kenmerk beschrijvend niveau 60
 - kwaliteit van 36, 116
- Atoom
 - als afzonderbaar deeltje 30, 45, 118, 127, 147, 165, 169
 - als kleinste deeltje 17, 30
 - chemisch 32, 79, 125, 127, 150, 161, 163
 - chemische eenheid 31, 45, 123
 - uit ontledingsreacties 34
- BB 105, 144
- Begripsgenese 61, 167, 170
- Behoudsprincipe
 - kwalitatief 37, 71, 163
 - kwantitatief 37, 71, 163
- Beperking
 - tot de ervaring 37, 119
- Beschouwend 170
 - kontekst 42, 39, 44
 - gezichtspunt 97, 104
 - niveau chemie 110, 133
- Beschrijvend
 - kontekst 35, 44
 - klopt-dit?-vraag 39
- Beschrijvend niveau
 - chemie 104
 - chemie-didaktiek 60, 61
- BG 105, 172
- Blokkering 17, 20, 124
- Chemie-didaktiek 61
- Chemie-didaktische terminologie 54
- Chemie-leren
 - voorloper op didaktiek-leren 60
- Chemische kontekst 18
- Didaktische
 - structuur 162
 - terminologie 54
- Direkte ervaring 53, 123, 170
 - en empirische kennis 55
 - en verwoording 53
- Dulong en Petit 78
- Durend gesprek 71, 170
- Eén-tot-één gasreactie 15, 79, 122, 125, 126, 136, 163
- Eenvoudige redoxreactie 75
- Eigen ervaring met beschouwende samenhang 39
- Element
 - kwantum 80
 - massaportie 82
 - toestandsverandering 71
- Elementgetal 75, 137, 151, 154, 158
- Elementgroepering 81, 113
- Elementindividu 28
 - meer dan één geoxideerde toestand 90, 92
- Elementmassabehoud 29, 44
- Elementmassaportie 137, 156
 - per standaardvolume 137, 145, 158
- Elementsymbool
 - kwantitatieve betekenis 79
- Elkaar nodig hebben 55
- Equivalentgetal 77
 - derde 70, 92
- Explicitering
 - als leerfase 61, 91, 141, 156, 158
 - als onderwijsfase 82, 92
 - geforceerde 101, 104
- Flardentaal 54, 69
- Formule
 - als feit 8, 140, 147, 172
 - en chemische atoomtheorie 5
 - en experimentele ervaring 3
 - stoichiometrische interpretatie 4
- Formulegetal 138, 157
- Formulehoeveelheid 122

- Fysische kontekst 18
- Gay-Lussac
wet van 29
- Gebonden oriëntatie 82
- Geforceerde
explicitering 101, 104
situatie 157
- Geheel getal 118
- Geheelallige
elementmassaverhouding 32
volumeverhouding 82
- Gemeenschappelijke
taal en zaak 55
- Genese
chemisch atoom 163
derde equivalentgetal 94
element 89
elementbegrip 94
gekwantificeerd elementbegrip 158,
162
van een feit 3, 161
van begrippen 61
- Gereduceerde formulering 73
- Gereduceerde taal
niet-legitiem 43, 73
- Gesprek 103
stukken van 68
- Gespreksgemeenschap 68, 99, 103, 116,
121
- Gespreksmodel voor onderwijzen 63,
170
- Gespreksproductiviteit 99, 116, 170
bij leerlingen 94
- Gesprekssituatie 56, 60, 61, 119, 170
- Gezichtspuntkeuze
beschouwend 97, 104
vrijheid van 16
- Grondniveau 54
chemie 104, 171
chemie-didaktiek 54, 171
- Hebben van massa
als stoffeigenschap 21
- Heen-en-weer-denken 168
- Hergroeperen
van elementmassaproporties 84, 147,
149, 163
- Implicaties begrip nagaan 117, 155, 171
- Informatie (onderwijsfase) 82, 93
- Innemen van ruimte
als stoffeigenschap 21
- Integratie (onderwijsfase) 82
- Inzicht in beschrijvend niveau 113
- Kloof van niet-verstaan 17, 97, 108, 122,
162, 171
stukken van gesprek 68
- Klopt-dit?-vraag 38
beschrijvende kontekst 39
- Kontekst
beschouwend 42
beschrijvend 35
chemische 18
ervaring 55
fysische 18
visuele 35
- Kontekstloze
verwoording 43
- Kontekstverbonden
verwoording 99
- Korter en langer lerende 117
- Kwalitatief stofbegrip 22, 162
- Kwaliteit van de argumentatie 36, 116
- Kwantificering
elementbegrip 119, 122, 133, 139,
149, 158
- Kwantitatief stofbegrip 117, 162
- Kwantitatieve kwaliteit 29
van element 120
van de redoxreactie 91
- Leefwereld 60
didaktiek 69, 87
- Leerfasen 62, 109, 152
- Leerlingbeelden 53
- Leerproces
chemie-didaktisch 61
chemisch 61, 87, 113
- Leertijd 172
- Legitiem gereduceerde taal 104, 141
- Leren
en directe ervaring 60

- in gemeenschap 58
- in gesprek 58, 60
- Leren verstaan 108
- Logisch noodzakelijk 84, 113, 170, 172
- Logisch uitsluitend 122, 133, 155
- Logische alternatieven 120
- Logische structurering 167
- Makrochemie 168
- Massabehoud
 - element- 44
 - totale 44
- Massaportie van element 15
- Massaverhouding 27, 163
- Massaverhoudingsgetal 27, 155
 - van elementmassaportie 157
 - van een redoxkoppel 91, 108
- Maximaal verdeelde element 41
- Mikrochemie 168
- Molekuul
 - als afzonderbaar deeltje 30
 - als kleinste deeltje 30
 - formule 79
- Muizevalinductie 109
- Naïef-realistisch 33, 168
- Niet-kunnen-uitleggen 17, 51
- Niet-legitiem gereduceerde taal 73, 104
- Niet-stof vs. stof 22
- Niet-verstaan 51, 171
- Niveau in de argumentatie 51, 170
- Objektwisseling 113, 116, 131, 149, 158
- Omgangstaal 164
- Ondeelbare
 - elementeenheid 82
- Onderwijsfasen 82, 150
- Onderwijsresultaat 99
- Ongenoegen 19, 61, 95, 121
- Ontmechanisering chemische reactie 170
- Onverdeelbaar 133
- On(ver)deelbaarheid 32
- Onverdeelbare eenheid 133
- Opdrachtgebonden 102, 110
- Overdracht
 - kennis- 44
- Overkoepelende structuur 42, 44, 73, 172
 - beschrijvend niveau chemie 90
 - derde equivalentgetal 108
- Overstijgen beschrijvende ervaring 116
- Oxidatie 90
- Persoonsgebonden 55, 60
- Persoonsgebondenheid 54
- Portie 16, 113
- Productieve groep 61, 170
- Productiviteit 99
- Protokol
 - als onderzoeksmateriaal 56
- Protokol-analyse
 - als onderzoeksinstrument 67
 - hulpmiddel bij onderwijzen 109
- Proust
 - wet van 25
- Reagens 72
- Reactie
 - eigenschap 29
 - individu 27
 - individu-eigenschap 29
- Reaktievergelijking 147
- Redoxkoppel 90
 - massaverhoudingsgetal 108
 - reeks 90
 - reactie 90
- Reduktie
 - toestandsverandering 90
 - van vaktaal 99, 141
- Relatienet 106
 - redoxkoppel en massaverhouding 110
- Semi-kwantitatief
 - taalveld 101, 105, 106, 109, 110, 129, 163
- Situatiegebonden 104, 105
- Standaard(gas)volume 40, 129, 136, 145
- Stofbegrip
 - kwalitatief 114
 - kwantitatief 114
- Stofeigenschap 18
- Stofindividu 18

- als groep stofindividue-eigenschappen 18, 20, 43
 - chemisch 18
 - fysisch 18
- Stoichiometrie 4
- Stokken van gesprek 68
- Strukturering
 - in opdrachten 82, 162
- Structuur
 - in beschrijvend handelen 61, 97, 116, 117
 - in ervaringsfeiten 97
 - in massaverhoudingen 84, 154
 - in volumeverhoudingen 143
 - overkoepelende 42, 73
 - van de onderwijssituatie 69
 - van beschrijvende samenhang 42
- Taalnood 95
- Taalreductie
 - legitieme 99
- Taalveld 30
 - 'ontstaat uit' 139, 141, 158
 - semi-kwantitatief 101, 109, 129, 163
 - toestand 102, 106, 110
 - verandering 101, 106, 110
 - vermenging van twee 34
 - 'zit in' 139, 141, 158
- Theoretisch niveau 53, 113, 170
- Toespitsen 18
- Toestandsverandering
 - element 71, 104
 - van een stofindividue 72
- Twee-lagen-schema 164, 168
- Uiterlijke overeenkomsten 54, 60
- Vakkontekst
 - als onderwijsprobleem 51
- Vakstructuur in onderwijsaanbod 161
- Vaktaal
 - legitiem gereduceerd 99, 141
 - niet-legitiem gereduceerd 73, 104
- Verantwoording gebruik beschrijvende regel 115
- Verdeelbaar in 126
- Verdeelbaar over 127, 129
- Verdeelbaarheid 136, 148
- Verdeelbaarheidsformule 126, 137
- Verdunbaarheid 120, 126
 - formule 79
- chemische 79
- Verhoudingsgetal
 - massa- 27
 - volume- 36
- Verklarend principe 115
- Visuele
 - kontekst 35, 43, 44
 - niveau 54
- Volumeverhouding 29, 163
- Voorbereid door 89
- Voorbereidend op 89
- Voorzeggen 100
- Vrije oriëntatie 82, 92
- Vrijheid van
 - gezichtspuntskeuze 16
- V.T.Z.G. 61, 67
- Waarom?-vraag 39, 96, 117
- Werkniveau 99
- Wet van
 - Avogadro 5, 35
 - Dalton 8
 - Dulong en Petit 78
 - Gay-Lussac 8, 29, 79, 122
 - Proust 25, 113
- Werkgroep Empirische Inleiding 53
- Zaakgebonden 100, 110, 131

SUMMARY

What does the formula H_2O mean? Almost the only answer given nowadays, runs: H_2O represents one molecule of water, which consists of 2 atoms of hydrogen (H) and 1 atom of oxygen (O). Possibly this statement is accompanied by a two- or three dimensional molecule drawing. In this case one speaks about atoms and molecules as isolatable and countable particles: corpuscula.

Internationally, a great deal of unanimity can be seen as to the desirability to communicate such 'facts' to pupils. These stem from, as they are mostly told, from a molecule model which is derived from physics. Also a completely chemical meaning can be given to the formula H_2O , and this was done last century. However, one thinks this is no relevant issue anymore to a secondary school pupil. In chapter 1 and in 3.2 I described possible interpretations of formulas like H_2O , and how they came and come up for discussion in Dutch secondary education.

At school, I only learned the corpuscular view of formulas, and this handicapped me as a chemistry student and beginning teacher. At least, I can interpretate this, looking back at that time. I described some of these blockades in chapter 2. I could only see this, after I had experienced other interpretations of formulas were possible. Freedom of choice excludes making a model to a fact.

Such interpretations became possibilities after my choice to become a teacher at a school where chemistry was taught along the views of the Working group Empirical Introduction. This initiated a proces in me, as to the empirical learning of both chemistry and education. In this working group I became acquainted with a dialogue model to learning and teaching, set up by De Miranda. By means of this model it was possible to describe my own learning process, the learning in a discussion group of chemistry teachers, and in discussion groups of pupils. I talked about this model in chapter 4, based on my own learning as much as possible.

The title of chapter 4 runs "Learning based on direct experience". In this I intended to express a characteristic of the model named. Namely, that the forming of a concept in an empirical science should by preference be in keeping with own, direct experience, already present or gained by a learning process. The beginning of such a forming of knowledge will especially be of an inductive nature. If in this way a reasonable amount of 'facts' have been accomplished, it is possible that a question emerges as to relations between those 'facts'. Therefore, I don't think that nowadays, strongly deductive structure of chemistry as a science should be a blueprint for the organisation of a beginning learning process in this empirical science.

In his thesis Ten Voorde described a genesis of the concepts 'chemical substance', 'chemical reaction as the disappearance and appearance of substances' and 'chemical element' in discussion groups of secondary school pupils. They worked with an educational method, based on the dialogue model named, and designed by De Miranda and himself. Chemical phenomena are only presented in a *qualitative*, not a corpuscular way. This method consists of an on-going series of tasks. Important educational construction principles in this model are: 'learning based on direct experience' and 'levels in argumentation' (Van Hiele). Pupils perform these tasks in fixed groups. The discussions in some of the groups were recorded on audio-tape

and written down to protocols. Subsequently, the protocols were analysed by means of the points of view of the dialogue model. Ten Voorde studied the learning process of pupils, who started with the phrasing of their daily life experiences with substances and reactions. He continued this series until pupils' productive use of 'chemical element' as a conservation principle in chemical reactions. He could discern three qualitatively different 'ways of speaking' about chemical issues. So he confirmed the findings of Van Hiele, and he began to speak of: ground level, describing level and theoretical level.

My research builds on Ten Voorde's. I too used protocol analysis as a research instrument, and the dialogue model for describing the genesis of concepts. Chemically, my point is the genesis of the concepts 'chemical substance', 'chemical reaction' and 'chemical element' in a quantitative, not corpuscular way. Its basis - Proust's law, Gay-Lussac's chemical law and (element) mass conservation - are put into discussion in 3.1. I named both laws as 'quantitative qualities' of substance and of reaction. The elaboration of this basis is presented in 5.3.

I concentrated my analysis of protocols of pupil-dialogues on two chemical issues: 'the third equivalent number' (chapter 6) and 'quantitative formulas of substances in the gasphase based on noted regularity in gas reactions' (chapter 8). The relevance of both subjects to my research into the genesis of a concept in empirical learning, stems from the following.

Proust's law can be formulated as: substances react in equivalent quantities. In simple redox reactions a number can be assigned to a redox-couple, which is a measure of this equivalent quantity, e.g. H^0/H^+ : 1; O^{2-}/O^0 : 8. Three redox couples must be assigned to certain elements, like iron or copper, each with its own equivalent-number. The number that belongs to the couple in which the ground state of the element, so the simple substance, does *not* appear, was called the third equivalent-number. Pupils cannot find this number from quantitative data of relevant reactions, if they keep speaking in terms of disappearance and appearance of quantities of substances. Only if they productively use the concept 'change of state of an element', they can solve the problem. This research handles the genesis in pupil dialogues of a concept 'element' that includes quantitative aspects. So we may expect the 'third equivalent-number' to be a fruitful terrain.

A formula like $\text{H}_2\text{O}(1)$ can be deduced from noted regularity in gasreactions in which water vapour is involved. In this respect each of the four symbols H, O, 2 and 1 gets a non-corpuscular meaning. The chemical reasoning is, roughly sketched, as follows.

- a. A table with volume-ratios (same T and p) for the element H.
Construction of the table on base of:
 - gasreactions in which only one starting substance and only one reaction product is compounded with H;
 - volume-ratio of starting substance and reaction product.

Table with volume-ratios (same T and p) as to H

Starting substance \ Reaction product	A	B	C	D	Examples of starting substance
A	1 : 1	2 : 1	3 : 1	4 : 1	hydrogen chloride/-bromide
B	1 : 2	1 : 1	3 : 2	2 : 1	hydrogen, water vapour
C	1 : 3	2 : 3	1 : 1	4 : 3	ammonia, phosphine
D	1 : 4	1 : 2	3 : 4	1 : 1	methane, hydrazine

- b. From the table and the conservation of the element mass in a chemical reaction it follows that:

$$m(\text{H in } p \text{ dm}^3 \text{ A}) : m(\text{H in } p \text{ dm}^3 \text{ B}) : \dots = 1 : 2 : 3 : 4$$

We can interpret this as the occurrence of the element H in massportions per unit of volume.

- c. Generalisation.

Like tables can be made for O, Cl, ..., and like conclusions as the one under b. can be drawn for these elements, a gasreaction can be seen as regrouping of element-massportions.

- d. Interpretation of a formula for a substance in the gasphase.

Within the chemical context 'gasreaction' the following significations are of interest:

- element symbol: one massportion (per unit of volume (same T and p));
- index: number of massportions (idem), and the relative magnitude of massportions has been *chosen* in such a way that all indices are whole numbers and the smallest one is 1.

- e. Element-number.

By combination of volume-ratios with mass-ratios between substances in the respective reactions (Proust's law), relative masses can be assigned to the element-massportions: the element-numbers (chemically spoken: the relative atomic masses).

In the 19th century this 'element-massportion' was called the 'chemical atom', a relatively seen '*indivisible unity*'. This concept functions in a context of ratios and therefore it belongs to a language world in which one does not speak of isolatable and countable particles.

From this schematically drawn reasoning it turns out that 'element' plays an essential role in it. Also that other aspects of its quantification come up for discussion, than in the case of the third equivalent-number. The second chemical topic of investigation was: 'quantitative formulas of substances in the gasphase based on regularity in gasreactions'. We may expect this terrain too to be fruitful for research into a genesis of a concept 'element' which also comprises quantitative aspects of a chemical reaction.

A group of chemistry teachers, including myself, tried to gain language for describing a genesis of such an atom-concept. This concept should be based on chemical, empirical experiences. In chapter 7 problems are discussed, which this group met during its dialogues. We couldn't use the term 'atom' because of the dominant association with isolatable particles. To be able to bring certain subjects into words new terms had to be looked for.

The dialogue model for learning and teaching turned out to be productive in my research. I could describe with it a genesis of a quantitative, non-corpuscular concept 'element' in a discussion group of chemistry teachers and in discussion groups of pupils. In the teachers group a research learning process took place, in the pupils groups a teaching-learning process with the use of an educational method. I was always a member of the first group, in the second one I only occasionally took part. I was able to describe my own functioning and learning during these dialogues with this model.

My research by means of protocol analysis was related to the genesis of concepts in empirical learning of chemistry. As I took part in an international discussion group of chemistry educationalists, I got the opportunity to try the use of the model to dialogues which can be characterised as a research learning process into chemistry education. This is described in 4.2. Unlike the situation in the first discussion groups mentioned, I could only base myself on written reports and on my own notes.

I can discern results and conclusions from my research in accordance with their being of a more chemical or of a more educational nature. The former are described in 9.2, the latter in 9.3, 9.4 and 9.5.

I mentioned the 'chemical' results and conclusions in the frame of a sketch of an 'educational structure for quantities'. With this I mean a blueprint to the construction of teaching activities by means of which pupils can arrive at a genesis of a quantitative, non-corpuscular concept 'element' in a lasting dialogue. Central themes, which are connected to *my* research, are the following.

- a. The chemical reaction, *qualitatively* describable as the disappearance and appearance of substances, can be seen as regrouping of permanent elements. *Quantitatively* a gasreaction can be viewed upon as a regrouping of 'element-massportions' (chemical atoms). In a chemical equation the element-symbol represents such a massportion.

- b. Concepts with a quantitative aspect, like 'substance', 'reaction', 'element', are at first introduced in a qualitative way. After some explicit formulation is attained, it is strongly advised to start directing attention to their quantitative aspects.
- c. In cases, mentioned under b, one should account for semi-quantitative language fields as intermediate phases, although further research is needed in this respect.
- d. Talking about ratios is an essential part of quantitative aspects of the chemical reaction and the chemical formula. So the genesis of terms, with which this can be done, must have special attention.
- e. It is possible that in the process of constructing an educational method questions arise, which cannot be answered by nowadays chemical literature. In such cases it is often helpful to look for texts from a period in which these questions were problems to chemists. Of course, the difference between the scientific context *then* and the educational context *now*, should be borne in mind.

Here I wish to mention the following, more 'educational' results.

- a. Confirmation of the productivity of the dialogue model of De Miranda for learning and teaching, as already described by Ten Voorde in his thesis. By this model - to see a lasting, thematic dialogue as a Changing-Language-Theme-Community - I could describe learning processes in dialogues of
 - pupils learning chemistry;
 - chemistry teachers who were trying to learn empirical chemistry and empirical education;
 - chemistry-educationalists from very different backgrounds, who were trying to understand each other;
 - and my own learning processes in these situations.
 From this it can be seen that the model is not confined to a single course.
- b. Confirmation of the productivity, which takes place in a dialogue community, is already mentioned by Ten Voorde too. It is satisfying to notice pupils form such a community by themselves, and wish to learn in it.
- c. In the group of chemistry teachers several attempts were made to talk solely in terms of a theoretical level. I did not find a situation where all participants talked on this level. In the protocols of the pupils I mostly found talks on a describing level, at times directed to a theoretical questioning.
- d. Two types of 'non-understanding' are noticed in the protocols. The first comes from the participants speaking from different levels. Following De Miranda and Ten Voorde I called this a 'gap of non-understanding'. The other kind of 'non-understanding' takes place if speakers are directed to a completely different theme on the same level, although they use the same words. In this case I just speak of 'non-understanding'.

- e. Not only in my own learning, but also in the pupils' I could notice utterances which I named 'non-context verbalizations'. This comprises parrotting knowledge, gained by handing over and that had not been internalized; it also refers to speaking a 'bits-and-pieces' language, or to using an algorithm that is not understood. In contrast to this a legitimately reduced language can be seen, with speech-economy as a background: a very concise way of phrasing extended experience.
- f. Mostly the pupils talked in their empirical chemistry learning with descriptive terms. They reached this phase during their chemistry-education, starting from their daily lives, through a period of ground level. In the dialogues analysed they were filling their descriptive level, aided by theoretical points of view.

In 9.3 I discussed three chemistry curricula in which pupils work in groups a lot too. The curricula however, were set up according to the scheme: chemical facts and modern chemical theory (a two-layer-scheme). It is a question, if in this context a concept 'chemical atom' can be developed.
- g. In the interpretation of the pupils' protocols it is necessary to look at the whole of the educational situation, vizually at the totality of pupils' dialogue, educational method at use and the guiding by the teacher. In the protocols analysed I could point to different situations where curriculum and/or teacher were anti-productive as to the intended genesis.
- h. The similarities mentioned in problems of chemistry teachers and of pupils during the genesis of a 'chemical atom' indicate that in such a learning process learning time dominates over lifetime.
- i. I see the results mentioned so far as points of attention for schooling chemistry teachers or for post-graduate education, if these are directed to genesis of concepts.

DANKWOORD

Een zin als 'nadat de concentratiecel tien uur in een thermostaatbad geroerd was, werden de chloride-concentraties in beide kompartimenten bepaald', verbergt meer praktische problemen dan de argeloze lezer zal bevroeden. De schrijver heeft daarvan afstand moeten nemen voor hij tot zo'n formulering in staat was en daarin als experimentator niet meer herkenbaar zou zijn. In dit proefschrift gaat het voor een deel om mijn eigen handelen en spreken, waarbij ik via de gebruikte protocollen als persoon wel herkenbaar ben gebleven. Hierin komt een verschil naar voren tussen natuurwetenschappelijk onderzoek en het didactisch onderzoek waarover ik verslag heb gedaan. Maar ook dat dit soort onderzoek, naar mijn ervaring, onmogelijk alleen kan worden gedaan. Het hebben van gesprekspartners is een noodzakelijke voorwaarde voor het langzamerhand afstand kunnen nemen van vroeger handelen.

Op de eerste plaats wil ik dan ook degenen danken met wie ik in de afgelopen jaren in een gespreksgemeenschap heb kunnen functioneren: Henk, Reinier, Olle, Hans en Adri. Samen met jullie zijn nieuwe gezichtspunten geformuleerd en reeds bekende verder aangevuld. Door onze gesprekken kon ik al te sterke persoonsbetrokkenheid verlaten, zodat ik meer oog kon krijgen voor de processen die optreden tussen op elkaar betrokken mensen. Hierbij heb ik altijd gewaardeerd hoe wij ieder vanuit onze eigen persoonlijkheid een bijdrage tot deze samenspraken konden leveren.

Van de genoemde personen nemen uiteraard Adri en Olle een speciale plaats in als promotor en copromotor. In het samen bespreken van jullie kritisch commentaar op mijn manuscripten waren jullie steeds bereid te zoeken naar oorzaken van eventueel niet-verstaan en vervolgens dit te overbruggen, ieder op de hem eigen wijze. Mede daardoor is dit proefschrift tot stand kunnen komen.

Naast de inhoudelijk aspecten zijn er andere zoals technische bijstand, verzorging van materiaal, overnemen van werkzaamheden in tijd van grote drukte e.d. Daarbij denk ik allereerst aan Ko en Bennie die mij vaak de gelegenheid gaven tijd te besteden aan het voltooien van het manuscript. Verder bedank ik Harry, Henk en Harry die mij van uniek historisch materiaal voorzagen. Tenslotte de velen waarmee ik in een kort gesprek weer verder werd geholpen in een moment van impasse of bij het moeizaam zoeken naar een goede formulering. Tot dezen horen vele leden van de Vakgroep Chemiedidaktiek. Daarvan wil ik verder met name Frits noemen voor zijn rustige werken (en daarmee steun) aan voorkomende technische aspecten, en Riet voor het verrichten van vele te regelen administratieve werkzaamheden.

Mijn dank gaat ook uit naar de Vakgroep Chemiedidaktiek voor de bereidheid een promotieplaats ter beschikking te stellen; naar het Bestuur en Directie van de Bouwmeester om de gevraagde vrijstelling van lestaak te verlenen en daar in voorkomende gevallen ook ruimhartig rekening mee te willen houden.

Tenslotte al degenen die mij op welke manier dan ook, en vaak zonder dat zij het wisten, in de loop van het onderzoek hebben bijgestaan. Ik ben mij bewust hier mensen te vergeten, maar ik wil in elk geval de volgende namen noemen: Willemien, Allan, Erik, Teunie, Ria, Henk, Anke, Ria, Wolter, Erik, Martin, Hans, Peter, Jan, Gregor.

CURRICULUM VITAE

Michiel Joseph Vogelesang werd op 13 december 1946 geboren te Baarlo (L.) in de gemeente Maasbree. Na het bezoeken van de lagere school ging hij naar het gymnasium en behaalde in 1965 het eindexamen gymnasium- β aan het St. Franciscuscollege te Rotterdam. De hierna volgende studie scheikunde aan de Rijksuniversiteit te Leiden, werd in 1972 afgesloten met het doktoraalexamen. Het hoofdvak was fysische chemie in het kader waarvan o.a. werd deelgenomen aan een onderzoek naar vervuiling van zeewater door koperionen bij TNO te Delft. Als bijvakken werden theoretische natuurkunde en chemie en samenleving gedaan.

Tijdens zijn studie was hij al een jaar leraar scheikunde te Den Haag, erna te Groenlo en tot op heden te Haaksbergen. Binnen de Werkgroep Empirische Inleiding tot de Scheikunde nam hij deel aan verschillende ontwerpwerkzaamheden, o.a. aan een nieuwe opzet chemisch evenwicht op een empirisch thermodynamische basis te ontwikkelen.

Daarnaast is in samenwerking met Ten Voorde in het kader van het SVO project 092 protocolonderzoek verricht. Deze aandacht voor analyseren van gesprekken van lerende mensen uitte zich o.a. door zijn deelname aan de didactische symposia zoals die door de afdeling Didaktiek der Scheikunde van de Universiteit van Amsterdam werden georganiseerd van 1980 tot en met 1985.

De reeds in zijn doktoraalonderzoek naar voren komende belangstelling voor de relatie tussen mens en natuur is op 13 december 1988 nog eens bevestigd door het behalen van het diploma als natuurgids voor het I.V.N.