

Over het leren aanpakken van eindexamenopgaven bij scheikunde in het voortgezet onderwijs

Cees Terlouw & Henny Kramers-Pals
Faculteit Gedragwetenschappen, Instituut ELAN, Universiteit Twente

Albert Pilot
Centrum voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht

Samenvatting

Het vwo-eindexamen scheikunde vraagt van leerlingen hun scheikundige kennis toe te passen bij het beantwoorden van verklaringsvragen, berekeningsvragen en formulevragen. Leerlingen ondervinden veel moeilijkheden bij het beantwoorden van deze vraagtypen. Daarom zijn in deze studie drie verschillende didactische interventies ontwikkeld en is onderzocht welke interventie bij welke vragen het beste helpt. De drie interventies betroffen (a) een aanpak waarin leerlingen klassikaal met een Systematische ProbleemAanpak (SPA) leerden problemen op te lossen, (b) een aanpak waarin leerlingen met computerondersteund onderwijs – met ingebouwde SPA - leerden problemen oplossen, en (c) een aanpak waarin het probleemoplossen op gewone wijze in de klas werd uitgelegd en geoefend. Uit de resultaten bleek dat de interventies waarin een systematische probleemaanpak gebruikt werd leidden tot significant betere resultaten op de formulevragen. De bevindingen geven aanleiding tot een nadere reflectie op de relatie tussen vakconcepten, contexten en leerlingmotieven, mede met het oog op de onderwijsontwikkeling die plaatsvindt in het kader van het nieuwe scheikundeprogramma.

1. Situatie en problematiek

In deze paragraaf beschrijven we kort de innovatiesituatie van het Scheikundeonderwijs en de relevantie daarvoor van dit onderzoek. In de 'Discussie' komen we daarop terug.

In de plannen voor het nieuwe scheikundeprogramma voor het voortgezet onderwijs staat de wisselwerking tussen 'contexten' en 'concepten' centraal (Verkenningcommissie scheikunde, 2002). Deze context-en-concept benadering wordt schematisch beschreven in drie schillen en een kern (Driessen & Mast, 2003):

Schil A representeert contexten uit maatschappelijk herkenbare en relevante chemie;

Schil B is een weergave van contexten waar toepassingen en producten in verband staan met kennis en inzicht in beide centrale concepten;

Schil C staat voor kennis en toepassing van het micro-macro concept, het verband tussen moleculaire en macroscopische eigenschappen;

Kern D omvat de centrale concepten van de scheikunde, kennis van en inzichten in de opbouw van de materie uit moleculen of andere deeltjes.

Bij de uitwerking van de inhoud en vorm van de leerprocessen voor schil C en de kern D zal het leren gebruiken van kwantitatieve en kwalitatieve relaties een belangrijke rol spelen. Daarbij gaat het om het begrijpen en opstellen van

verklaringen voor verschijnselen in het perspectief van bijvoorbeeld het beoordelen van de kwaliteit van producten, het doen van onderzoek, of het ontwerpen van materialen. Ook het toepassen van kwantitatieve relaties is nodig, bijvoorbeeld voor het trekken van conclusies uit onderzoek, of voor het controleren van een model.

Met schil C en kern D zijn dus die contexten en problemen verbonden waarin het (leren) toepassen van natuurwetenschappelijke kennis centraal staat. De ervaringen hiermee kunnen van nut zijn bij de uitwerking van het nieuwe scheikundeonderwijs voor schil C en kern D. Wat zijn die ervaringen?

Leerlingen in het voortgezet en hoger onderwijs nu ondervinden vaak veel moeilijkheden bij het toepassen van natuurwetenschappelijk kennis bij de aanpak van probleemsituaties (Mettes & Pilot, 1980; Van Weeren, et al., 1982; Taconis, Ferguson-Hessler & Broekkamp, 2001; Kramers-Pals & Pilot, 2000). Kramers-Pals (1994) demonstreerde deze moeilijkheden van voelersingen aan de hand van een scheikundige verklaringsvraag uit een vwo-eindexamen met betrekkingen, verbanden tussen variabelen, over beïnvloeding van evenwichtsconcentraties door de temperatuur. De scheikundige verklaringsvraag¹ luidde (Kramers-Pals, 1994, 55):

Bij de hydrolyse van een pentylalkanoaat, zoals bijvoorbeeld pentylethanoaat (formule gegeven), ontstaan 1-pentanol en een alkaanzuur. Deze hydrolyse is een exotherme reactie. Als men 1,0 mol pentylethanoaat van 70° C samenvoegt met 1,0 mol water van 70° C, dan neemt het aantal mol 1-pentanol in het reactiemengsel eerst toe. Als 0,25 mol pentanol-1 is ontstaan, verandert de hoeveelheid 1-pentanol in het reactiemengsel niet meer. De verklaring hiervoor is dat de hydrolyse een evenwichtsreactie is.

Leg aan de hand van de bovenstaande gegevens uit of bij hydrolyse bij een hogere temperatuur dan 70° C (bij verder gelijkblijvende omstandigheden) uiteindelijk ook 0,25 mol 1-pentanol of meer dan 0,25 mol 1-pentanol of minder dan 0,25 mol 1-pentanol zal ontstaan.

Als norm voor de beoordeling van de antwoorden werd het antwoordmodel van het examen gebruikt. Van de vwo-leerlingen ($n = 130$) behaalde 38% voor deze vraag de maximale score, 62% maakte één of meer soorten fouten waarvan 8% de vraag niet beantwoordde. Tabel 1 geeft een overzicht van de percentages vwo-leerlingen die een bepaalde fout maakten.

De onderzochte leerlingen ondervonden met name moeilijkheden bij twee soorten vaardigheden: (a) de situatieanalyse, en (b) het opsporen en selecteren van relevante formules of betrekkingen die bruikbaar zijn voor het pro-

Tabel 1. Percentage van de leerlingen ($n = 130$) dat een bepaald type fout maakte bij een vwo-opgave over de temperatuurafhankelijkheid van evenwichtsconcentraties.

Criteria voor de foutenanalyse van uitwerkingen van een verklaringsvraag	% leerlingen dat hierbij een fout maakte
1. Alles goed gelezen en gezien?	8
2. Analyse goed (dus goed beeld van de situatie)?	28
3. Antwoord op de gestelde vraag gegeven?	2
4. Betrekkingen bestaand?	35
5. Betrekkingen relevant?	2
6. Betrekkingen geldig voor de probleemsituatie	8
7. Consequente redenering? Conclusie logisch?	4
8. Verklaring acceptabel voor docent?	13

bleemoplossen. Ook eerdere analyses van moeilijkheden van vwo-leerlingen op de deelterreinen “evenwichtsconcentraties als functie van de druk” en “chemische binding in relatie tot eigenschappen” leidden tot vergelijkbare resultaten wat betreft moeilijkheden met de hiervoor genoemde vaardigheden (Kramers-Pals, 1994). Deze moeilijkheden vinden ook hun weerspiegeling in de resultaten van de jaarlijkse itemanalyses van het CITO van de vwo-eindexamenvragen als deze worden uitgesplitst naar vraagtype. Voor de periode 1987–2001 is voor het vwo-eindexamen scheikunde berekend dat de verklaringsvragen een gemiddelde item-moeilijkheid² hadden van 0,57, berekeningsvragen 0,58, en formulevragen 0,61 (Kramers-Pals, 2003 (bijlage 3, blz. 27)).

Samenvattend is het probleem dat leerlingen in de bovenbouw van het vwo moeilijkheden hebben bij het toepassen van scheikundige kennis bij het oplossen van realistische problemen die, in de terminologie van het nieuwe scheikunde programma, betrekking hebben op schil C en kern D. Hieraan koppelen wij de algemene vraag: met welke (vak)didactische interventies kunnen de leerlingen in de bovenbouw van het vwo worden geholpen om de moeilijkheden met scheikundige problemen de baas te worden?

2. Theoretisch kader

Een (vak)didactische interventie om de bovengenoemde moeilijkheden aan te pakken, moet zijn gebaseerd op een onderwijsleertheorie en een daaruit afgeleide (vak)didactische theorie, aan de hand waarvan de interventie systematisch nader wordt ontwikkeld.

De onderwijsleertheorie van Gal'perin

In het onderhavige onderzoek wordt voor het leren en onderwijzen van scheikundige concepten en probleemoplossendelingen die zijn ingebed in een context, uitgegaan van de onderwijsleertheorie van Gal'perin. Dit is een onderwijsleertheorie voor de systematische vorming van mentale handelingen en concepten (Gal'perin, 1982 en 1992; Haenen, 1996; Podolskij, 1993; Arievitich & Haenen, 2005).

Gal'perin onderscheidt in zijn theorie over deze systematische vorming in het onderwijsleerproces vier samenhangende voorwaarden aangaande: (1) het leermotief, (2) de oriënteringsbasis, (3) de eigenschappen of parameters van een handeling, en (4) de stapsgewijze procedure, de onderwijsstrategie, om tot een volwaardige mentale handeling te komen. We zullen slechts de laatste voorwaarde aan de orde stellen, omdat in deze de andere drie worden geïntegreerd. De onderwijsstrategie is een stapsgewijze procedure die uit zes fasen bestaat:

1. Fase van de vorming van de motivatie

In deze fase krijgt de leerling een zodanige context aangeboden en een zodanige inleiding op de te leren handeling dat de leerling gemotiveerd raakt om de handeling te leren. Activiteiten als het op een uitdagende manier aansluiten bij de beginsituatie van de leerling – het aanspreken van de zone van naaste ontwikkeling (Vygotsky, 1983) – en het verschaffen van een helder inzicht in de leerdoelen ondersteunen dat het proces van motievorming op gang komt en blijft.

2. Fase van oriëntatie

Deze fase is gericht op de vorming van een gewenste oriënteringsbasis bij leerlingen voor de te leren handeling. Gal'perin maakt in dit kader een onderscheid tussen een bestaande (subjectieve) oriënteringsbasis en een gewenste (objectieve) oriënteringsbasis. De bestaande, subjectieve oriënteringsbasis van een leerling voor een probleemoploshandeling is vaak onvolledig, en soms zelfs foutief, zeker als deze wordt vergeleken met het gewenste handlingsverloop (zie bijvoorbeeld tabel 1). Om dit te veranderen en om te komen tot een gewenste oriënteringsbasis voor het handelen, wordt als (vak)didactisch hulpmiddel een 'schema voor een zo compleet mogelijke oriënteringsbasis' gehanteerd. Dit *oriënteringsschema* bestaat uit een externe representatie van de gewenste probleemoploshandelingen die een leerling moet gaan internaliseren, niet door het uit het hoofd te leren, maar door die te gebruiken bij het oefenen met probleemoplossen (informeel leren).

Een dergelijk *oriënteringsschema* bestaat uit de volgende componenten (Gal'perin, 1989; Haenen, 1996):

- het gewenste resultaat van de handeling,
- het patroon of model van de handeling zoals deze wordt uitgevoerd door een expert,
- de middelen van de handeling,
- de objecten van de handeling,
- het algemene plan van uitvoering van de handeling, en
- de *oriënterende kaart* of 'het spiekbriefje' dat de hiervoor genoemde vijf componenten zodanig weergeeft dat het kan dienen als leerhulpmiddel

Wij gebruiken de term 'oriënteringsschema', omdat de hiervoor genoemde componenten van het schema een leerling oriënteert op de gewenste oriënteringsbasis voor het handelen, in het onderhavige geval het oplossen van een (bepaald soort) problemen in de scheikunde.

3. De materiële of gematerialiseerde fase

Deze fase richt zich op basis van de gevormde oriënteringsbasis (zie hiervoor) op de beheersing van de probleemoploshandeling middels oefening met problemen en toetsing van de resultaten van de oefening waarbij concreet materiaal of materialisaties worden gebruikt. Een oriënteringsschema in de vorm van een oriënteringskaart is een voorbeeld van een materialisatie van het probleemoplossingsproces. Altijd moeten de essentiële eigenschappen van de te leren handeling in het materiaal of de materialisatie worden gerepresenteerd.

4. Fase van de verbalisering

Deze fase richt zich op basis van de gevormde oriënteringsbasis op de beheersing van de probleemoploshandeling middels oefening met problemen en toetsing van de resultaten van de oefening waarbij het verbaliseren van de probleemoploshandelingen centraal staan. In deze fase moeten de leerlingen loskomen van de hulp van een materialisering (zie hiervoor) in het oefenproces. De fase wordt dan ook gekenmerkt door gesprek en discussie met medeleerlingen en de docent over het verloop van het probleemoplossingsproces. Het is de bedoeling het concrete materiaal minder en minder te gebruiken. In deze fase ligt de nadruk ook op het sociale karakter van het internaliseringsproces overeenkomstig de ideeën van Vygotsky (1983). Op deze wijze wordt

er een soort van collectieve kennisbasis gevormd aan de hand waarvan het internaliseringsproces zich verder kan ontwikkelen.

5. Fase van de 'innerlijke dialoog'

Deze fase richt zich op basis van de gevormde oriënteringsbasis op de beheersing van de probleemoplossing middels oefening met problemen en toetsing van de resultaten van de oefening waarbij de 'innerlijke dialoog', het met zichzelf spreken over de probleemoplossing, centraal staat. Tijdens het oefenen met het probleemoplossen, begeleid door het verbaliseren (zie de fase hiervoor), komt de leerling al doende vanzelf in een fase van de 'innerlijke dialoog'. Het is tevens een soort van verkorting van het verbaliseren.

6. Het mentale niveau

Deze fase richt zich op basis van de gevormde oriënteringsbasis op de beheersing van de probleemoplossing middels oefening met problemen en toetsing van de resultaten van de oefening waarbij deze oefening en toetsing geheel op mentaal niveau wordt voltrokken. De probleemoplossing is geheel geïnternaliseerd. De 'woordketting' van de verbalisering is geheel verdwenen; er is nu sprake van een 'denkketting' met beelden en concepten met een hoge graad van generalisatie, verkorting en een vloeiende uitvoering van de probleemoplossingen.

Op basis van deze onderwijsleertheorie worden de belangrijkste oorzaken van de moeilijkheden die de leerlingen ervaren bij het toepassen van de scheikundige kennis (zie tabel 1) gezocht in:

- (a) De gebrekkige ontwikkeling of zelfs de afwezigheid van een motief – waarschijnlijk door een te weinig realistische context waarin een probleem is ingebed – om concepten en probleemoplossingen te willen leren;
- (b) De bestaande onvolledige en deels foutieve oriënteringsbasis bij de leerlingen. In termen van kennistypen (Taconis, Ferguson-Hessler & Broekkamp, 2001; De Jong & Ferguson-Hessler, 1996) is er sprake van problemen met de:

1. declaratieve kennis: een gebrek aan kennis van te gebruiken, relevante betrekkingen;
2. procedurele kennis: een gebrek aan vaardigheden om relevante betrekkingen op een correcte wijze toe te passen;
3. situationele kennis: een gebrek aan kennis van de probleemsituaties waarin bepaalde betrekkingen geldig en nuttig zijn; en
4. strategische kennis: een gebrek aan overzicht van het probleemoplossingsproces; een onvoldoende of zelfs afwezige probleemanalyse, en onvoldoende of zelfs afwezige controle van de resultaten.

Hardopdenkprotocollen maken duidelijk dat deze verschillende kennistypen nauw op elkaar betrokken zijn gedurende het natuurwetenschappelijk probleemoplossingsproces (Mettes & Pilot, 1980; Van Weeren et al., 1982; Kramers-Pals, 1994). Dat wil zeggen dat leerlingen zich, bijvoorbeeld, goed bewust moeten zijn van de onderlinge verbanden tussen variabelen (in de natuurwetenschappen veelal betrekkingen of formules genoemd), van de geldigheid van die betrekkingen, en van het gebruik ervan in een probleemanalyse (Kramers-Pals & Pilot, 2000). Leerlingen komen ook in moeilijkheden, omdat een dergelijke integratieve expertise zwak is ontwikkeld of zelfs afwezig is. In

een dergelijke situatie is er behoefte aan één of meer didactische hulpmiddelen, *oriënterings-schema's*, voor een zo compleet mogelijke oriënteringsbasis van leerlingen. Het ontbreken daarvan verkleint de kans op een adequate oriënteringsbasis;

(c) Een tekortschietende, fasegewijze oefening en daarbij horende terugkoppeling van het probleemoplossen. Enerzijds kan er te weinig zijn geoefend, anderzijds kan de kwaliteit van de oefening onder de maat zijn, omdat niet op het juiste niveau wordt geoefend (te abstract, mentaal, of juist te concreet, gematerialiseerd). Terugkoppeling kan te weinig frequent worden gegeven, en niet of te weinig op maat zijn; en

(d) Een gebrekkige of afwezige toetsing van de bereikte leerresultaten, zowel tussentijds als na afloop van een reeks van oefeningen.

De didactische theorie van 'onderwijsfuncties'

Een in te zetten (vak)didactische interventie heeft tot doel de hiervoor genoemde vier samenhangende oorzaken van de moeilijkheden van leerlingen zoveel mogelijk te voorkomen of te verminderen. Deze (vak)didactische interventie wordt uit de hiervoor beschreven onderwijsleertheorie afgeleid aan de hand van het begrip "onderwijsfunctie". Onderwijsfuncties zijn gedefinieerd als algemene operaties of handelingen en voorzieningen die moeten worden gerealiseerd opdat de gewenst geachte leerfasen worden gerealiseerd (Terlouw, 2000). Onderwijsfuncties verwijzen derhalve naar al bestaande, maar ook zonodig te ontwikkelen onderwijsmaatregelen en -voorzieningen die moeten worden ingezet om de leerdoelen te bereiken en daarmee moeilijkheden van leerlingen zoveel mogelijk te voorkomen of te verminderen. Het begrip "onderwijsfuncties" maakt het mogelijk middels researchliteratuur en eigen praktische ervaringen maatregelen te inventariseren, en deze aan expliciete criteria als effectiviteit, efficiëntie, aanwezige competenties bij docenten, en praktische bruikbaarheid te toetsen.

Uitgaande van de onderwijsleertheorie, zoals verwoord in de stapsgewijze procedure hiervoor, worden de volgende onderwijsfuncties gehanteerd:

A. Voorwaardelijke onderwijsfuncties

Het gaat hier om onderwijsfuncties die tijdens het gehele onderwijsleerproces voor de systematische vorming van mentale handelingen en concepten geldig zijn, en dus niet zijn gebonden aan bepaalde fasen. Het gaat hierbij om de volgende onderwijsfuncties:

A1. Motiveren,

A2. Aansluiten bij de beginsituatie van de leerling, en

A3. Inzicht geven in de leerdoelen.

B. Hoofdonderwijsfuncties

Het gaat hierbij om onderwijsfuncties die met name in bepaalde fasen van het onderwijsleerproces geldig zijn:

B1. Oriënteren: Het gaat hierbij om de volgende onderwijsfuncties:

1. Het laten ontdekken en verwerven van informatie over kenniselementen en een probleemaanpak, en

2. Het operationeel laten maken van kenniselementen en een probleemaanpak.

B2. Oefenen: Het gaat hierbij om de volgende onderwijsfuncties:

1. Laten oefenen met het gebruik van kenniselementen en de probleemaanpak,
2. Het geven van terugkoppeling, en
3. Gelegenheid geven tot reflecteren

B3. Toetsen: Het gaat hierbij om de volgende onderwijsfunctie:

1. (Laten) nagaan welke leerresultaten zijn bereikt en in welke mate deze overeen komen met de daaraan gestelde normen.

Om deze onderwijsfuncties te realiseren kunnen allerlei onderwijsmaatregelen en -voorzieningen in de vorm van onderwijsmaterialen, -procedures, -vormen, -technieken, inclusief de inzet van docenten, medeleerlingen, en de eigen persoon worden ingezet. De concrete invulling van deze onderwijsmaatregelen en -voorzieningen brengt ons op het terrein van de vakdidactiek scheikunde.

Vakdidactiek scheikunde

In Gal'perins onderwijsleertheorie neemt met name het *oriënteringsschema* – het (vak)didactische hulpmiddel om tot een gewenste, correcte oriënteringsbasis te komen – een centrale plaats in. Een dergelijk oriënteringsschema kan niet van algemene aard zijn, wil er sprake zijn van een goed hulpmiddel. Een oriënteringsschema is vakspecifiek van aard en is enerzijds gebaseerd op een grondige analyse van goed probleemoplosgedrag van experts, en houdt anderzijds rekening met de fouten van de beginnende probleemoplosser (Mettes & Pilot, 1980; Terlouw, 1987; Kramers-Pals, 1994; zie ook Van Merriënboer, 1997 en Jansen-Noordman & Van Merriënboer, 2003).

In het onderhavige onderzoek gaat het om scheikundeonderwijs in de bovenbouw van het vwo, in het bijzonder het leren aanpakken van eindexamenopgaven, waarin drie soorten van vragen³ aan de orde zijn:

1. Berekeningsvragen

Leerlingen moeten hier een berekening uitvoeren. Een voorbeeld van een berekeningsvraag is de volgende 'brommer-opgave':

Je rijdt op je goed afgestelde brommertje zolang tot 1,00 l benzine is omgezet in koolstofdioxide en water. Neem aan dat benzine bestaat uit verbindingen met de formule C_8H_{18} . Als je weet dat de dichtheid van benzine $0,70 \text{ g.ml}^{-1}$ bedraagt en dat lucht 20 volumeprocent zuurstof bevat, bereken dan hoeveel liter zuivere lucht van 20°C je hebt gebruikt

2. Formule- of vergelijkingsvragen

Leerlingen moeten hier met een resultaat komen bestaande uit een formule of een reactievergelijking, of deze interpreteren. Een voorbeeld van een formule- of vergelijkingsvraag is de volgende (1993¹, vraag 26):

Bepaalde chemische verontreinigingen kunnen goed uit water worden verwijderd met behulp van een korrelreactor. Zo kan ook water worden gereinigd dat vervuild is met fosfaten. In dat water zitten veel ionen $H_2PO_4^-$. Bij deze reiniging wordt calciumoxide gebruikt. Het proces dat dan in de korrelreactor plaats vindt, kan men opgedeeld denken in drie stappen:

SPA voor verklaringsvragen**Fase 1. Analyse van het probleem**

1. Lees de opgave grondig. Zet bijvoorbeeld na elk gegeven een streepje.
2. Maak op papier een schets of schema van het probleem om alles in één oogopslag te overzien.
3. Herformuleer het gevraagde:
 - a. in eigen woorden
 - b. als... dan....
 - c. schematisch
4. Markeer of noteer gegeven betrekkingen.
 - Noteer kenmerkende eigenschappen van de zaken waarvoor je een verklaring moet geven.
5. Noteer welk soort verklaring wordt verwacht.
 - Controleer of je een goed en volledig beeld van de situatie hebt.

Fase 2. Omwerking van het probleem

Kun je de verklaring al uitschrijven?

Zo ja, ga dan door naar fase 3.

Zo nee:

6. Noteer mogelijk bruikbare betrekkingen.
 - Splits het probleem zo nodig in deelproblemen en kies een eerste deelprobleem.
 - Noteer welke relaties mogelijk bruikbaar zijn door met behulp van je analyse na te gaan:
 - a. welke gevolgen gegeven oorzaken kunnen hebben,
 - b. welke oorzaken er zijn voor een gegeven gevolg,
 - c. of er nog andere relaties zijn die verband houden met de kenmerkende eigenschappen.
 - Controleer de betrekkingen op geldigheid in de probleemsituatie.
7. Werk het probleem om.
 - Probeer een verbinding te leggen door vanuit twee kanten te werken.
 - Herhaal de voorgaande stappen zolang de verklaring nog niet volledig is (als nog verbindende schakels ontbreken), bijvoorbeeld door kenmerkende eigenschappen van tussenresultaten op te sporen.

Fase 3. Uitschrijven van de verklaring

8. Schrijf de redenering en het resultaat overzichtelijk op.

Fase 4. Controle van het resultaat

9. Controleer of het antwoord een volledig antwoord op de gestelde vraag is.
10. Controleer of een voorbehoud nodig is (geldt alleen indien..)
 - Controleer het resultaat door na te gaan of de verklaring als geheel aannemelijk is voor jezelf.
 - Controleer of de verklaring aannemelijk is voor een beoordelaar.
11. Ga na wat je hebt geleerd bij het oplossen van dit probleem.

SPA voor berekeningsvragen**Fase 1. Analyse van het probleem**

1. Lees de opgave grondig. Zet na elk gegeven een streepje.
2. Maak op papier een schets of schema van het probleem om alles in één oogopslag te overzien. Zet alle gegevens in de juiste symbolen en vaktermen bijeen.
3. Noteer wat wordt gevraagd, zo mogelijk in mathematische symbolen.
4. Noteer mogelijk bruikbare reactievergelijkingen en evenwichtsvoorwaarden.
5. Noteer een schatting (eenheid, aantal significante cijfers, mogelijk ook orde van grootte)

Fase 2. Omwerking van het probleem

Kun je volstaan met routinebewerkingen?

Zo ja, ga dan door naar fase 3.

Zo nee:

6. Noteer mogelijk bruikbare betrekkingen.
 - Splits het probleem zo nodig in deelproblemen en kies een eerste deelprobleem
 - Noteer die betrekkingen die waarschijnlijk bruikbaar zijn, door vanuit het gevraagde en de gegevens te kijken naar:
 - a. mogelijke reactievergelijkingen en evenwichtsvoorwaarden
 - b. een overzicht van betrekkingen, bijvoorbeeld in je schoolboek of zelfgemaakt
 - c. betrekkingen die direct uit de gegevens volgen
 - d. betrekkingen die algemeen zijn of uit andere vakgebieden komen.
 - Controleer de betrekkingen op geldigheid in de probleemsituatie.
7. Werk het probleem om.
 - Probeer de verbinding te leggen tussen gevraagde en gegevens. Begin bij voorkeur bij het gevraagde.
 - Als je de oplossing nog niet ziet, probeer dan:
 - (a) het probleem te vereenvoudigen,
 - (b) het probleem eens heel anders te formuleren of vanuit een ander gezichtspunt te zien,
 - (c) een analoog probleem op te lossen,
 - (d) het probleem een tijdje te laten rusten.

Fase 3. Uitschrijven van de verklaring

8. Schrijf de redenering en het resultaat overzichtelijk op.
 - Schrijf de uitwerking en de uitkomst overzichtelijk op.
 - Controleer zeer frequent of alle tekens, machten en eenheden zijn meegenomen en of het resultaat nog zinnig is.

Fase 4. Controle van het resultaat

9. Controleer of je wel een antwoord op de gestelde vraag hebt gegeven.
10. Controleer het resultaat door het te vergelijken met de prognose (teken, eenheid, schatting).
11. Ga na wat je hebt geleerd bij het oplossen van dit probleem.

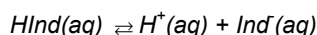
Figuur 1. Een oriënterende kaart met een SPA voor verklaringsvragen naast een SPA voor berekeningsvragen.

- *Stap 1: verhogen van de pH van het afvalwater door de reactie van calciumoxide met water*
 - *Stap 2: omzetting ionen $H_2PO_4^-$ in ionen PO_4^{3-}*
 - *Stap 3: neerslagvorming op de zandkorrels*
- Geef de vergelijkingen van de reacties die bij de hierboven omschreven stappen optreden.*

3. Verklaringsvragen

Leerlingen moeten hier een verklaring geven voor scheikundige verschijnselen. Een voorbeeld van een verklaringsvraag is de volgende (1994¹, vraag 27; zie hiervoor voor een ander voorbeeld):

In een oplossing waaraan wat van een indicator is toegevoegd, stelt zich het volgende evenwicht in (een indicatormolekuul is weergegeven met HInd):



Men voegt aan de oplossing natronloog toe. Leg met behulp van een evenwichtsbeschouwing over bovenstaand evenwicht uit welke kleur, rood of geel, de oplossing uiteindelijk zal hebben (ervan uitgaande dat H-Ind rood is en -Ind geel)

Om leerlingen te helpen bij de aanpak van deze vraagsoorten wordt er een vakdidactisch oriënteringsschema ingezet: een externe representatie van de gewenste probleemoplossing die een leerling moet gaan internaliseren door die te gebruiken bij het oefenen met probleemoplossen. De verschillende kennistypen – zie de hiervoor genoemde declaratieve, procedurele, situationele en strategische kennis – die bij het probleemoplossen aan de orde zijn, worden in een dergelijk oriënteringsschema expliciet geïntegreerd. Vooralsnog is de aanname dat daarbij voor alle drie de vraagsoorten kan worden uitgegaan van bijna hetzelfde oriënteringsschema met op een enkel onderdeel vraagsoortspecifieke verschillen (Kramers-Pals, 1994). Het oriënteringsschema is vormgegeven in de vorm van een *oriënterende kaart* waarop een “Systematische Probleem Aanpak (SPA)” voor scheikundig probleemoplossen staat aangegeven. Deze *oriënterende kaart* voor verklarings- en berekeningsvragen staat weergegeven in figuur 1.

Als oriënteringsschema voor de *betrekkingen* is als integraal onderdeel van de SPA-kaart – aansluitend bij de punten 6 en 7 in fase 2 in figuur 1 – een apart schema van kernbetrekkingen, een zogenaamde kernbetrekkingenkaart (KB-kaart), toegevoegd. ‘Kernbetrekkingen’ zijn betrekkingen die voor de betreffende groep leerlingen naar het oordeel van de docent een optimaal uitgangspunt vormen voor het (leren) oplossen van de verzameling problemen in het perspectief van de doelstellingen van het betreffende onderwijs. Een voorbeeld van enkele kwantitatieve kernbetrekkingen voor formule- en berekeningsvragen staat weergegeven in figuur 2.

Bij wijze van contrast staat in figuur 3 een voorbeeld van een deel van een kwalitatieve kernbetrekkingenkaart – gekoppeld aan punt 7 in fase 2 van de SPA voor verklaringsvragen (zie figuur 1) – die voor een bepaalde verklaringsvraag kunnen worden gebruikt.

Hoeveelheden			Relaties tussen grootheden
Symbol	Grotheid	Veel gebruikte eenheid	Systeem als geheel
m	massa	kg, g, mg	$\rho_{\text{systeem}} = m_{\text{systeem}} / V_{\text{systeem}}$ $V_B = (RT / p_B) \times n_B$ (alleen geldig wanneer B een ideaal gas is)
n_B	hoeveelheid van stof B	mol, mmol, kmol	
N_B	aantal deeltjes van B	(dimensieloos)	
L	constante van Avogadro	mol^{-1}	
M_B	molare massa van B	$\text{g} \cdot \text{mol}^{-1} = \text{mg} \cdot \text{mmol}^{-1}$	Alleen B
V	volume	L (dm^3); mL ($=\text{cm}^3$)	$M_B = m_B / n_B$
ρ	dichtheid	$\text{kg} \cdot \text{L}^{-1} = \text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$	$L = N_B / n_B$
c_B	concentratie van stof B	$\text{mol B} \cdot \text{L}^{-1} = \text{mmol B} \cdot \text{mL}^{-1}$	B als onderdeel van het systeem
ρ_B	massaconcentratie van stof B	$\text{g B} \cdot \text{L}^{-1} = \text{mg B} \cdot \text{mL}^{-1}$	Massafractie B:
w_B	massafractie van B	(dimensieloos)	$w_B = m_B / m_{\text{systeem}}$
R	gasconstante	$\text{J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $\text{dm}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$	Behoudswetten, bijvoorbeeld $m_{1(B)} = m_{2(B)}$ $\Pi_{1(B)} = \Pi_{2(B)}$ (geldt wanneer B in toestand 1 verder verdund wordt naar toestand 2 en geen reactie optreedt)
Numerieke waarde van constanten $L: 6,02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ $R: 8,31 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} = 8,20 \times 10^{-2} \text{ dm}^3 \cdot \text{atm} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ $(RT / p_B) = 22,4 \text{ dm}^3 \cdot \text{mol}^{-1}$ voor: $T = 273 \text{ K}$ $p_B = p_0 = 1 \text{ atm} = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$			Definities van concentratie en massa-concentratie van een opgeloste stof B $\rho_B = m_B / V_{\text{systeem}}$ $c_B = n_B / V_{\text{systeem}}$
			De reactievergelijking geeft het verband tussen de hoeveelheden stoffen bij een reactie: $n_B = \frac{\text{coëfficiënt van B}}{\text{coëfficiënt van A}} \times n_A$

Figuur 2. Een kwantitatieve kernbetrekkingenkaart (KB-kaart) voor algemene chemie (MBO) voor formule- en berekeningsvragen; de kernbetrekkingen staan in de rechterkolom (Kramers-Pals, Lambrechts, & Wolff, 1983, 275).

6.	Vraag: Hoe hangt de oplosbaarheid samen met de aard van de intermoleculaire binding?
6.1.	Verschillende apolaire moleculaire stoffen lossen goed in elkaar op ("soort zoekt soort").
6.2.	Verschillende stoffen met overwegend waterstofbrugbinding tussen de moleculen lossen goed in elkaar op ("soort zoekt soort").
6.3.	Apolaire stoffen en stoffen met overwegend waterstofbrugbinding tussen de moleculen lossen slecht in elkaar op.
6.4.	In andere gevallen moet je nagaan of bij de vorming van bindingen in een oplossing de GEVORMDE intermoleculaire bindingen ongeveer even sterk zijn als de VERBROKEN bindingen in het oplosmiddel en de stof die opgelost moet worden. Als dat het geval is, zal de stof oplossen, anders niet.

Figuur 3. Voorbeeld van een deel van een kwalitatieve Kernbetrekkingenkaart voor een bepaalde verklaringsvraag op het gebied van 'binding en eigenschappen'.

Aansluitend op de SPA-kaart weergegeven in figuur 1 is er als leerhulpmiddel ook een SPA-werkblad ontworpen die als een soort van verkorte oriënterende kaart tijdens het probleemoplossen kan worden gebruikt om de probleemoplossing uit te werken. Tevens zijn er *modeluitwerkingen* van problemen op SPA-werkbladen beschikbaar. In bijlage 1 staat een dergelijk SPA-werkblad met een daarop geschreven modeluitwerking weergegeven.

Verschillende cursussen die bovengenoemde SPA-leerhulpmiddelen gebruikten, zijn eerder op effectiviteit geëvalueerd: thermodynamica op wo-niveau (Mettes, Pilot, Roossink, Kramers-Pals, 1980a en 1980b; Mettes, Pilot & Roossink 1981), natuurkunde op wo-niveau (Van Weeren et al., 1982; Van Weeren & Staal, 1986), en natuurkunde en wiskunde op zowel het wo-niveau als op het niveau van de bovenbouw van het vo (Roossink, 1990). In deze cursussen werden *berekenings- en formulevragen* onderzocht waarin in een

gegeven situatie een onbekende nader moet worden gespecificeerd. De resultaten van deze onderzoeken met een SPA-benadering zijn ook toegepast bij het leren aanpakken van *ontwerp vragen* in de bestuurskunde (Terlouw, 1987; Terlouw & Pilot, 1989, 1990), en de informatica (Van Merriënboer, 1997). De algemene conclusie die uit deze studies kan worden getrokken is dat de SPA-leerhulpmiddelen effectief waren: er werden gemiddeld hogere scores op tentamens, e.d. gehaald dan de controlegroepen die niet met dergelijke leerhulpmiddelen werkten.

De resultaten in de tachtiger en negentiger jaren sluiten aan bij een overzichtsstudie van Taconis et al. (2001) waarin 44 experimentele studies werden geanalyseerd op de mate van effectiviteit van onderwijsstrategieën voor het leren oplossen van science problemen. Zij concluderen:

Important prerequisites for the acquisition of problem solving skills were found to be providing the learners with guidelines and criteria they can use in judging their own problem solving process and products, and providing immediate feedback to them. (Taconis et al., 2001, 463).

Wij beschouwen een oriënteringsschema in de vorm van een oriënteringskaart met een vakspecifieke SPA als een vakdidactisch leerhulpmiddel om lerenden "guidelines and criteria" te geven voor het verwerven van een complexe probleemoplosvaardigheid. Een dergelijke SPA verschaft leerlingen een leidraad voor het oriënteren op, het oefenen met, en toetsen van het probleemoplossingsproces, en verschaft daarmee ook criteria om het eigen probleemoplossingsproces te sturen en de daaruit resulterende producten te beoordelen. Verschillende onderzoekers (Mettes & Pilot, 1980; Terlouw, 1987; Kramers-Pals, 1994) laten op basis van een analyse van hardopdenkprotocollen zien dat leerlingen en studenten op een dergelijke wijze een SPA gebruiken.

Gelet op het cruciale belang van een correct gebruik van het oriënteringsschema heeft het vanuit docentperspectief grote voordelen het leerproces in de les zelf in de hand te houden, en goed erop toe te zien dat de oriëntatie op de probleemaanpak en de daarin geïntegreerde kernbetrekkingen (KB) adequaat wordt gerealiseerd. De complexiteit van de problemen en het oplossingsproces rechtvaardigen ook een dergelijke precieze docentenaandacht. In dit verband moet ook zorgvuldig – uitgaande van de hiervoor besproken stapsgewijze procedure - worden omgegaan met de inzet van leerhulpmiddelen als een SPA-kaart (de oriënteringskaart), de daaraan gekoppelde KB-kaart, de SPA-werkbladen, en de SPA-modeluitwerkingen die een leerling met name in de gematerialiseerde fase en verbaliseringsfase kunnen ondersteunen bij het oplossingsproces. In deze benadering wordt sterk de nadruk gelegd op een zo volledige mogelijke "oriëntatie-vooraf" op de probleemaanpak en de kernbetrekkingen. Een nadeel kan zijn dat er van een leerling te weinig zelfstandigheid wordt gevraagd, en dat daardoor het leerproces onnodig wordt opgehouden en zelfs kan stagneren. De motivatie kan hier ernstig onder leiden. Een nadeel kan voorts zijn dat leerlingen met een wat meer holistische leerstijl niet worden aangesproken met een analytische aanpak aan de hand van SPA- en KB-kaart en SPA-werkbladen; zij zullen er eerder hinder van ondervinden dan erdoor worden geholpen.

Behalve het probleem van de motiefvorming toonde onderzoek (Terlouw, 1987) aan dat een zo volledig mogelijke oriëntatie-vooraf voor een complex probleem niet goed mogelijk is. Dit leidde tot een alternatieve benadering: er

wordt uitgegaan van een noodzakelijkerwijs onvolledige “startoriëntatie-vooraf” waarmee een eerste oefening in het oplossen van een probleem plaatsvindt. Op basis van de oefenervaringen wordt deze start-oriëntatie al doende verder ontwikkeld, zowel in de breedte (meer SPA-handelingen en kernbetrekkingen) als in de diepte (een hoger abstractieniveau, een grotere bruikbaarheid) tot een meer volledige oriëntatie. In deze benadering is er sprake van “oriëntatie-achteraf” op basis van het oefenen (Terlouw, 1987).

Het hiervoor genoemde citaat van Taconis e.a. (2001) over het belang van onmiddellijke feedback kan bij deze “oriëntatie-achteraf” benadering goed aansluiten. In de eerste plaats benadrukt de activiteit “oefenen met een directe terugkoppeling” meer een actieve rol van de leerling met als voordeel dat dit de motivatie kan verhogen. In de tweede plaats kan de leerling aan de hand van een SPA direct terugkoppeling krijgen op het verloop van het oplossingsproces en de daaruit resulterende producten. Er is dan met name sprake van “oriëntatie-achteraf” op de probleemaanpak waarbij de probleemaanpak als kader met oriëntatiepunten wordt gebruikt dat, zoals gezegd, zich al doende kan verbreden en verdiepen: een zich ontwikkelend oriënteringsschema. Mits er in de terugkoppeling-op-maat wordt ingespeeld op de gemaakte fouten kan het voorts een voordeel zijn dat een zelfstandige ontwikkeling van de probleemoplosvaardigheid beter verloopt. Een nadeel kan zijn dat er te veel zelfstandigheid van leerlingen wordt gevraagd waardoor het leerproces stagneert hetgeen tot motivatieproblemen kan leiden.

Uitgaande van de hiervoor beschreven onderwijsfuncties zijn er derhalve tenminste drie inhoudelijk verschillende scenario's mogelijk:

1. een scenario waarin, na een motiefoproepende introductie van de Systematische Probleem Aanpak (SPA) en de daarin geïntegreerde kernbetrekkingen (KB), er klassikale instructie wordt gegeven aangaande de SPA / KB. Het klassikaal vooraf oriënteren op de SPA en de KB, onder gebruikmaking van de papieren SPA- en KB-kaart, de SPA-werkbladen, en uitwerkingen van problemen op SPA-werkbladen, staat centraal. Daarna wordt er met problemen geoefend aan de hand van een papieren SPA- en KB-kaart en SPA-werkbladen waarbij een docent rondgaat in de klas en terugkoppeling geeft. Tot slot vindt toetsing plaats. We zullen dit scenario in het onderzoek met de conditie ‘SPA-KLAS’ aanduiden;
2. een scenario waarin na een motiefoproepende introductie van de SPA / KB er niet eerst uitgebreid wordt ingegaan op de SPA en de KB, maar waarin de SPA en de KB worden geïntegreerd in de onderwijsfunctie ‘oefenen’. De SPA heeft hier de functie van een kader met oriëntatiepunten om het ‘oriënteren-achteraf’ te realiseren. Aanvullend zal ook hier de docent rondgaan en terugkoppeling geven, zij het dat hij / zij vooral zal bevorderen dat de SPA als oriënteringsschema-achteraf wordt gebruikt. Tot slot vindt ook hier toetsing plaats. Er zal later blijken (en worden toegelicht) dat de SPA in een programma voor computer ondersteund onderwijs (COO) wordt geïntegreerd, en we zullen dit scenario in het onderzoek dan ook met de conditie ‘SPA-COO’ aanduiden.
3. een scenario waarin een docent alléén de theorie aan de hand van formules, de betrekkingen, uitlegt aan de leerlingen waarbij niet expliciet wordt ingegaan op of een koppeling wordt gelegd met een systematische probleemaanpak. Vervolgens laat de docent de leerlingen oefenen met vraagstukken waarbij hij/zij rondgaat in de klas om terugkoppeling te ge-

ven; echter, zonder dat óók in deze terugkoppeling expliciet aandacht is voor een systematische probleemaanpak. Tenslotte vindt er een afsluitende toetsing plaats. Dit is een scenario dat veelal in de klas wordt gebruikt. In het onderzoek zullen we dit scenario met de (controle-)conditie 'KLASSIEK' aanduiden.

Deze twee eerste scenario's – SPA-KLAS en SPA-COO – zijn twee mogelijke vormgevingen van de (vak)didactische interventie die beogen leerlingen in de bovenbouw van het vwo te helpen bij het de baas worden van de moeilijkheden met scheikundig probleemoplossen. Wij vermoeden dat deze scenario's tot betere vwo-eindexamenresultaten zullen leiden dan het scenario KLASSIEK om vwo-leerlingen scheikundig probleemoplossen te leren. Deze beschouwing over de drie alternatieve scenario's leidt tot de vragenstellingen van het onderzoek.

Vragenstellingen

1. Worden de drie onderscheiden scenario's gerealiseerd zoals bedoeld in de ontworpen onderwijssituatie, m.a.w. worden de onderwijsfuncties gerealiseerd zoals gepland?
2. Leidt een 'SPA-KLAS'scenario met in de kern een SPA-instructie-vooraf voor het leren scheikundig probleemoplossen tot betere scheikunde-eindexamenresultaten, uitgesplitst naar de verschillende vraagtypen, dan een scenario KLASSIEK, de controle-conditie?
3. Leidt een 'SPA-COO'scenario met in de kern een in het oefenen geïntegreerde SPA voor het leren scheikundig probleemoplossen tot betere scheikunde-eindexamenresultaten, uitgesplitst naar de verschillende vraagtypen, dan een scenario KLASSIEK, de controle-conditie?
4. Welke van de drie scenario's voor het leren scheikundig probleemoplossen op het vwo leidt tot de beste scheikunde-eindexamenresultaten vwo, uitgesplitst naar de verschillende vraagtypen?

Systematische onderwijsontwikkeling uitmondend in onderwijsplannen

Om de vragenstellingen te beantwoorden, dient er eerst een systematische onderwijsontwikkeling plaats te vinden in scholen die daartoe geschikt zijn (Terlouw, 1997; 2000). Er konden zes scholen worden gevonden waarin het mogelijk was de in de vragenstellingen genoemde condities middels systematische onderwijsontwikkeling te realiseren. Hierbij werd uitgegaan van de randvoorwaarden in deze scholen.

Aanvankelijk was sprake van een klassieke onderwijssituatie in alle zes scholen. Op een tweetal scholen heeft op systematische wijze nadere onderwijsontwikkeling plaatsgevonden waarin onderwijsmaatregelen en -voorzieningen zijn gekozen ter realisatie van de verschillende onderwijsfuncties voor het scenario waarin een SPA-instructie-vooraf centraal stond. Hierbij is overwogen in welke mate het nodig was apart te oriënteren op de (kern)betrekkingen. Omdat er sprake was van 6vwo-klassen die in het onderwijs in de voorgaande leerjaren al een oriëntatie hadden gekregen op de betreffende betrekkingen werd geoordeeld dat een aparte extra oriëntatie hierop niet functioneel was, en eerder verwarring en irritatie zouden kunnen veroorzaken. Mede gelet op de beschikbare tijd in de scholen is dan ook besloten deze extra oriëntatie achterwege te laten. Op twee andere scholen bleek het nuttig en mogelijk te zijn een scenario verder te ontwikkelen waarin de SPA

geïntegreerd was in het oefenen. Ook hier leek een oriëntatie op de kernbetrekkingen niet nodig, omdat er ook sprake was van 6vwo-klassen, en de tijd eveneens beperkt was. Ter realisatie van de onderwijsfunctie 'oefenen en terugkoppelen' werd gekozen voor Computer Ondersteund Onderwijs (COO). Eerder onderzoek naar het nut van computerprogramma's voor de ondersteuning van de oefening van complexe berekenings- en formulevragen leerde dat een SPA een bruikbaar hulpmiddel is om het proces van aanpak te structureren (Van Weeren & Staal, 1986; Ten Bruggencate & Staal, 1990). De meerwaarde van de inzet van een COO-programma ten opzichte van een klassieke oefening waarin een docent de terugkoppeling uitvoert, is drieërlei: (a) het COO-programma garandeert dat elke leerling systematisch oefent; (b) het COO-programma maakt het mogelijk dat er – op basis van een specifieke foutenanalyse – directe terugkoppeling op maat aan de hand van de SPA kan worden gegeven. Voor de docent en de leerling kan dit grote tijdswinst opleveren; en (c) het COO-programma maakt het mogelijk dat leerlingen zelfstandig leren probleemoplossen. Op de twee resterende scholen bleef sprake van een klassieke onderwijssituatie.

Voor het overzicht van de gekozen realisaties van alle onderwijsfuncties wordt het begrip "*onderwijsplan*" (Terlouw, 2000) gehanteerd. Een onderwijsplan is een overzicht van de onderwijsmaatregelen en –voorzieningen afgezet tegen de te realiseren onderwijsfuncties, in dit geval, voor het leren oplossen van scheikundeproblemen (eindexamenopgaven) in de bovenbouw.

Er is derhalve sprake van drie onderwijsplannen die wij respectievelijk aanduiden met "Onderwijsplan KLASSIEK", "Onderwijsplan SPA-KLAS", en "Onderwijsplan SPA-COO". In het nu volgende worden deze onderwijsplannen toegelicht:

1. Onderwijsplan KLASSIEK

Een overzicht van het onderwijsplan staat in figuur 4. Er worden *regulier in de klas* de volgende onderwijsmaatregelen en –voorzieningen (Omv) ingezet:

- Omv1 Docent legt de theorie – formules of betrekkingen – uit. Er wordt weliswaar aandacht besteed aan de betrekkingen; echter, niet verbijzonderd tot kernbetrekkingen. De laatste formules zijn expliciet aangeduide en veelal ook genoteerde betrekkingen die optimale uitgangspunten vormen voor de aanpak van een probleem. Het gebruikte schoolboek is niet behulpzaam, omdat daarin dergelijke uitgangspunten niet worden aangegeven (Kramers-Pals, 1994);
- Omv2 Docent laat oefenen met problemen. Meestal betreft dit problemen uit het gebruikte schoolboek;
- Omv3 Terugkoppeling van de docent. Tijdens het oefenen begeleidt de docent en geeft terugkoppeling. Er wordt hierbij geen expliciet aandacht besteed aan een systematische probleemaanpak; en
- Omv4 Toetsing met eindexamenopgaven uit voorgaande jaren.

Onderwijsplan SPA-KLAS

Een overzicht staat in figuur 5. Een toelichting op de ingezette onderwijsmiddelen en -voorzieningen: Er was bij dit onderwijsplan sprake van twee extra ontworpen deel instructies: (a) deel instructie voor een algemene oriëntatie op de SPA, en (b) deel instructie voor een klassikale oriëntatie op drie SPA-heuristieken – "herformuleren", "schatten", en "omwerken" (zie figuur 1, de

Onderwijsfuncties	Onderwijsmaatregelen en voorzieningen (Omv)			
	Omv1	Omv2	Omv3	Omv4
Voorwaardelijke onderwijsfuncties				
1. Motiveren				
2. Aansluiten bij de beginsituatie van de leerling	X			
3. Inzicht geven in de leerdoelen				
Hoofdonderwijsfuncties				
<u>Oriënteren</u>				
4. Ontdekken en verwerven van informatie over:				
- kenniselementen	X			
- probleemaanpak	X			
5. Operationeel maken van:				
- kenniselementen				
- probleemaanpak				
<u>Oefenen</u>				
6. Oefenen met het gebruik van kenniselementen en de probleemaanpak		X		
7. Geven van terugkoppeling			X	
8. Gelegenheid geven tot reflecteren			X	
<u>Toetsen</u>				
9. Nagaan welke leerresultaten zijn bereikt en in welke mate deze overeen komen met de norm				X
Voortzetting van het leerproces			X	

Figuur 4. Het onderwijsplan KLASSIEK: een overzicht van de onderwijsmaatregelen en -voorzieningen afgezet tegen de te realiseren onderwijsfuncties voor het leren oplossen van scheikunde-eindexamenopgaven in de bovenbouw van het vwo in een klassieke onderwijssituatie.

SPA-kaart: fase 1, nr. 3 en 5; en fase 2, nr.7) – die, gelet op de foutenanalyse, een extra oriëntatie behoeft. Zoals aangegeven, werd het voor deze klassen niet nodig geacht een extra oriëntatie te geven op de kenniselementen, in het bijzonder de kernbetrekkingen. Deze kennis werd als bekend verondersteld, en derhalve impliciet meegenomen in de extra oriëntatie op de SPA. De te realiseren onderwijsfuncties met deze twee deel instructies zijn in het onderwijsplan af te lezen. In de *deel instructie voor de algemene SPA-oriëntatie in de klas* worden de volgende vier onderwijsmaatregelen en -voorzieningen ingezet:

Omv1 Whimbey-Lochhead pair-method (Whimbey & Lochhead, 1980). Bij deze methode werken de leerlingen in paren: één van de leerlingen werkt als probleemoplosser, de ander observeert. Na 10 minuten wisselen de rollen. De probleemoplosser denkt hardop en werkt daarbij op een werkblad dat is ingedeeld volgens de hoofdfasen van de SPA (zie bijlage). De observator houdt tijdens het oplosproces in een observatieschema bij in welke hoofdfase van SPA de probleemoplosser werkt;

Onderwijsfuncties	Onderwijsmaatregelen en –voorzieningen (Omv)									
	Algemene SPA-oriëntatie				Specifieke heuristieken-oriëntatie			Regulier in de klas		
	Omv 1	Omv 2	Omv 3	Omv 4	Omv 5	Omv 6	Omv 7	Omv 8	Omv 9	Omv 10
Voorwaardelijke onderwijsfuncties										
1. Motiveren										
2. Aansluiten bij de beginsituatie van de leerling	X	X	X	X						
3. Inzicht geven in de leerdoelen										
Hoofdonderwijsfuncties:										
<u>Oriënteren</u>										
4. Ontdekken en verwerven van informatie over:										
- kenniselementen	X	X	X	X						
- probleemaanpak	X	X	X	X						
5. Operationeel maken van:										
- kenniselementen					X	X	X			
- probleemaanpak					X	X	X			
<u>Oefenen</u>										
6. Oefenen met het gebruik van kennis-elementen en de probleemaanpak								X		
7. Geven van terugkoppeling									X	
8. Gelegenheid geven tot reflecteren									X	
<u>Toetsen</u>										
9. Nagaan welke leerresultaten zijn bereikt en in welke mate deze overeen komen met de norm										X
Voortzetting van het leerproces						X				

Figuur 5. Het onderwijsplan SPA-KLAS: een overzicht van de onderwijsmaatregelen en –voorzieningen afgezet tegen de te realiseren onderwijsfuncties voor het leren oplossen van scheikunde-eindexamenopgaven in de bovenbouw van het vwo in een onderwijspraktijk waarin de SPA klassikaal wordt gebruikt. Zie de tekst voor een toelichting op de ingezette onderwijsmaatregelen en –voorzieningen.

Omv2 Klasediscussie. De klasediscussie is bedoeld voor de verwerking van de ervaringen bij het observeren en het hardopdenkend oplossen van een probleem;

Omv3 SPA-instructie. De docent introduceert de SPA aan de hand van SPA-werkbladen met een uitwerking van de twee problemen die met de Whimbey-Lochhead pair method zijn doorgewerkt; en

Omv4 SPA-leesstuk. Er werd na de hiervoor genoemde punten 1 t/m 3 een leesstuk uitgereikt waarin SPA wordt uitgelegd en aan de hand van voorbeelden wordt geïllustreerd (zie Kramers-Pals, 1994, bijlage 5.1.). De algemene SPA-oriëntatie staat hierin samenvattend weergegeven, en kunnen leerlingen in het verdere proces gebruiken.

De totale tijdsomvang van deel instructie 1 is een lesuur. In de *deel instructie voor een specifieke SPA-heuristiekenoriëntatie in de klas* worden voor elk van de drie heuristieken de volgende drie onderwijsmaatregelen en -voorzieningen ingezet:

Omv5 Whimbey-Lochhead pair method: zie hiervoor onder punt 1;

Omv6 Individueel werk, gevolgd door werk in tweetallen. Hier moest een gezamenlijke oplossing worden geproduceerd. Hierbij wordt met het SPA-hulpmateriaal gewerkt; en

Omv7 Klassediscussie. Deze klassediscussie is bedoeld als afronding van elke behandeling van een heuristiek

De tijdsomvang is een half uur per heuristiek, in totaal dus voor deel instructie 2 anderhalf uur. De drie heuristieken worden in een periode van 2 maanden behandeld aan de hand van de hiervoor genoemde onderwijsmaatregelen en -voorzieningen 5 t/m 7. Daarna worden *regulier in de klas* de volgende onderwijsmaatregelen en -voorzieningen ingezet:

Omv8 Oefenen met problemen waarbij gebruik konden maken van de SPA-kaart, de SPA-werkbladen, en de SPA-modeluitwerkingen;

Omv9 Terugkoppeling van de docent. Tijdens het oefenen begeleidt de docent en geeft terugkoppeling met expliciete aandacht voor de SPA; en

Omv10 Toetsing met eindexamenopgaven uit voorgaande jaren.

3. Onderwijsplan SPA-COO

Een overzicht staat in figuur 6. Een toelichting op de ingezette onderwijsmiddelen en -voorzieningen. Er is sprake van twee extra ontworpen deel instructies: (a) deel instructie voor een algemene oriëntatie op de SPA, en (b) deel instructie voor het gebruik van een COO-SPA. In de *deel instructie voor de algemene SPA-oriëntatie in de klas* werden dezelfde vier onderwijsmiddelen ingezet als in het onderwijsplan hiervoor (zie figuur 5, de nr's 1 t/m 4). Ook hier werd, gelet op de bestaande voorkennis, geen extra oriëntatie gegeven op de kernbetrekkingen, maar werden zij impliciet meegenomen in de algemene SPA-oriëntatie.

In de deel instructie voor de SPA-COO werden de volgende onderwijsmiddelen en -voorzieningen ingezet:

Omv5 Een computerprogramma met de volgende kenmerken:

- a. Aanbod van complexe problemen ontleend aan een scheikunde-eindexamen vwo;
- b. De hoofdfasen van de SPA en de deelstappen daarbinnen die relevant waren voor de betrokken verklaringsvraag (zie figuur 1) dienen als structuur om het proces van aanpak van de problemen te structureren. Zij vormen dan ook het menu van het programma waarmee leerlingen vrij zijn te kiezen met welke fase zij zich zullen bezighouden. Ook hier was, gelet op de verwachte aanwezige voorkennis, geen expliciete aandacht voor de kernbetrekkingen;
- c. Er vindt controle plaats van het antwoord, en, daarop aansluitend, geeft het computerprogramma terugkoppeling en zonodig hulp in elke deelfase van de aanpak van een specifiek verklaringsprobleem. Kortom, er is sprake van hulp op maat voor een bepaalde (deel)fase in het proces van aanpak voor een specifiek verklaringsprobleem. Er wordt hierbij overigens alleen aandacht besteed aan die heuristieken waarvan werd verwacht dat bij toepassing ervan fouten konden worden voorkomen (zie voor een voorbeeld van een analyse van leerlingenfouten, Kramers-Pals, 1994, 91); en
- d. De interactie met de leerlingen tijdens het oplossingsproces gebruikt zowel ja/nee- en meerkeuze-vragen als korte aanvulvragen en grotere open vragen. De leerlingen moeten hun antwoord met

Onderwijsfuncties	Onderwijsmaatregelen en –voorzieningen							
	Algemene SPA-oriëntatie				Deelinstructie SPA-COO			
	Omv 1	Omv 2	Omv 3	Omv 4	Omv 5	Omv 6	Omv 7	Omv 8
Voorwaardelijke onderwijsfuncties								
1. Motiveren								
2. Aansluiten bij de beginsituatie van de leerling	X	X	X	X			X	
3. Inzicht geven in de leerdoelen								
Hoofdonderwijsfuncties:								
<u>Oriënteren</u>								
4. Ontdekkende en verwerven van informatie over:								
- kenniselementen	X	X	X	X				
- probleemaanpak	X	X	X	X				
5. Operationeel maken van:								
- kenniselementen								
- probleemaanpak								
<u>Oefenen</u>								
6. Oefenen met het gebruik van kenniselementen en de probleemaanpak							X	
7. Geven van terugkoppeling					X	X		
8. Gelegenheid geven tot reflecteren								
<u>Toetsen</u>								
9. Nagaan welke leerresultaten zijn bereikt en in welke mate deze overeen komen met de norm								X
Voortzetting van het leerproces					X			

Figuur 6. Het onderwijsplan SPA-COO: een overzicht van de onderwijsmaatregelen en –voorzieningen afgezet tegen de te realiseren onderwijsfuncties voor het leren oplossen van scheikunde-eindexamenopgaven in de bovenbouw van het vwo in een onderwijspraktijk waarin de SPA is geïntegreerd in een COO oefen- en terugkoppelingspro-

behulp van het toetsenbord markeren. Op gesloten vragen gaf het programma terugkoppeling.

Omv6 Docent. De docent gaat rond in de klas die met het computerprogramma werkt, en geeft zondig aanvullende terugkoppeling. Deze terugkoppeling is met name gericht op de SPA-aanpak;

Omv7 Leerlingen controleren zelf hun antwoorden met het officiële antwoordmodel aan de hand waarvan docenten vroeger de examens nagekeken hebben. Computerprogramma's zijn namelijk niet voldoende in staat ingetypte verklaringen van leerlingen te controleren. Tevoren oefenden leerlingen met het gebruik van het antwoordmodel waardoor tevens werd bijgedragen aan het realiseren van de onderwijsfunctie "verkrijgen van inzicht in de leerdoelen", in het bijzonder het vereiste eindniveau;

Omv8 Toetsing met eindexamenopgaven uit voorgaande jaren in COO.

Deze drie systematisch ontwikkelde onderwijsplannen zijn de drie condities van het onderzoek: twee experimentele condities aangeduid met SPA-KLAS (het onderwijsplan in figuur 5) en SPA-COO (het onderwijsplan in figuur 6), en één controle conditie aangeduid met KLASSIEK (het onderwijsplan in figuur 4)

Tabel 2. Overzicht per conditie van het aantal scholen, clusters, docenten, en leerlingen uitgesplitst naar jongens en meisjes.

	SPA-KLAS	SPA-COO	KLASSIEK
Aantal scholen	2	2	2
Aantal clusters	5	3	4
Aantal docenten	4	3	4
Aantal leerlingen	96	44	79
Aantal meisjes	36	13	26
Aantal jongens	60	29	53

3. Methode

Proefpersonen

Aan het onderzoek namen 219 leerlingen in vwo 6 van zes verschillende scholen in Twente en Salland deel (tabel 2). De condities werden door middel van systematische onderwijsontwikkeling gerealiseerd in de scholen waar dit in de betreffende schoolsituatie mogelijk was. Er is derhalve geen sprake van een random toewijzing van de condities aan scholen, clusters binnen scholen of docenten. Er is gewerkt met bestaande groepen en daaraan verbonden docenten in de betreffende scholen.

Onderwijsmateriaal

De eerste experimentele conditie: het onderwijsplan SPA-KLAS

Voor de inleidende oriëntatie op SPA waren de materialen:

- Instructie Whimbey-Lochhead methode,
- Observatieformulier,
- Drie opgaven: “konijn”, “tentamencijfer”, en “brommer”, genoemd naar de context van de opgave. Elke opgave was afgedrukt op een werkblad met een horizontale onderverdeling met daarin de SPA-trefwoorden “lezen”, “plan”, “omwerking”, en “uitwerking”,
- Uitwerkingen van de hiervoor genoemde drie opgaven op een SPA-werkblad,
- Leesstuk met uitleg over de SPA, en
- Draaiboek voor docenten voor de inleidende oriëntatie op de SPA.

Voor de oriëntatie op de drie heuristieken waren de materialen:

- opgavebladen met daarop vragen uit examens van voorgaande jaren, en wel:
- Voor de heuristiek “herformuleren” examenopgaven uit 1984 (1a), 1983 (2a), 1987 (1a en 1b),
- Voor de heuristiek “schatten” examenopgaven uit 1977 (3a en 3b), 1987 (1c), en
- Voor de heuristiek “omwerken” examenopgaven uit 1982 (2a t/m 2d),
- SPA-werkbladen,
- Voor de training van de docenten waren er uittreksels van leerlingenuitwerkingen van de hiervoor genoemde opgaven, en
- Draaiboek voor docenten voor elke heuristiek.

De tweede experimentele conditie: het onderwijsplan SPA-COO

Voor de inleidende oriëntatie op SPA waren de materialen dezelfde als hiervoor; zie aldaar.

- Een computerprogramma (Kramers-Pals, 1994) ontwikkeld in de auteursomgeving TAIGA waarin het oefenproces voor het oplossen van eindexamenopgaven door SPA was gefaseerd. Leerlingen gebruikte het programma als ondersteuning bij de aanpak van de daarin opgenomen vier opgaven (onderverdeeld in totaal 22 vragen). Deze vier opgaven betroffen eindexamenopgaven uit 1983 (3), 1984 (4), 1987 (3 en 4). De belangrijkste fasen van de SPA werden gebruikt als structuur voor het menu, waardoor het voor leerlingen mogelijk was in elke gewenste SPA-fase ondersteuning te krijgen,
- De hiervoor genoemde opgaven waren voor de leerlingen ook op papier beschikbaar,
- De docenten beschikten over uitwerkingen op SPA-werkbladen van de 22 vragen waarin de 4 opgaven waren onderverdeeld,
- Het officiële scoringsschema (antwoordmodel) dat de leerlingen gebruikten om hun uitwerkingen te controleren,
- Uitwerkingen van problemen om leerlingen te leren werken met het antwoordmodel in de training, en
- Draaiboek voor docenten ter begeleiding van de drie computerlessen

De controle conditie: het onderwijsplan KLASSIEK

- Eigen schoolboek scheikunde
- Eindexamenopgaven zoals hiervoor aangegeven in de eerste experimentele conditie SPA-KLAS.

Instrumenten

Voor de controle op vergelijkbaarheid van de groepen in de verschillende condities werden de volgende instrumenten gebruikt:

1. Ingangstoets en overgangscijfer; een 1 uur durende intreetoets waarmee het niveau van de chemische beginkennis gemeten werd, en de overgangscijfers van vwo 5 naar vwo 6,
2. Differentiële aanlegtest: de differentiële aanlegtest (Evers & Lucassen, 1984) waarmee de verbale intelligentie gemeten werd. Immers, het verbale aspect speelt in het theoretisch raamwerk van Gal'perin een belangrijke rol bij het verwerven van de probleemoplosvaardigheden.

Voor het beantwoorden van de onderzoeksvraag aangaande de mate waarin de onderwijsfuncties zijn gerealiseerd werd van een beperkt aantal cruciale onderwijsmaatregelen en -voorzieningen nagegaan in welke mate de onderwijsfuncties waren gerealiseerd. Daarvoor werden de volgende instrumenten gebruikt:

3. Vragenlijst: De vragenlijst bestaat uit een algemeen deel en een deel voor de condities SPA-KLAS en SPA-COO. Het gaat hier met name om de vragen aan de hand waarvan werd nagegaan of het uitgereikte leesstuk over de SPA met de voorbeelden de algemene oriënterende onderwijsfunctie realiseerde. Het gaat hierbij om aspecten als de mate van doorwerken van het leesstuk, van duidelijkheid, interessant zijn, en van belangrijkheid. Leerlingen geven een oordeel op een vierpuntsschaal.

4. Observatieformulieren: De observatieformulieren die de leerlingen invulden bij het observeren van het probleemoplossen door een medeleerling tijdens de oriënterende instructie over SPA – de Whimbey-Lochhead pair-method (Whimbey & Lochhead, 1980); zie voor een toelichting de tekst horend bij het onderwijsplan in figuur 5 - werden na afloop ingenomen. Deze formulieren geven informatie over de realisatie van de algemene SPA-oriëntatie, omdat de leerlingen per opgave aangaven hoeveel tijd ze besteedden aan een bepaalde SPA-fase.
5. Tijdmetering via de computer: Leerlingen werkten met een eigen diskette waardoor kon worden nagegaan hoeveel tijd paren leerlingen aan het doorwerken van het computerprogramma besteedden. Hiermee kan de realisatie van de betreffende onderwijsfunctie (oefenen en terugkoppelen) worden nagegaan.
6. Docenten-logboek en nagesprek: Docenten van de groepen in de conditie SPA-KLAS werd gevraagd een logboek in te vullen voor de reguliere activiteiten in de klas ná de twee specifieke SPA-deelinstructies (zie het onderwijsplan in figuur 5). Tevens vond er na afloop van het eindexamen een afsluitend gesprek plaats. Er werd nagegaan of de betreffende onderwijsfuncties werden gerealiseerd.

Voor het beantwoorden van de drie onderzoeksvragen naar de effecten van de verschillende scenario's werden de volgende instrumenten gebruikt

7. Het centrale eindexamen vwo-scheikunde van 1990 werd gebruikt om de effecten te meten. Het eindexamen bestond uit 23 vragen verdeeld over 5 opgaven. Twee docenten keken volgens een vaste procedure aan de hand van een nakijkschema de uitwerkingen na. Voor elke uitwerkingsstap is gespecificeerd op grond van welke criteria hoeveel punten moet worden toegekend; de maximum score is 90 punten. Het examen bestond uit drie vraagtypen: berekeningsvragen, formulevragen, en verklaringsvragen.

Procedure

Alle leerlingen deden in het begin van het schooljaar in de maand oktober de ingangstoets om het niveau van de op dat moment bestaande chemische kennis te bepalen. Vervolgens werden de scholen en klassen verdeeld over de conditie SPA-KLAS, de conditie SPA-COO, en de controleconditie KLASSIEK. Er was geen sprake van een random toewijzing van de condities, omdat de praktische omstandigheden in de scholen dat niet toestonden. De procedures voor de twee experimentele condities werden gereguleerd aan de hand van docentendraaiboeken (Kramers-Pals & Jansen, 1992). De training van de docenten vond eind oktober plaats en duurde drie uur. Eerst werkten de docenten het leerlingmateriaal voor de oriënterende instructie op SPA door op de wijze zoals die voor leerlingen was gepland. Vervolgens werd geoefend met het geven van terugkoppeling op de probleemaanpak met behulp van enkele leerlinguitwerkingen die tijdens het ontwikkelingswerk waren verzameld.

De *introducties* – de deelinstructie voor de algemene SPA-oriëntatie – was dezelfde voor de conditie SPA-KLAS en de conditie SPA-COO, zoals valt te zien in de figuren 5 en 6. Deze les had tot doel om een bijdrage te leveren tot de onderwijsfuncties 'aansluiten bij de beginsituatie' en 'ontdekken en verwerven van een probleemaanpak'; dit zijn de onderwijsfuncties 2 en 4 in figuren 5 en 6. De voornaamste instructiecomponent was de Whimbey-

Lochhead paarmethode (1980) die werd gevolgd door een klassediscussie voor de verwerking van de ervaringen die de leerlingen hadden opgedaan bij het hardopdenkend oplossen van een probleem en de observatie van een medeleerling daarbij. Vervolgens werd bij wijze van samenvatting het leesstuk met uitleg over SPA uitgereikt en kort toegelicht. Voor een uitgebreide beschrijving van het instructiemateriaal wordt verwezen naar Kramers-Pals en Jansen (1992).

In de *conditie SPA-KLAS* gaf de docent verspreid over een periode van 2 maanden (in totaal 150 minuten) lessen of delen van lessen, met de volgende componenten (de deel instructie voor de oriëntatie op de drie SPA-heuristieken; zie figuur 5):

1. oriëntatie op de heuristieken 'herformuleren', 'schatten' en 'omwerken', dit op basis van het draaiboek (elke oriëntatie is 30 minuten)
2. oefenen in tweetallen met eindexamenopgaven; de docent geeft hierbij terugkoppeling op basis van de SPA
3. een afsluitende klassendiscussie over de SPA-ervaringen.

In de stapsgewijze procedure betreft component 1 de fase van de oriëntatie. De componenten 2 en 3 betreffen de fasen van materialisering en verbalisering.

Elke docent zou de drie lessen over de heuristieken inpassen bij de behandeling van chemisch vakinhouden waarbij de betrokken heuristiek functioneel zou zijn voor het oplossen van oefenvragen, en er ook later bij nieuwe stof op de heuristiek zou worden teruggekomen. Deze serie van in totaal vier lessen (de introductieles meegerekend) vond plaats in de maanden november en december. De docenten is gevraagd om in een logboek bij te houden of en zo ja, hoe ze verder in hun lessen aandacht aan SPA hebben besteed.

In de *conditie SPA-COO* waren er na de introductieles drie lessen verspreid over een periode van 2 maanden (elke les 50 minuten, in totaal 150 minuten) met de volgende componenten (zie de deel instructie voor SPA-COO in figuur 6):

1. oefenen met het COO-programma
2. de docent geeft additionele terugkoppeling tijdens het oefenen
3. de leerlingen controleren zichzelf aan de hand van het officiële antwoordmodel voor de uitwerking van de eindexamenvraag.

De stapsgewijze procedure betrof alle componenten van de fasen van materialisering en verbalisering.

Bij één van de twee scholen in deze conditie gaven de docenten geen additionele terugkoppeling, omdat ze het computerprogramma tegelijk met hun leerlingen doorwerkten. Op de andere school in deze conditie begeleidde de docent wel actief. Op beide scholen was het mogelijk om in het computerlokaal te werken buiten de lessen om. Veel leerlingen die het programma niet in drie uur afkregen hebben hiervan gebruik gemaakt.

In de *controle-conditie KLASSIEK* is de docenten gevraagd om op hun normale manier les te geven en de leerlingen voor te bereiden op het eindexamen. Dat hield het volgende in (zie het onderwijsplan in figuur 4):

1. De docent legt de theorie uit die relevant is voor het oplossen van eindexamenvragen
2. De docent geeft gelegenheid geven om individueel te oefenen met eindexamenvragen van voorgaande jaren

3. De docent geeft terugkoppeling tijdens en na afloop van het oefenen met eindexamenvragen van voorgaande jaren.

Verwerking van de data

Om de vergelijkbaarheid van de groepen te controleren zal met een variantie-analyse worden nagegaan of er significante verschillen zijn tussen de gemiddelde scores van de groepen op de ingangstoets 'chemische kennis', het overgangscijfer, en de DAT-test (DAT '83), de differentiële aanlegtest waarmee de verbale intelligentie werd gemeten. De nul-hypothese is dat er geen verschillen zijn (significantieniveau 5%).

Bij de verzamelde informatie aangaande de vraagstelling over de realisatie van de onderwijsfuncties is sprake van rechte tellingen en percentages bij de vragenlijst, de observatieformulieren, en de tijdmeting per computer. Er worden evaluatienormen gehanteerd. De betreffende onderwijsfunctie is gerealiseerd – en er hoeven dus geen nadere maatregelen voor verbetering te worden getroffen – als de gemiddelde score op de vierpuntsschaal van de vragenlijst groter dan wel kleiner is dan 2,5, afhankelijk van de formulering van de vraag. Voor het observatieformulier geldt dat er sprake is van onderwijsfunctierealisatie als een SPA-fase op niet meer dan 10% van de observatieformulieren ontbreekt. Voorts moet de geplande tijd voor de opgaven (10 minuten) ook worden besteed.

De meer kwalitatieve informatie die met het logboek en het nagesprek verzameld is wordt samengevat.

De verzamelde informatie met het centraal schriftelijk examen betreft de drie overige vraagstellingen. De gemeenschappelijke kernvraag is of er significante verschillen zijn tussen de drie condities met betrekking tot de gemiddelde deelscores van de drie onderscheiden vraagtypen – berekeningsvragen, formulevragen, en verklaringsvragen – en de gemiddelde totaalscore op de totale toets over alle vraagtypen. Er wordt een aantal gelijktijdige toetsingen uitgevoerd. Derhalve is gebruik gemaakt van de Bonferroni-toets om hiermee rekening te houden (significantieniveau 5%). De toepasbaarheid van de Bonferronitoets is vooraf getoetst met behulp van Levene's test (significantieniveau 5%).

4. Resultaten

Achtereenvolgens komen de volgende onderdelen aan de orde: de vergelijkbaarheid van de groepen, de mate van realisatie van de onderwijsfuncties, en de effectiviteit van de drie onderwijsplannen voor het scheikundig probleemoplossen in eindexamenopgaven.

Vergelijkbaarheid van de groepen

Met het oog op de controle van de vergelijkbaarheid tussen de groepen in de verschillende condities werden aan het begin van het schooljaar drie soorten van meetgegevens verzameld: (a) een 1 uur durende intreetoets waarmee het niveau van de chemische beginkennis gemeten werd, (b) de overgangscijfers van vwo 5 naar vwo 6, en (c) de differentiële aanlegtest (DAT '83) waarmee de verbale intelligentie gemeten werd. De resultaten van deze beginmetingen staan weergegeven in tabel 3.

Een variantieanalyse maakte duidelijk dat er geen significante verschillen bestonden tussen de SPA-KLAS conditie en de controleconditie KLASSIEK,

$F(1,171) = 1,18$, $p > 0,05$, en de SPA-COO-conditie en de controleconditie KLASSIEK, $F(1,119) = 2,75$, $p > 0,05$. De betrouwbaarheid van de intreetoets was 0,6 (Cronbach's α). Een verdere inspectie van tabel 3 leert dat er ook geen significante verschillen zijn (te verwachten) tussen de condities aangaande de andere tests. De conclusie is dat de groepen vergelijkbaar zijn. Wel zij opgemerkt dat, gegeven de betrouwbaarheid van de intreetoets, de kans dat eventuele verschillen worden opgemerkt klein is.

De mate van realisatie van de onderwijsfuncties

We gaan achtereenvolgens in op de algemene SPA-oriëntatie, de specifieke SPA-oriëntatie per heuristiek en het oefenen en terugkoppelen per COO in de twee experimentele condities.

Algemene SPA-oriëntatie

In tabel 4 staat op basis van de vragenlijst een overzicht van de oordelen van de leerlingen over het SPA-leesstuk met de voorbeelden. Zoals gezegd, dit onderwijsmiddel realiseerde de onderwijsfunctie "algemene SPA-oriëntatie" als de gemiddelde score op de vierpuntsschaal groter is dan 2,5 bij "duidelijkheid" en "belangrijkheid" dan wel kleiner is dan 2,5 bij "helemaal doorgewerkt" en "interessant". Tabel 4 laat zien dat het SPA-leesstuk gemiddeld als duidelijk en belangrijk is ervaren; echter, het gemiddeld niet helemaal werd doorgewerkt en het ook niet zo interessant wordt gevonden.

Tabel 3. Gemiddelden voor de drie voorafgaande testen per conditie ter controle van de vergelijkbaarheid van de groepen.

	SPA-KLAS conditie			SPA-COO- conditie			KLASSIEK- conditie		
	M	Sd	n	M	Sd	n	M	Sd	n
1. Ingangstoets	9,7	2,8	96	11,0	3,1	44	10,2	2,7	77
2. Overgangscijfers	6,8	0,9	86	6,5	1,1	42	6,8	0,8	72
3. DAT-test	38,2	7,0	86	37,1	8,5	43	38,5	7,7	73

Tabel 4. Oordelen van leerlingen over het SPA-leesstuk met de voorbeelden (zie figuur 5 en 6) in beide SPA-condities.

	SPA-KLAS (n = 45)		SPA-COO (n = 31)	
	M	SD	M	SD
Helemaal doorgewerkt(1)–Niet bekeken(4)	2,64	0,82	2,67	1,07
Zeer onduidelijk (1) – Zeer duidelijk (4)	3,00	0,71	2,64	0,55
Zeer interessant (1) – Oninteressant (4)	2,63	0,64	2,62	0,56
Onbelangrijk (1) – Belangrijk (4)	2,65	0,82	2,36	0,69

Tabel 5. Oordelen van de leerlingen in de conditie SPA-KLAS (n = 45) over de deelinstucties voor de drie SPA heuristieken en de daarbij ingezette onderwijsmiddelen (zie figuur 5).

	Herformuleren		Schatten		Omwerken	
	M	SD	M	SD	M	SD
Erg leerzaam(1)–Niet leerzaam(4)	2,36	0,91	2,55	0,96	2,20	0,78
Interessant (1) – Oninteressant (4)	2,69	0,81	2,67	0,92	2,53	0,78
Zeer onduidelijk(1)–Zeer duidelijk(4)	2,86	0,76	2,80	0,81	2,87	0,75

Onze conclusie is dat, gelet op de evaluatieve norm, het SPA-leesstuk de onderwijsfunctie "Algemene SPA-oriëntatie" niet heeft gerealiseerd.

In de algemene SPA-oriëntatie werd de Whimbey-Lochhead pair-method (Whimbey & Lochhead, 1980) gebruikt. Op de observatieformulieren moest per opgave de tijd per SPA-fase bijgehouden. Op alle formulieren (n = 71) waren de SPA-fasen "lezen" en "analyse" te vinden. De fase "plan" ontbrak op 15%, "uitwerken" op 3%, en "controle" op 35% van de observatieformulieren. De gemiddelde tijd die werd besteed aan de drie opgaven (ca. 570 seconden; sd = 40–80) wijkt nauwelijks af van de toegestane 600 seconden.

De conclusie is dat, gelet op de evaluatienorm dat op niet meer dan 10% van de observatieformulieren SPA-fasen mogen ontbreken, met dit onderwijsmiddel de onderwijsfunctie "algemene SPA-oriëntatie" slechts ten dele is gerealiseerd. Immers, de SPA-fasen "plan" en "controle" ontbraken op te veel observatieformulieren; wél is er voldoende tijd besteed.

Specifieke SPA-oriëntatie per heuristiek

In tabel 5 staat op basis van de vragenlijst een overzicht van de oordelen van de leerlingen over de specifieke SPA-oriëntatie per heuristiek.

De tabel leert dat, gelet op de gestelde evaluatienorm van 2,5 de specifieke SPA-oriëntaties wel leerzaam en duidelijk worden gevonden, maar niet interessant. De conclusie is dat de specifieke oriëntatiefunctie voor de drie heuristieken wellicht deels, maar waarschijnlijk niet voldoende / geheel is gerealiseerd, omdat het motief waarschijnlijk onvoldoende is opgewekt.

Drie van de vier docenten in de SPA-KLAS conditie hielden geen logboek bij. De vierde docent maakte geen aantekeningen per lesuur, maar gebruikte het als terugblik na het eindexamen waarin overigens op zich positief over het SPA-gebruik werd gerapporteerd.

Uit de nagesprekken met de docenten in de SPA-KLAS conditie over hun ervaringen met de integratie van de oefening met SPA in de reguliere lessen konden de volgende conclusies worden getrokken:

1. Het is moeilijk om een systematische aanpak in de reguliere lessen te integreren. Drie van de vier docenten waren vrijwel niet afgeweken van hun normale lespatroon na de experimentele instructies; de vierde heeft bij de eindexamenvoorbereiding na de paasvacantie met SPA gewerkt;
2. De docententraining zou moeten worden uitgebreid tot drie middagen. Daarbij moet enerzijds aandacht worden besteed aan eigen oefening met een systematische aanpak, zodat relevante aspecten bij voordoen gemakkelijker worden "meegenomen". Anderzijds moet er aandacht worden besteed aan begeleiding van leerlingen die gericht is op het proces van aanpak; en
3. Een systematische aanpak zal beter functioneren als deze door de schoolboeken wordt ondersteund.

Onze conclusie is dat de onderwijsfuncties door de reguliere lessen na de experimentele instructie in de SPA-KLAS conditie niet zijn vervuld.

Het oefenen en terugkoppelen per COO

In tabel 6 staat op basis van de vragenlijst een overzicht van de oordelen van de leerlingen over het oefenen en terugkoppelen per COO. Gelet op het gesteld criterium – de gemiddelde score moet groter of kleiner zijn dan 2,5 (afhankelijk van de formulering van de vraag) – is alléén de dimensie 'prettig' bij

Tabel 6. Oordelen van de leerlingen in de conditie SPA-COO ($n = 31$) over de deelstructuur voor een algemene SPA-oriëntatie en de SPA-COO en de daarbij ingezette onderwijsmaatregelen en -voorzieningen (zie figuur 6).

	<i>M</i>	<i>SD</i>
<i>1. Wat zijn de ervaringen met het maken van opgaven met computerondersteuning?</i>		
Zeer nuttig (1) – niet nuttig (4)	2,16	0,84
Niet prettig (1) – zeer prettig (4)	2,50	0,76
Zeer tijdrovend (1) – tijd efficiënt besteed (4)	1,93	1,03
Heel gemakkelijk (1) – heel moeilijk (4)	2,10	0,60
<i>2. Heb je wat gehad aan de systematische aanpak in de COO-opgaven?</i>		
Erg veel (1) – erg weinig (4)	2,47	0,96
<i>3. Was de manier waarop de opgaven werden aangepakt in COO anders dan je zelf zou doen?</i>		
Heel anders (1) – niet anders (4)	1,90	0,82
<i>4. Was beperking in manier van oplossen als gevolg van ondersteuning door programma storend?</i>		
Zeer storend (1) – niet storend (4)	2,74	0,84
<i>5. Had je een goed overzicht over wat je aan het doen was bij het doorwerken van de COO-opgaven?</i>		
Zeer goed overzicht (1) – geen overzicht (4)	2,35	0,78
<i>6. Hoe werden de vier onderdelen van de systematische aanpak behandeld?</i>		
Analyse: zeer goed (1) – zeer slecht (4)	1,90	0,47
Omwerken: zeer goed (1) – zeer slecht (4)	2,16	0,57
Uitwerken: zeer goed (1) – zeer slecht (4)	1,87	0,81
Evaluatie: zeer goed (1) – zeer slecht (4)	2,17	0,58

Tabel 7. Gemiddelde scores van het centrale eindexamen: de totale scores en de deelscores voor de verschillende probleemtipes per conditie (M = gemiddelde; SD = standaardafwijking. Er is afgerond op één cijfer achter de komma).

	SPA-KLAS		SPA-COO		KLASSIEK		Nationale steekproef		Max. aantal ptn.
	$n = 96$		$n = 44$		$n = 79$		$n = 2255$		
	4 docenten		3 docenten		3 docenten				
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i> **	
Verklaringsvragen	19,2	5,3	20,7	5,0	18,4	5,3	18,5	-	31
Berekeningsvragen	21,8	5,7	23,3	4,5	21,1	5,7	20,0	-	30
Formulevragen	13,7	4,1	14,0	4,5	12,0	4,6	12,0	-	21
Totale toets	58,5	13,5	62,5	12,4	55,0	14,2	54,5	15,5	90

*) Voor een aantal vragen kon het vraagtype niet worden vastgesteld. Deze vragen zijn wel meegenomen in de Totale Toets.

**)De standaardafwijkingen van de verschillende vraagtypen zijn niet beschikbaar voor de nationale steekproef.

de eerste vraag een grensgeval. De conclusie is dan ook dat de onderwijsfunctie 'oefenen en terugkoppelen per COO' is gerealiseerd.

De effectiviteit van drie onderwijsplannen

De gemiddelden en daarbij horende standaardafwijkingen staan per conditie per probleemtype en voor de totale toets weergegeven in tabel 7. Voor de volledigheid zijn ook de gegevens, voor zover bekend, van de nationale steekproef opgenomen.

Er werden verschillende variantieanalyses uitgevoerd waarin voor de vraagtypen de twee experimentele condities SPA-KLAS en SPA-COO afzon-

Tabel 8. Levine's toetsing op de homogeniteit van de variantie in de afhankelijke variabelen, de vraagtypen ($\alpha = 0,05$).

	F	Df1	Df2	Sig.
Verklaringsvragen	0,088	2	216	0,916
Berekeningsvragen	2,203	2	216	0,113
Formulevragen	0,941	2	216	0,392
Totale toets	0,467	2	216	0,628

Tabel 9. Overzicht per afhankelijke variabele van de uitkomsten van de post-hoc multipale vergelijkingen waarbij gebruik is gemaakt van de Bonferroni test (* = significant op 5% niveau).

	Conditie-niveau(I)	Conditie-niveau (J)	Gemiddelde verschil (I-J) ¹	Standaard meetfout	Sig.	95% Betrouwbaarheids-interval	
						L.grens	R.grens
Verklaringsvragen	SPA-KLAS	SPA-COO	- 1,52	0,95	0,34	- 3,82	0,78
	SPA-KLAS	KLASSIEK	0,78	0,80	0,98	- 1,14	2,70
	SPA-COO	KLASSIEK	2,30	0,99	0,06	-0,08	4,68
Berekeningsvragen	SPA-KLAS	SPA-COO	- 1,51	1,00	0,39	- 3,92	0,89
	SPA-KLAS	KLASSIEK	0,64	0,83	1,00	- 1,37	2,65
	SPA-COO	KLASSIEK	2,16	1,03	0,11	-0,33	4,64
Formulevragen	SPA-KLAS	SPA-COO	-0,26	0,79	1,00	- 2,17	1,66
	SPA-KLAS	KLASSIEK	1,75*	0,66	0,03	0,15	3,35
	SPA-COO	KLASSIEK	2,01*	0,82	0,046	0,02	3,99
Totale toets	SPA-KLAS	SPA-COO	- 3,95	2,47	0,33	- 9,89	2,00
	SPA-KLAS	KLASSIEK	3,56	2,06	0,26	- 1,41	8,52
	SPA-COO	KLASSIEK	7,50*	2,55	0,01	1,36	13,65

¹⁾ Voor de volledigheid zij opgemerkt dat SPSS ook vergelijkingen heeft uitgevoerd waarin de condities zijn omgedraaid. Hierbij verandert slechts het teken van het gemiddelde verschil; de andere waarden zijn uiteraard dezelfde.

derlijk werden vergeleken met de controleconditie KLASSIEK. Uit de variantieanalyses SPA-KLAS in vergelijking met KLASSIEK bleek een significant verschil op 5% niveau voor gemiddelde scores op de formule-vragen ($F(1,173) = 7,0$ $p < 0,01$), (net) niet significant waren de verschillen tussen de gemiddelde totaalscores ($F(1,173) = 2,9$ $p = 0,09$), en niet significant waren de verschillen tussen de gemiddelde scores op de verklaringsvragen ($F(1,173) = 0,94$) en berekeningsvragen ($F(1,173) = 0,55$).

Uit de variantieanalyses SPA-COO in vergelijking met KLASSIEK bleken er significante verschillen op 5% niveau tussen gemiddelde totaalscores ($F(1,121) = 8,6$ $p < 0,01$) en de gemiddelde scores voor de formulevragen ($F(1,121) = 5,5$ $p < 0,05$), voor de verklaringsvragen ($F(1,121) = 5,6$ $p < 0,05$), en voor de berekeningsvragen ($F(1,121) = 4,7$ $p < 0,05$).

Er is hier sprake van een aantal gelijktijdige toetsingen. Derhalve is met de meer conservatieve Bonferronitoets nagegaan of er nu ook significante verschillen worden gevonden tussen de drie scenario's uitgesplitst naar de drie

vraagtypen en de totale score. Levine's toetsing op de homogeniteit van de variantie is uitgevoerd ter controle van deze voorwaarde om een Bonferroni-toets uit te voeren. Een overzicht van Levine's toetsing staat in tabel 8. De conclusie luidt dat er geen significante verschillen zijn: de varianties zijn homogeen. Er kan dan gebruik worden gemaakt van de Bonferroni-test die per afhankelijke variabele een vergelijking maakt tussen de verschillende condities; het significantieniveau is 5%.

Een overzicht van de resultaten staat in tabel 9. Significante verschillen ($p < 0,05$) werden gevonden bij de formulevragen en bij de totale toets. Bij de formulevragen scoren zowel de SPA-KLAS-conditie als de SPA-COO-conditie gemiddeld significant hoger dan de controleconditie KLASSIEK ($p < 0,05$). De twee experimentele condities verschillen niet van elkaar bij de formulevragen. Bij de totale toets scoort alleen de SPA-COO-conditie gemiddeld significant hoger dan de controleconditie KLASSIEK. Inspectie van de tabel 9 leert verder dat de SPA-COO-conditie door de bank genomen hoger scoort dan de controleconditie KLASSIEK, al is dat alléén significant bij de formulevragen en de totale toets. Bij de verklaringsvragen is het bijna significant ($p = 0,062$), en ook bij de berekeningsvragen gaat het in dezelfde richting ($p = 0,112$).

5. Conclusies

We zullen per vraagstelling onze conclusies formuleren:

1. Worden de scenario's gerealiseerd zoals bedoeld in de ontworpen onderwijs situatie, m.a.w. worden de onderwijsfuncties gerealiseerd zoals gepland?
 - a. De algemene SPA-oriëntatie is met de ingezette onderwijsmaatregelen en –voorzieningen slechts ten dele gerealiseerd, omdat het SPA-leesstuk (gemiddeld) niet geheel werd doorgewerkt, niet interessant werd gevonden, en de fasen 'plan' en 'controle' op te veel observatieformulieren ontbraken. Wél is voldoende tijd besteed;
 - b. De specifieke SPA-oriëntatie per heuristisch is met de ingezette onderwijsmaatregelen en –voorzieningen zeer waarschijnlijk niet gerealiseerd, omdat enerzijds de leerlingen het wellicht wel leerzaam en duidelijk, maar niet interessant vonden, en anderzijds drie van de vier docenten de systematische aanpak onvoldoende in hun reguliere lessen integreerden; en
 - c. Het oefenen en terugkoppelen per COO waarin de SPA-oriëntatie was geïntegreerd werden met de ingezette onderwijsmaatregelen en –voorzieningen gerealiseerd.
2. Leidt een scenario met in de kern een SPA-instructie vooraf voor het leren scheikundig probleemoplossen tot betere scheikunde-eindexamenresultaten, uitgesplitst naar de verschillende vraagtypen, dan een scenario KLASSIEK? De conclusie is, gelet op tabel 9 (SPA-KLAS versus KLASSIEK), dat er alléén sprake is van betere scheikunde-eindexamenresultaten in het geval van formulevragen.
3. Leidt een scenario met in de kern een in het oefenen geïntegreerde SPA voor het leren scheikundig probleemoplossen tot betere scheikunde-eindexamenresultaten, uitgesplitst naar de verschillende vraagtypen, dan een scenario KLASSIEK? De conclusie is, gelet op tabel 9 (SPA-COO versus KLASSIEK), dat er sprake is van betere scheikunde-eindexamenresultaten in

het geval van formulevragen en de totale toets waarbij het laatste waarschijnlijk uit het eerste te verklaren is.

4. Welke van de drie scenario's voor het leren scheikundig probleemoplossen leidt tot de beste scheikunde-eindexamenresultaten op het vwo, uitgesplitst naar de verschillende vraagtypen? De conclusie is, gelet op tabel 9 en de mate waarin de onderwijsfuncties zijn gerealiseerd (zie conclusie 1 hiervoor), dat hierop nog geen definitief antwoord kan worden gegeven. Wél lijkt de hypothese plausibel dat een scenario met in de kern een in het oefenen geïntegreerde SPA voor het leren scheikundig probleemoplossen tot betere vwo-scheikunde-eindexamenresultaten zal leiden.

6. Discussie

Hoe zijn resultaten te verklaren en kunnen daaruit aanwijzingen worden ontleend om de onderwijsplannen, de implementatie daarvan, en de onderzoeksopzet te verbeteren? We gaan hierna hiërarchisch te werk door allereerst uit te gaan van verklaringen van de eerste orde: het onderwijsleertheoretische raamwerk van Gal'perin. In het verlengde daarvan liggen de verklaringen van de tweede orde, de (vak)didactische verklaringen die bij hun vormgeving in concreet onderwijs uitlopen in verklaringen van de derde orde: de concreet in te zetten onderwijsmaatregelen en -voorzieningen. Aan de hand van de laatste verklaringen wordt concreet het onderwijsplan verbeterd. Aangezien de methodologische opzet ook een verklaring kan zijn voor de resultaten, gaan wij ook daar op in.

Een groep van onderwijsleertheoretische verklaringen – verklaringen van de eerste orde – kunnen wij vinden in de gehanteerde onderwijsleertheorie van Gal'perin:

- a. De fase van de vorming van de leermotivatie in de klassikaal aangeboden SPA lijkt niet goed te zijn verlopen, omdat de leerlingen zowel de algemene als de specifieke oriëntatie op de SPA niet interessant vonden. De op zich aanwezige duidelijkheid en leerzaamheid waren blijkbaar onvoldoende om tot motiefvorming te komen. Blijkbaar zijn de leerlingen in de SPA-COO-conditie meer tot motiefvorming gekomen, omdat het specifiek oefenen en terugkoppelen via COO goed functioneerde;
- b. Er is in de fase van oriëntatie tevoren of achteraf een oriënteringsschema aangeboden dat te onvolledig was om tot een zo volledig mogelijke oriënteringsbasis te komen. In de onderwijsontwikkeling in de concrete scholen is er waarschijnlijk ten onrechte van afgezien de kernbetrekkingen mee te nemen; de aanname dat de eindexamen-kandidaten de extra oriëntatie via een Kernbetrekkingenkaart niet nodig hadden, was onjuist. Hiermee kwam de SPA te veel los te staan van de andere typen van kennis, in het bijzonder de declaratieve kennis aangaande de kernbetrekkingen;
- c. Er was te weinig tijd beschikbaar om op systematische wijze op het mentale niveau te komen. Immers, bij de klassikaal aangeboden SPA bewogen de oefeningen zich met name in de sfeer van verbalisering – het werken in tweetallen – en wellicht enigszins in het verkorten van deze verbalisering bij het latere zelfstandig maken van opgaven. Er is evenwel niet systematisch aan gewerkt. In de SPA-COO-conditie is nauwelijks aandacht besteed aan de verbalisering en daarmee in het verlengde daarvan ook niet aan een systematische wijze om op mentaal niveau te komen.

Een tweede groep van algemene (vak)didactische verklaringen die als tweede orde verklaringen in het verlengde ligt van de hiervoor geformuleerde onderwijsleertheoretische verklaringen, betreft de volgende verklaringen:

- a. In de klassikaal aangeboden SPA zijn de voorwaardelijke onderwijsfunctie 'motiveren' en de hoofdonderwijsfuncties 'oriënteren', in het bijzonder 'het verwerven van kenniselementen en de probleemaanpak', 'oefenen', in het bijzonder 'het laten oefenen met kenniselementen en probleemaanpak', en 'het geven van terugkoppeling' niet gerealiseerd. Zoals aangegeven, gaat het hier om de combinatie van kenniselementen en probleemaanpak waarin het aangeboden oriënteringsschema tekort schoot;
- b. In de SPA-COO-conditie was het impliciete oriënteringsschema-achteraf te onvolledig om tot een zo volledig mogelijke oriënteringsbasis te komen, zij het dat het wel goed gerealiseerde oefenen en terugkoppelen hier veel kon compenseren; en
- c. Er werd waarschijnlijk ten onrechte van uitgegaan dat in grote lijnen voor alle drie vraagtypen een zelfde oriënteringsschema kon worden gehanteerd. Er werd daarmee te weinig aandacht besteed aan de verschillen in oriëntatie op de vraagtypen. Het gehanteerde oriënteringsschema is het meest van toepassing op de formule-vragen waarmee de significante resultaten hiermee wellicht zijn te verklaren.

Indien er een gemeenschappelijk oriënteringsschema wordt gehanteerd voor alle vraagtypen waarin ook aandacht wordt gegeven aan de verschillen tussen vraagtypen, en er een scenario wordt gebruikt waarin de SPA is geïntegreerd in het oefenen – bijvoorbeeld via een COO-programma – verwachten wij significante effecten voor alle vraagtypen.

Een derde groep van (derde orde) verklaringen in termen van in te zetten vakdidactische onderwijsmaatregelen en –voorzieningen in het onderwijsplan, in het verlengde van de hiervoor gegeven verklaringen:

- a. Bij de SPA-KLAS is de oriëntatie beperkt tot één of twee heuristieken per keer (schatten, omwerken e.d.). Het schema als geheel is niet gebruikt. Bij SPA-COO is het oriënteringsschema 'ingedikt' tot het menu waarbij de kans groot is dat leerlingen dat niet eens hebben gebruikt;
- b. Idealiter wordt een oriënterings-schema zowel vooraf als achteraf aangeboden, zij het dat het oriënteringsschema dat vooraf wordt aangereikt vrij globaal en zelfs onvolledig is. Aan de hand van oefening met problemen en met gerichte terugkoppeling aan de hand van specifieke oriënteringspunten wordt het oriënteringsschema nader in de breedte en diepte ontwikkeld (Terlouw, 1987). Om tot oefening- en terugkoppeling-op-maat te komen, ligt het gebruik van een ICT-toepassing voor de hand. In de onderhavige studie werd het oriënteringsschema op geen van beide manieren aangeboden. Er is een selectie uit gemaakt bij de ontwikkeling van het materiaal. Hierbij zij opgemerkt dat het hiervoor genoemde "ideale gebruik" van een oriënteringsschema wellicht een vrome wens is voor als je veel meer tijd tot je beschikking hebt en veel eerder kunt beginnen in het curriculum;
- c. Docenten beschikken niet over voldoende kennis en vaardigheden van de vakdidactiek zoals hierboven aangegeven, waardoor de implementatie faalt. Het is daarom noodzakelijk dat een parallel traject van professionalisering-on-the-job (Terlouw, 2001) wordt opgezet om docenten deze kennis en vaardigheden te laten verwerven. Dit geldt met name voor het scenario

SPA-KLAS. Naarmate een docent in de SPA-COO-variant minder een (aanvullende) rol speelt bij de terugkoppeling, is dit in deze variant minder het geval.

Vanuit methodologisch perspectief is kritiek te leveren op de onderzoeksopzet. Zwakke punten die de onderzoeksresultaten mogelijk hebben beïnvloed zijn de volgende:

- a. De groepen zijn niet random geselecteerd; er werd gebruik gemaakt van die scholen waar, gelet op de randvoorwaarden, een systematische onderwijsontwikkeling mogelijk was.
- b. De drie condities zijn verschillende scenario's waarin een aantal variabelen tegelijk worden veranderd. Bijvoorbeeld: in SPA-COO is t.o.v. SPA-KLAS niet alleen de wijze van SPA-introductie veranderd, maar is er ook nog eens gebruik gemaakt van computers bij de oefening en terugkoppeling. Strikt genomen is dit methodologisch niet zuiver.
- c. Het onderzoek besloeg een behoorlijke tijdsperiode waarin wellicht allerlei ontwikkelingen afbreuk hebben gedaan aan de interne en externe validiteit, al vonden we daarvoor geen evidentie.
- d. Het onderzoek was voor een goede uitvoering van de onafhankelijke variabele sterk afhankelijk van de docenten waarvan wij al eerder aangaven dat zij onvoldoende kennis en vaardigheden hadden om de vakdidactiek te implementeren.

Wij zijn van mening dat hieraan aandacht moet worden geschonken in een volgende onderzoeksrunde; wij verwachten echter niet dat deze zwakke punten de resultaten in belangrijke mate hebben beïnvloed.

Behalve mogelijke verklaringen voor de resultaten kan, zoals reeds aangekondigd, een nadere ontwikkeling van het theoretisch kader wellicht ook aanwijzingen opleveren voor verbeteringen van de onderwijsopzet. Wij denken hier met name aan het begrip 'context' en de daarmee samenhangende 'motiefvorming'. Er is sprake van verschillende opvattingen over het begrip 'context'. We gaan daarom eerst nader in op de context-en-concept benadering die centraal staat in de plannen voor het nieuwe scheikundeprogramma voor het voortgezet onderwijs (Driessen & Mast, 2003). De achterliggende gedachte is dat er in de wereld om ons heen volop contexten zijn voor aantrekkelijk scheikundeonderwijs in de vorm van realistische situaties waarin chemische producten en toepassingen ter oplossing van een probleem worden gebruikt. Het is de bedoeling dat in het nieuwe scheikundeprogramma dergelijke contexten het vertrekpunt vormen bij het verkennen van producten en toepassingen van de chemie. Vervolgens zou er een verdieping moeten plaatsvinden in de richting van twee centrale concepten - het molecuulconcept en het micro/macro-concept - die noodzakelijk zijn voor het begrijpen van (de eigenschappen van) chemische producten en voor inzicht in toepassingen. Kennis van deze concepten is een belangrijk hulpmiddel bij de verkenning van en ontwikkeling van inzicht in het scheikundig domein. In de scheikunde wordt met concepten bedoeld: begrippen, modellen, relaties en wetmatigheden.

In de afgelopen 10 jaar is er in het Nederlandse taalgebied onderwijsontwikkeling en onderzoek uitgevoerd naar het (leren) oplossen van natuurwetenschappelijke en technische problemen waarin 'rijke contexten' in algemene zin (Westbroek et al., 2005), of in de betekenis van de leefwereldkennis of de ervaringswereld van leerlingen, als uitgangspunt werden genomen voor een praktische oriëntatie (Klaassen, 1995), een theoretische oriëntatie (Vollebregt,

1998), en het leren van algemene vaardigheden als probleemoplossen, onderzoeken, ontwerpen, informatieverwerken, modelleren, etc. (De Beurs, et al., 2003; Kortland, 2001; Doornekamp, 1997). Lijnse (2002) beschrijft dergelijke begrips- en vaardigheidsontwikkelingen vanuit de leefwereld van leerlingen met een didactische structuur waarin een probleemstellende benadering centraal staat. Ook in het realistische reken- en wiskundeonderwijs wordt uitgegaan van 'realistische contexten' waarin de 'concrete, realistische wereld' tot uitgangspunt wordt genomen voor het mathematiseringsproces, het ontwikkelen van wiskundige begrippen en probleemoplosvaardigheden (Freudenthal, 1991; Gravemeijer, 1990 en 1994; De Lange, 1996; Van Streun, 1990, 2000 en 2002; Van Schalkwijk, 1998; Verhoef, 2003). De Lange (1996) definieert een 'concrete realistische wereld' als de wereld die leerlingen aantreffen in toepassingen van (bijvoorbeeld de) wiskunde. De term 'context' in het realistische reken- en wiskundeonderwijs refereert allereerst aan een beschreven situatie waarin een probleem is ingebed, en van waaruit leerlingen wiskundige activiteiten kunnen ondernemen en oefenen, en hun wiskundige kennis kunnen toepassen (Gravemeijer, 1981/1982). Contexten moeten uitdagend zijn, tot de verbeelding spreken, als realistisch worden ervaren, en het moet mogelijk zijn tot mathematiseren over te gaan. Een context kan dan ook wiskundig van aard zijn, mits de leerlingen deze maar als 'realistisch' ervaren.

Een "realistische context" voor leerlingen is derhalve een context – met een daarin ingebed probleem – die bij leerlingen een *motief* oproept (Lijnse, 2002) om meer praktische kennis te verwerven, een verschijnsel theoretisch beter te begrijpen, een theoretische verklaring te zoeken, naar de juiste formules te zoeken om een berekening uit te voeren, een ontwerp te bedenken, etc. Het begrip "motief" heeft hierbij een tweezijdige functie (Van Aalsvoort, 2000): (a) een emotionele functie die een leerling aanzet tot een activiteit vanuit eigen behoeften, en (b) een cognitieve functie die een activiteit richt en organiseert op grond van de kenmerken van de context, het daarin ingebedde probleem, en de gezochte oplossing voor een probleem. Hierbij zij opgemerkt dat er veelal sprake is van een globaal motief dat nadere ontwikkeling behoeft om daadwerkelijk de hiervoor genoemde emotionele en cognitieve functie voor een specifiek probleem te realiseren (Podolskij, 1993).

De context en het probleem die een motief oproepen kunnen daarbij op geheel verschillende abstractieniveaus voorkomen. In de hiervoor genoemde schillen A en B van de context-en-concept benadering (zie de eerste paragraaf) zullen de contexten en problemen op een 'laag' abstractieniveau zijn: er zijn direct concrete relaties te leggen met de leefwereld van de leerlingen om hun heen. Naarmate we ons meer bewegen in de richting van de schil C en de kern D zullen de contexten en problemen meer abstract van aard zijn, waarbij overigens evenzeer de eis wordt gesteld dat dergelijke contexten en problemen altijd een motief bij de leerlingen moet oproepen voor verdere ontwikkeling van de scheikundige kennis en vaardigheid in het oplossen van problemen.

We keren nu terug naar de discussie over de resultaten van onze experimenten. Gebruikmakend van het hierboven beschreven kader, veronderstellen we dat wellicht de contexten in het onderzochte onderwijs te veel werden vormgegeven vanuit motieven, die verbonden zijn met het wetenschappelijke/onderzoeksdomein van de scheikunde, bijvoorbeeld het scheikundig verklaren. Van Oers (1998), Van Aalsvoort (2000, 2004), en Bulte et al. (2004)

stellen voor een andere opvatting over 'context' te gebruiken: daarin staan 'handelingspraktijken' centraal. In 'handelingspraktijken' gebruiken mensen op functionele wijze (in dit geval) scheikundige kennis in handelingen die relevant zijn binnen de betreffende praktijk. Wellicht moet daartoe worden uitgegaan van de context (handelingspraktijk) van scheikundig wetenschappelijke onderzoekers om de vorming van de beoogde motieven voor het leren verklaren te stimuleren (Van Rens, 2005; Beishuizen, 2004).

Hiervoor lieten wij zien dat het mogelijk was het oefenen van complexe verklaringsvragen te ondersteunen met de computer (zie figuur 6, deel instructie SPA-COO en tabel 6, de realisatie van het oefenen en terugkoppelen per COO). Tevens bleek uit de analyse dat er sprake was van betere eindexamenresultaten voor formulevragen (zie tabel 9). In dit onderwijsontwerp was echter geen programma gemaakt met als doel dat leerlingen één of meer heuristische zouden leren. In deze deel instructie SPA-COO was de indeling in heuristische fasen eerder een middel om het proces van aanpak bij het oefenen structuur te geven. In het vervolg van het onderzoek werd daarom de aandacht gericht op het ontwerp en de evaluatie van een computerprogramma voor de oriëntatie op heuristische. Hiermee werd het belang van een adequate oriënteringsbasis nog eens onderstreept. De eerder ingeslagen weg met een deel instructie voor een specifieke SPA-heuristiek oriëntatie (zie figuur 5) werd daarmee voortgezet, maar nu met gebruikmaking van de computer in plaats van de bij deze deel instructie genoemde onderwijsmaatregelen en voorzieningen.

Correspondentie over dit artikel aan Cees Terlouw, Universiteit Twente, Faculteit Gedragswetenschappen, Instituut ELAN, Postbus 217, 7500 AE Enschede, c.terlouw@utwente.nl

Noten

1. Bij de huidige opgaven is veelal een context aanwezig. Ten tijde van dit onderzoek van foutenanalyse was dit niet altijd het geval. We gebruiken deze opgave, omdat hierop de foutenanalyse is uitgevoerd.
2. De moeilijkheidsgraad (item difficulty index) of p'-waarde geeft de verhouding van het gemiddeld behaalde aantal punten van de leerlingen in de steekproef en het maximale aantal punten voor het betreffende vraagtype (Kramers-Pals, 2003)
3. Mettes & Pilot (1980) maken in termen van problemen ook wel een onderscheid tussen 'specificatieproblemen', 'ontwerpproblemen', en problemen van verklaring en bewijs'. Tot de 'specificatieproblemen' worden de berekeningsvragen en formule- of vergelijkingsvragen gerekend. En in het verlengde van de andere probleemtipes worden ontwerp vragen, verklaringsvragen, en bewijsvragen onderscheiden. In dit artikel zullen we in termen van 'vragen' de verschillende probleemtipes aangeven, omdat zij in het kader van een eindexamen worden gebruikt.

English summary

Effects of learning problem solving in pre-university chemistry education

The Dutch pre-university final examination on chemistry consists of questions in which the key problem for students is to apply their knowledge of chemistry to construct an explanation, calculation, or chemical formula (or reaction equation). Students experience many difficulties in applying their knowledge. In this study, we constructed three instructional interventions, and we evaluated which intervention was most effective for each type of problem. The instruc-

tional interventions were (a) an approach in which students learned to solve these problems in a classroom instruction, applying a Systematic Approach to Problem Solving, (b) an approach using Computer Assisted Learning with embedded instruction and feedback on a Systematic Approach to Problem Solving, and (c) an approach using a traditional way of instruction and feedback on problem solving.

The theoretical framework for the design of the instructional interventions was based on a discipline-specific elaboration of Gal'perin's theory of systematic formation of mental actions, and described in instructional plans in detail. In this study the instructional plan is the independent variable, and the examination score is the dependent variable.

The results indicate that students the systematic approach to solve chemistry problems leads to better learning results on questions in which a chemical formula or reaction equation has to be produced. The results give rise to a further reflection on the relation between domain concepts, contexts, and student motives. This reflection leads to implications for the current efforts to the redesign of the chemistry curriculum in the Netherlands

Referenties

- Arievitch, I. M. & Haenen, J. (2005). Galperin's theory and educational practice. Connecting Sociocultural theory and educational practice: Galperin's approach. *Educational Psychologist*, 40, 155-165.
- Barab, S. & Squire, K. (2004). Design-based research: putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13, 1-14.
- Beishuizen, J. (2004). *Onderzoekend leren*. Amsterdam: Vrije Universiteit.
- Bulte, A. M. W., Westbroek, H., Rens, L. van, Pilot, A. (2004). Involving students in meaningful chemistry education by adapting authentic practices. In B. Ralle and I. Eilks (Ed.), *Quality in practice-oriented research in science education*. Aachen: Shaker.
- Collins, A., Joseph, D. & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13, 15-42.
- De Beurs, C. D., Haren, P. O. van, Laar, B. Van der, Koole, J. H., Suos, C, Van Berkel, B., & Terlouw, C. (2003). *Projectportret Techniek 15+ Techniek in de tweede fase van het voortgezet onderwijs*. Delft:: AXIS.
- De Jong, T. & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist*, 31, 105-113.
- De Lange, J. (1996). Using and applying mathematics in education. In A. J. Bishop et al. (Ed.), *International Handbook of Mathematics Education* (pp. 49-97). Groningen: Kluwer.
- diSessa, A. A. & Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *The Journal of the Learning Sciences*, 13, 77-103.
- Doornekamp, G. (1997). *Probleemoplossen binnen het vak techniek. Een studie naar effectieve domeinspecifieke richtlijnen voor onderwijspakketten*. Proefschrift Universiteit Twente.
- Driessen, H. P. W. M. & Mast, A. J. (red). (2003). *Chemie tussen context en concept. Ontwerpen voor vernieuwing*. Enschede: SLO.
- Evers, A. L. & Lucassen, W. (1984). *DAT '83, Differentiele aanlegtestserie, handleiding*. Lisse: Swets & Zeitlinger.
- Freudenthal, H. (1991). *Revisiting mathematics education*. Dordrecht: Kluwer.

- Gal'perin, P. I. (1982). Intellectual capabilities among other preschool children: On the problem of training and mental development. In W. W. Hartup (Ed.), *Review of child development research*, (Vol. 6, pp. 626-646). Chicago: University of Chicago Press.
- Gal'perin, P. I. (1989). Organisation of mental activity and the effectiveness of learning. *Soviet Psychology*, 27, 65-82.
- Gal'perin, P. I. (1992). Stage-by-stage formation as a method of psychological investigation. *Journal of Russian and East European Psychology*, 30, 60-80.
- Gravemeijer, K. P. E. (1981/1982). Het gebruik van contexten. *Willem Bartjen*, 1, 51-56.
- Gravemeijer, K. P. E. (1990). Context problems and realistic mathematics instruction. In M. van den Heuvel, H. K. Gravemeijer, & L. Streefland (Ed.), *Context Free Production Test and geometry in realistic mathematics education*. Utrecht: OW&OC.
- Gravemeijer, K. P. E. (1994). *Developing Realistic Mathematics Education*. Utrecht: CDβ-Press.
- Haenen, J. (1996). *Piotr Gal'perin. Psychologist in Vygotsky's footsteps*. New York: Nova Science Publishers.
- Janssen-Noordman, A. M. B., & Van Merriënboer, J. J. G. (2003). *Innovatief onderwijs ontwerpen: Via leertaken naar complexe vaardigheden*. Groningen: Wolters Noordhoff.
- Klaassen, C. W. J. M. (1995). *A problem posing approach to teaching the topic of radioactivity*. Utrecht: CDβ-Press.
- Kortland, J. (2001). *A problem posing approach to teaching decision making about the waste issue*. Utrecht: CDβ-Press.
- Kramers-Pals, H. (1994). *Leren oplossen van verklaringsproblemen in het scheikunde-onderwijs*. Proefschrift Universiteit Twente.
- Kramers-Pals, H. (2003). *Evaluatie examens scheikunde vwo/havo 2003* (ELAN doc 2003 - 05). Enschede: Universiteit Twente, Faculteit Gedragswetenschappen, Instituut ELAN.
- Kramers-Pals, H., Lambrechts, J. & Wolff, P. J. (1983). The transformation of quantitative problems to standard problems in general chemistry. *European Journal of Science Education*, 5, 275-287.
- Kramers-Pals, H. & Jansen, G. (1992). *SPA in de klas: ervaringen met een systematische probleemaanpak voor scheikunde in 6VWO* (Intern rapport CTO₃ 92-2) Enschede: Universiteit Twente, Faculteit Chemische Technologie.
- Kramers-Pals, H. & Pilot, A. (2000). Moeilijkheden van leerlingen met het gebruik van betrekkingen bij het oplossen van scheikunde-opgaven. *Tijdschrift voor Didactiek der β-wetenschappen*, 17, 151-166.
- Lijnse, P. L. (2002). Op weg naar een didactische structuur van de natuurkunde? De ontwikkeling van didactische structuren volgens een probleemstellende benadering. *Tijdschrift voor Didactiek der β-wetenschappen*, 19, 62-93.
- Mettes, C. T. C. W. & Pilot, A. (1980). *Over het leren oplossen van natuurwetenschappelijke problemen*. Proefschrift Universiteit Twente.
- Mettes, C. T. C. W., Pilot, A., Roossink, H. J. & Kramers-Pals, H. (1980a). Teaching and learning problem solving in science. Part I: General strategy. *Journal of chemical education*, 57, 882-885.

- Mettes, C. T. C. W., Pilot, A., Roossink, H. J., & Kramers-Pals, H. (1980b). Teaching and learning problem solving in science. Part II: Learning problem solving in a thermodynamics course. *Journal of chemical education*, 58, 51-55.
- Mettes, C. T. C. W., Pilot, A., & Roossink, H. J. (1981). Linking factual and procedural knowledge in solving science problems: a case study in thermodynamics. *Instructional Science*, 10, 333-361.
- Podolskij, A. I. (1993). Psychological theory as base of instructional design and as part of curriculum in post-graduate education. In C. Terlouw (Ed.), *Instructional development in higher education: Theory and practice* (pp. 51-69). Amsterdam: Thesis publishers.
- Roossink, H. J. (1990). *Terugkoppelen in het natuurwetenschappelijk onderwijs, een model voor de docent*. Proefschrift Universiteit Twente.
- Taconis, R. F. H., Ferguson-Hessler, M. G. M. & Broekkamp, H. (2001). Teaching science problem solving: An overview of experimental work. *Journal of Research in Science Teaching*, 38, 442-468.
- Ten Bruggencate, G. & Staal, R. H. A. (1990). *COO bij het oplossen van mechanica-problemen in het HTO. Eindverslag van het project 'COO-mechanica'*. (OC-rapport no. 68). Enschede: Universiteit Twente.
- Terlouw, C. (1987). *De FUNDES-procedure in onderwijsontwikkeling. Evaluatie van een procedure van onderwijsontwikkeling voor het leren probleemoplossen*. Proefschrift Universiteit Twente.
- Terlouw, C. (1997). Instructional design in higher education. In S. Dijkstra, N. Seel, F. Schott, & R. D. Tennyson (Ed.), *Instructional Design. International Perspective. Solving instructional design problems* (Vol. 2, pp. 341-369). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Terlouw, C. (2000). Procedures voor onderwijsontwikkeling. In G. ten Dam, H. van Hout, C. Terlouw, & J. Willems. (Ed.), *Onderwijskunde Hoger Onderwijs. Handboek voor docenten* (pp. 126-158). Assen: Van Gorcum.
- Terlouw, C. (2001). Een integrale aanpak van ICT-scholing: opzet en ervaringen. In A. P. H. Purper (Ed.), *Leren in een informatiewereld*. Alphen a/d Rijn: Kluwer.
- Terlouw, C. & Pilot, A. (1989) *Teaching problem solving methods in physical and social sciences*. Paper presented at the Third European Conference for Research on Learning and Instruction (4-7 September, 1989). Madrid.
- Terlouw, C. & Pilot, A. (1990). Teaching problem solving in higher education; from field regulation to self-regulation. In J. M. Pieters, K. Breuer and P. R. J. Simons (Ed.), *Learning Environments, contributions from Dutch and German research* (pp. 253-267). Berlin: Springer Verlag.
- Van Aalsvoort, J. (2000). *Chemistry in products. A cultural-historical approach to initial chemical education*. Proefschrift Universiteit Utrecht.
- Van Aalsvoort, J. (2004). Activity theory as a tool to address the problem of chemistry's lack of relevance in secondary school chemical education. *International Journal of Science education*, 26, 1635 - 1651.
- Van Merriënboer, J. J. G. (1990). *Teaching introductory computer programming - A perspective from instructional technology*. Doctoral dissertation University of Twente.
- Van Merriënboer, J. J. G. (1997). *Training complex cognitive skills: a four-component instructional design model for technical training*. Englewood Cliffs N. J. : Educational Technology Publications.

- Van Oers, B. (1998). From context to contextualization. *Learning and Instruction*, 8, 473-488.
- Van Rens, E. M. M. (2005). *Effectief scheikundeonderwijs voor 'leren onderzoeken' in de tweede fase van het vwo, een chemie van willen weten en kunnen*. Proefschrift Vrije Universiteit.
- Van Schalkwijk, T. J. H. M. (1998). *Onderzoekend wiskunde leren*. Proefschrift Rijksuniversiteit Groningen.
- Van Streun, A. (1990). *The teaching experiment 'heuristic mathematics education'*. Paper presented at the 14th PME Conference, Mexico.
- Van Streun, A. (2000). Representations in applying functions. *International journal of mathematical education in science and technology*, 31, 703-725.
- Van Streun, A. (2002). Het denken bevorderen. *NAW*, 5/3, 294-301.
- Van Weeren, J. H. P. & Staal, R. H. A. (1986). *Computer support of the learning of problem solving: developing a CAL course on Mechanics problems*. Paper presented at the AERA Annual Meeting 1986.
- Van Weeren, J. H. P., Kramers-Pals, H., De Mul, F. F. M., Peters, M. J., & Roosink, H. J. (1982). Teaching problem solving in physics: a course in elektromagnetism. *American Journal of Physics*, 50, 725-732.
- Verhoef, N. C. (2003). *Implementatie van ICT, een probleem voor docenten? De scholing van docenten bij de implementatie van een elektronische zelf-studiemodule voor het vak wiskunde*. Proefschrift Universiteit Twente.
- Verkenningcommissie Scheikunde. (2002). *Bouwen aan scheikunde*. Enschede: SLO.
- Vollebregt, M. J. (1998). *A problem posing approach to teaching an initial particle model*. Utrecht: CDβ-Press.
- Vygotsky, L. S. (1983). *Collected works. Problems in the development of mind* (Vol. 3). Moscow: Izd-vo Pedagogika.
- Westbroek, H. B., Klaassen, C. W. J. M., Bulte, A. M. W., & Pilot, A. (2005). Characteristics of meaningful chemistry education. In K. Boersma, M. Goedhart, O. d. Jong. & H. Eijkelhof, (Ed.), *Research and the quality of science education*. Dordrecht: Kluwer.
- Whimbey, A. L. & Lochhead, J. (1980). *Problemsolving and comprehension: a short course in analytic reasoning*. Philadelphia, PA: The Franklin Institute Press.

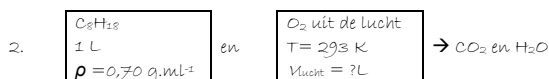
Bijlage: Ingevuld SPA-werkblad

Dit Spa-werkblad (het getypte deel) toont in de rechterkolom een geschreven modeluitwerking van de "brommer-opgave"

FASE 1: ANALYSE

1. Lezen; streepjes

2. Schets of schema; gegevens (symbolen)



3. gevraagde herformuleren:

a. eigen woorden

b. als.. dan..

c. ... =>

d. symbool (bij vraagstuk)

4. reactievergelijkingen; evenwichtsvoorwaarden; kenmerkende eigenschappen; andere gegeven betrekkingen

5. schatting: eenheid, teken, significante cijfers, orde van grootte

6. beschouwing

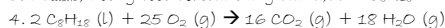
FASE 2: OMWERKING

7. Betrekkingen

8. Omwerking (bij voorkeur vanuit gevraagde)

Molaire massa:

$$M_{\text{C}} = 12 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}; M_{\text{H}} = 1 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}; M_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = (8 \times 12 + 18 \times 1) \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 114 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$$

3d. V_{lucht} , nodig voor verbranding van 1,00 L C_8H_{18} Lucht bevat 20% zuurstof, dus $V_{\text{O}_2} / V_{\text{lucht}} = 0,20$ 5. V_{lucht} zal veel meer dan 1 L zijn, want:

- lucht is gasvormig, benzine vloeibaar

- lucht bevat slechts 20 volume % O_2

Tekenen: +; aantal significante cijfers: 2; eenheid: liter

FASE 3: UITWERKING

9. Uitrekenen / uitschrijven

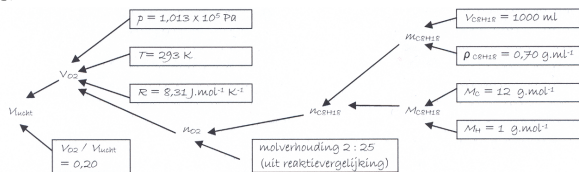
$$7. \text{ aantal mol } \text{C}_8\text{H}_{18} (n_{\text{C}_8\text{H}_{18}}) = m_{\text{C}_8\text{H}_{18}} / M_{\text{C}_8\text{H}_{18}}$$

$$\rho = m/V, \text{ dus } \rho_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = m_{\text{C}_8\text{H}_{18}} / V_{\text{C}_8\text{H}_{18}}$$

$$pV = nRT, \text{ dus } n_{\text{O}_2} = pV_{\text{O}_2} / RT; \text{ aanname: lucht gedraagt zich als ideaal}$$

$$\text{gas, } p = 1,013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

8.



$$9. m_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = \rho_{\text{C}_8\text{H}_{18}} \times V_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 0,70 \text{ g}\cdot\text{ml}^{-1} \times 1000 \text{ ml} = 700 \text{ g}$$

$$n_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = m_{\text{C}_8\text{H}_{18}} / M_{\text{C}_8\text{H}_{18}} = 700 \text{ g} / 114 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1} = 700 / 114 \text{ mol}$$

Met de molverhouding 2 mol C_8H_{18} : 25 mol O_2 wordt

$$n_{\text{O}_2} = (25 / 2) \times (700 / 114) \text{ mol} = 76,8 \text{ mol}$$

 V_{O_2} via ideale gaswet:

$$V_{\text{O}_2} = n_{\text{O}_2} RT / p = 76,8 \text{ mol} \times 8,31 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1} \times 293 \text{ K} / (1,013 \times 10^5 \text{ Pa}) = 1,85 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{lucht}} = V_{\text{O}_2} / 0,20 = 9,3 \text{ m}^3 = \boxed{9,3 \times 10^3 \text{ L}}$$

FASE 4: CONTROLE

10. Is dit gevraagd?

11. Vergelijking met schatting: eenheid, teken, significante cijfers, orde van grootte

12. Acceptabel?

13. Wat ervan geleerd?

11, 12. Uitkomst komt overeen met de prognose (veel meer dan 1 L) en met de gestelde vraag. Aantal significante cijfers: 2