



Instituut ELAN  
Instituut voor  
Expertise-ontwikkeling in het VO  
Lerarenopleiding  
Aansluiting VO-HO  
Nascholing in het VO



# Het effect van pretest-sensitisatie bij ontdekkend leren met behulp van een simulatie in het voortgezet onderwijs

Floris A.B.H. Bos & Cees Terlouw  
Faculteit Gedragwetenschappen, Instituut ELAN, Universiteit Twente  
Albert Pilot  
Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht  
(2006)

ELAN doc 2007 - 002  
Juli 2007  
GW-ELAN.07-327

Universiteit Twente  
GW - ELAN  
Postbus 217  
7500 AE ENSCHEDE

tel.: 053 - 489 3560  
fax: 053 - 489 4755  
elan@edte.utwente.nl  
<http://www.utwente.nl/elan>

Het effect van pretest-sensitisatie bij ontdekkend leren met behulp van een simulatie in het voortgezet onderwijs.

Floris A.B.H. Bos & Cees Terlouw (Faculteit Gedragwetenschappen, Instituut ELAN, Universiteit Twente), Albert Pilot (Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Utrecht), (2007). Enschede, Nederland: Universiteit van Twente.

## Inhoudsopgave

<b>SAMENVATTING .....</b>	<b>5</b>
<b>1 RATIONALE.....</b>	<b>5</b>
<b>2 THEORETISCH KADER .....</b>	<b>7</b>
2.1 SCHEMATHEORIE EN ACTIVERING VAN VOORKENNIS.....	7
2.2 ONDERWIJSSTRATEGIEËN OM VOORKENNIS TE ACTIVEREN.....	8
2.3 LEERTHEORETISCHE BASIS VOOR INTERVENTIE, HET ONDERWIJSONTWERP.....	9
<b>3 VRAAGSTELLINGEN.....</b>	<b>11</b>
<b>4 METHODE.....</b>	<b>11</b>
4.1 DESIGN.....	11
4.2 PARTICIPANTEN.....	11
4.3 INSTRUMENTEN .....	12
4.4 INTERVENTIE, LESMATERIAAL ("X").....	13
4.5 PROCEDURE.....	15
4.6 CORRECTIEPROCEDURE.....	16
4.7 STATISTISCHE ANALYSE.....	16
4.8 BEPALING VAN ONDERWIJSWINST.....	16
4.9 POWERBEREKINGEN.....	17
<b>5 RESULTATEN.....</b>	<b>17</b>
<b>6 CONCLUSIES.....</b>	<b>20</b>
<b>7 DISCUSSIE .....</b>	<b>20</b>
<b>REFERENTIES.....</b>	<b>22</b>
<b>BIJLAGE I .....</b>	<b>25</b>
<b>BIJLAGE II .....</b>	<b>25</b>
<b>BIJLAGE II .....</b>	<b>26</b>



## Samenvatting

De verminderde beschikbaarheid van vakdocenten in het Nederlandse voortgezet onderwijs maakt het gewenst te zoeken naar effectiever onderwijs voor het leren van begrippen in bètavakken. Vanuit de schematheorie en onderzoek naar de voorkennis-assessment lijkt het mogelijk om voorafgaand aan de daadwerkelijke begripsverwerving relevante, al bestaande begripsnetwerken te activeren aan de hand van een test. In een experimentele onderwijsopzet is nagegaan of deze sensitatie ook optreedt in een computersimulatieomgeving. De inhoud van het experimentele onderwijs betrof het verwerven van begrippen uit de chemische reactiekinetiek. De effecten van deze experimentele onderwijsopzet werden onderzocht in een uitgebreid Solomon Four onderzoeksdesign, waarbij tevens het effect van peersupport werd onderzocht. De resultaten laten een hoge onderwijswinst zien, het meest na het toepassen van pretesten, maar ook zonder pretesten werden forse winsten gemeten. Na twee maanden is het effect van pretesten nog steeds significant.

## 1 Rationale

In het voortgezet onderwijs is rond de millenniumwisseling de Tweede Fase ingevoerd vanuit een specifieke visie op het leerproces. Daarbij is de rol van de docent in kwalitatief opzicht in meer of mindere mate veranderd van kennisoverdrager en certificeerder naar coach bij zelfgestuurd, zelfontdekkend dan wel samenwerkend leren. Tegelijkertijd is op leerlingniveau de beschikbaarheid van een vakdocent schei-, wis- en natuurkunde dramatisch gedaald (Tweede\_Fase\_Adviespunt, 2005). Omdat dit laatste mogelijk trendmatig is (Ritzen, 2006; Roes, 2001) is het gewenst te zoeken naar effectiviteitsverhoging, gegeven het feit dat (ook) het leren van bèta-leerstof op enigerlei wijze een stimulans nodig heeft.

Het inzetten van ICT in optimale settings lijkt een veelbelovende mogelijkheid om de effectiviteit van het leren van bèta-vakinhouden te verhogen. Naast de kant-en-klare softwarepakketten en bijbehorende standaardtechnologie die in vrijwel alle vakgebieden bruikbaar zijn, heeft de leerling en docent in de natuurwetenschappen de beschikking over goed hanteerbaar ICT-materiaal, waarmee gegevens verkregen, vastgelegd, bewerkt, gemodelleerd en visueel kunnen worden gemaakt (Osborne & Hennessy, 2003). In de metastudie van Valdez (Valdez et al., 2000) waarin 891 artikelen worden samengevat, luidt één van de conclusies, dat succes of falen van ICT-inzet in hoge mate afhangt van de congruentie tussen het courseware design en de instructieomgeving waarbinnen deze technologie wordt gebruikt (Valdez et al., 2000). Watson (2001) wijst in dit kader op het gevaar, dat er meer belangstelling is voor technologische nouveautés dan voor de educatieve functie en implicaties ervan, er meer nadruk ligt op de ontwikkeling van lagere vaardigheden dan complexere vormen van leren en er meer aandacht is voor informatievergarig in plaats van mentale verwerking. Met name de hogere leerdoelen uit Bloom's taxonomie (toepassen, analyse, synthese en evaluatie) (Bloom, 1956) verdwijnen uit het zicht, waardoor de educatieve potentie van ICT-inzet ondersneeuwt (Watson, 2001). De techniek of de beschikbaarheid van apparatuur is niet langer een beperkende factor, maar het leertheoretische design van de software, de inbedding in een consistent curriculumontwerp en adequate menselijke ondersteuning des te meer (Valdez et al., 2000). Er zal derhalve bij het design van de simulatieomgeving expliciet gebruik worden gemaakt van een leertheoretische basis in de vorm van de niveaustheorie van Van Hiele (Hiele van, 1986), omdat hierdoor op leertheoretisch verantwoorde wijze speciale aandacht kan worden besteed aan het abstraheringsproces bij het uitbouwen van een netwerk van bèta-begrippen op basis van de nabootsing van een concreet natuurwetenschappelijk proces.

Gelet op de valkuilen én de potentieel sterke kanten van ICT-toepassingen richt dit onderzoek zich op educatieve simulatie-programmatuur, waarmee *virtuele* experimenten kunnen worden gedaan. Binnen het natuurwetenschappelijk onderwijs lijkt het gebruik van simulatieprogramma's een interessante bijdrage te kunnen leveren aan het gestructureerd uitbouwen dan wel corrigeren van bij leerlingen reeds aanwezige bestaande intuïtieve opvattingen en misvattingen over verschijnselen in de natuur. Een deel van de onderwijsactiviteit kan hierbij worden overgenomen door een handzaam systeem, dat geïdealiseerde, dynamische, visuele representaties levert van

verschijnselen, zonder dat er ingewikkelde, kostbare, moeilijk uit te voeren of anderszins onmogelijke experimenten noodzakelijk zijn (Hennessy et al., 2007). Omdat natuurwetenschappelijke processen vaak complex en contra-intuïtief zijn, kunnen simulaties een vertrekpunt zijn voor de verdere verklaring, uitleg en discussie noodzakelijk voor de constructie van meer abstracte en overkoepelende kennisschemata (Driver, Asoko, Leach, Mortimer, & Scott, 1994).

Het inzetten van simulatieprogramma's, waarbij studenten inputvariabelen kunnen manipuleren en de effecten op outputvariabelen bestuderen, kan soms, maar niet altijd tot positieve leereffecten leiden (de Jong & van Joolingen, 1998). In *scientific discovery learning* is het de bedoeling dat de studenten de onderliggende verbanden ontdekken of hypothesen daaromtrent testen. Het blijkt in de praktijk voor leerlingen een lastige taak, omdat leerlingen geen idee hebben hoe zo'n hypothese eruit ziet, ze veelal niet goed in staat zijn de data te interpreteren en geleid kunnen worden door overwegingen die tot de verkeerde conclusies leiden (de Jong & van Joolingen, 1998). Om het effect van een leeromgeving rond simulaties te verhogen ligt daarom ondersteuning van de leerling voor de hand. Veermans (Veermans, 2003) heeft een aantal maatregelen binnen de software zelf onderzocht. In zijn onderzoek werden als meetinstrument twee pretesten gebruikt die tegelijkertijd als posttest werden ingezet. Afhankelijk van de aard van de vragen werd met simulaties op gebied van botsingen een lage tot gemiddelde leerwinst gemeten. De diverse geteste versies van *intelligente support* met meer of minder formele ondersteuning van heuristische aard leidden niet tot verschillen in scores op de posttests, terwijl dat op grond van de (metacognitieve) theorie wel verwacht zou kunnen worden. Wanneer de oplossing vooralsnog niet gevonden blijkt te worden in maatregelen in termen van (alleen) metacognitieve vaardigheden, lijkt het zinvol ook te denken aan andersoortige maatregelen. Gelet op het feit dat het hier gaat om het verwerven van domeinspecifieke bètakennis lijkt het inzetten van maatregelen die bevorderen dat wordt ingespeeld op de aanwezige voorkennis van belang (Ausubel, 1968; Dochy, Segers, & Buehl, 1999a). Een eerste steunmaatregel om het leerproces te stimuleren kan dan ook zijn het activeren van de voorkennis. In aansluiting op eerder onderzoek van Bos & Terlouw (2005) zal in de eerste plaats worden nagegaan of het activeren van de voorkennis middels *pretest-sensitisatie* een extra stimulering van het gewenste leerproces kan opleveren (Bos & Terlouw, 2005). Om een duidelijk beeld van de leereffecten te krijgen is het op zich al noodzakelijk de beginsituatie van de deelnemers in kaart te brengen. Van deze *nulmeting* is het bekend, dat deze zelf een effect zou kunnen sorteren. De gedachte kwam op, dat dat het door de methodologen *gevreesde* pretesteffect effectief zou kunnen zijn in het systematisch verhogen van het rendement van het gecomputeriseerde onderwijsarrangement. Dit zou een kansrijke en gemakkelijk implementeerbare manier kunnen zijn om met name voorkennis te activeren. In deze digitale omgeving zou dit een meer geschikte keuze kunnen zijn uit het repertoire van voorkennisactivering dan concept-mapping, brainstorming en dergelijke (Strangman, Hall, & Meyer, 2004).

Als tweede steunmaatregel om het leerproces te stimuleren wordt - in aansluiting bij de eerder gesignaleerde verminderde beschikbaarheid van docenten - ondersteuning door leerlingen (*peer support*) toegepast. In deze studie wordt niet uitgebreid ingegaan op de theoretische achtergrond hiervan, omdat we in een ander artikel daarop in zullen gaan. In een overzicht van een groot aantal studies over samenwerkend leren in kleine groepen blijkt deze vorm van leren tot grotere prestaties, langere retentie, geringer tijdsbeslag en een positievere houding met betrekking tot leertaken op te leveren in vergelijking met individuele dan wel klassikale vormen van onderricht. Meer specifiek gelet op de meta-analyse van 21 studies naar *science*-onderwijs op *college*-niveau werd een effect size van 0.42 gemeten wanneer naar testresultaten en een effectgrootte van 0.82 gevonden als er naar wenselijke leerattitudes werd gekeken (Springer, Stanne, & Donovan, 1999). Bij het samen oplossen van problemen vonden Qin e.a. de hoogste effect size (0.72) met name bij niet-linguïstische problemen, zoals die in de wiskunde en natuurwetenschappen vaak voorkomen (Qin, Johnson, & Johnson, 1995). Peer support is op te vatten als een speciale vorm van samenwerkend leren en mogelijk zijn hier ook positieve effecten op het leerproces te verwachten.

Samenvattend: het lijkt zinvol een digitale leeromgeving met simulaties te ontwerpen op basis van het gewenste abstraheringsproces voor ontwikkeling van bètabegrippen en het gewenste leerproces een (hopelijk) extra stimulering te geven door middel van pretestsensitisatie en peer support. In dit artikel zullen we vooral ingaan op de effecten van pretestsensitisatie.

## 2 Theoretisch kader

### 2.1 Schematheorie en activering van voorkennis

Zoals gezegd, ligt onze focus in dit artikel op het activeren van de voorkennis als steunmaatregel voor het verwerven van bètakennis. De schematheorie is het theoretisch kader dat wij daarvoor gebruiken.

Omdat het begrip schema al bij Kant (Kant, 1787; Veenbaas & Visser, 2004) en Bartlett (Bartlett, 1932) te vinden zijn, kan over schematheorie moeilijk van een *cutting edge theory* worden gesproken. Niet de gedateerdheid, maar nut en contextuele validiteit van een theorie zijn evenwel van belang. Met name rond 1980 (Rumelhart & Orthony, 1977) stonden schemata in de belangstelling maar ook 25 jaar later zijn begrippen uit deze theorie nog steeds nuttige metaforen. Meer recent gebruiken auteurs synoniemen als *prior knowledge/voorkennis* en *back ground knowledge/achtergrondkennis* die impliciet naar schema's of scripts verwijzen (Strangman et al., 2004). In de onderwijskunde blijkt het schemabegrip ook nog steeds goed toepasbaar ook vanuit constructivistisch oogpunt (Derry, 1996; McVee, Dunsmore, & Gavalek, 2005). In dit artikel gaat het om het leren van nieuwe, natuurwetenschappelijke begrippen en gepaard daaraan om het uitbreiden van het bestaande begrippennetwerk ('accretion'). Een belangrijke implicatie van de schematheorie is de interactie tussen de inkomende informatie en reeds de aanwezige kennis via selectie, abstractie, interpretatie en integratie (Benjafield, 2006).

Activering van relevante al bestaande begrippennetwerken of schemata in het lange-termijngeheugen voorafgaand aan de daadwerkelijke verwerving kan het leggen van verbindingen met nieuwe kennis gemakkelijker maken. Een dergelijke sensitatie of 'gevoelig maken' wordt wel gezien als het overbrengen van aanwezige schemata vanuit het lange-termijngeheugen naar het sneller toegankelijk korte-termijn- of werkgeheugen. (Anderson & Schunn, 2000). Op basis van dit 'cognitief gevoelig zijn' voor de nieuw te leren begrippen kan vervolgens de uitbreiding en aanpassing van het bestaand begrippennetwerk effectiever plaatsvinden.

Deze redenering over sensitatie sluit aan bij de verklaring die Dochy et al. in een review geven voor het faciliterende effect van de assessment van voorkennis op het activeren van voorkennis (Dochy et al., 1999a). Hun verklaring is dat de assessment van de voorkennis een faciliterende invloed heeft op het keuzeproces in de kennisbasis, op de capaciteit van het werkgeheugen, op de bewerkingen die op nieuwe kennis worden uitgevoerd, op het opslaan van de nieuwe kennis in het lange-termijngeheugen en op het weer ophalen van nieuwe kennis. Dochy et al. (1999a) concluderen in hun review over de relatie tussen voorkennis-assessment en leerresultaten meer specifiek het volgende:

- (a) Er is een sterke relatie aanwezig tussen voorkennis en prestatie: 92% van de 183 gereviewde studies rapporteren positieve effecten, waarbij de voorkennis 30% - 60% van de variantie verklaart in de leerprestaties. Dochy et al. zijn van mening dat er daarnaast leerproces-variabelen van belang zijn als de leerstrategie, de procedurele metacognitieve kennis, de belangstelling, en de 'beliefs'. Voorts zijn ook factoren als de toegankelijkheid van de kennis, de beschikbaarheid en de structuur van de kennis van belang;
- (b) De methode van assessment van de voorkennis beïnvloedt het geobserveerde voorkennis-effect op de leerprestatie. Met name het gebruik van objectieve assessmentmethoden heeft een positieve invloed. Misconcepties en inconsistente informatie verhinderen een positieve invloed van voorkennis. Naar hun oordeel is het derhalve van belang niet alleen de omvang van de voorkennis te meten, maar ook aandacht te besteden aan de hiervoor genoemde factoren; en
- (c) Niet-objectieve of minder objectieve methoden van assessment (bijvoorbeeld zelfinschattingen) zijn wel bruikbaar om verklaringen voor het effect van voorkennis op het spoor te komen. Bijvoorbeeld, bij leerlingen die geen of weinig voorkennis hebben over een onderwerp speelt het belangstellingsniveau een veel grotere rol. Een dergelijke variabele verklaart dat het activeren van voorkennis niet zonder meer leidt tot de optimale beschikbaarheid van kennis voor het leren.

De algemene conclusie van hun studie is “that prior knowledge is indeed an effective aid for learning new knowledge” (Dochy et al., 1999a). Deze conclusie ondersteunt daarmee het idee dat met een didactische ingreep aan het begin van het leerproces de voorkennis wordt geactiveerd.

Het effect van een assessment van de voorkennis is ook bekend uit de testmethodologie: de veelal als ongewenst geziene effecten van de pretestsensitisatie (Shadish, Cook, & Campbell, 2002). Twee effecten worden gerapporteerd:

(a) het testing-effect: het effect van de pretest op de posttest als de pretest als posttest de tweede keer wordt afgenomen. Het is één van de bedreigingen van de interne validiteit van een experiment; en

(b) het effect van de interactie tussen de afname van de pretest en de treatment (Lana, 1959, 1960, 1969). Lana en King (Lana & King, 1960) analyseerden de aard van de pretestsensitisatie en wezen in dit kader op de relevantie van leerfactoren die vergelijkbaar zijn met de hiervoor genoemde leerprocesvariabelen van Dochy et al. (1999). Wilson & Putnam voerden een meta-analyse aangaande pretest sensitization effects uit over 32 studies met een totaal van 164 resultaten (Willson & Putnam, 1982). Voor de analyse daarvan werden de 134 resultaten gebruikt waarin in het experimentele design gebruik was gemaakt van gerandomiseerde groepen. Er is sprake van een niet te veronachtzamen pretest-effect met een gemiddelde effectsize van +0.22 (tussen -0.55 en + 4.06), waarbij soort uitkomst, leeftijd, tijd tussen de pre- en posttesten sterk van invloed zijn. Het effect op cognitieve uitkomsten is niet alleen het duidelijkst, maar ook het grootst (gemiddelde effect size +0.48). De cognitieve winst lijkt het grootste te zijn met geheugen- en oefeneffecten als de pre- en posttest dezelfde zijn.

## 2.2 Onderwijsstrategieën om voorkennis te activeren

Naast de assessment van voorkennis zijn er ook andere methoden die de voorkennis ('prior knowledge') of achtergrondkennis ('background knowledge') kunnen activeren. Het onderzoek hiernaar concentreert zich vooral op het leren begrijpen van informatieve teksten met onderwerpen uit science- en social studies-domeinen (Strangman et al., 2004). Strangman et al. (2004) maken allereerst een onderscheid tussen de opbouw van nieuwe voorkennis, en de activering van bestaande voorkennis bij het begrijpen van informatieve teksten. Aangezien het eerste het tweede met zich meebrengt, bespreken wij beide vormen. Voor de opbouw van voorkennis worden drie onderwijsstrategieën onderscheiden: directe instructie geven, zelf ervaringen laten opdoen in een authentieke situatie (ontdekkend leren), en preview van een tekst.

Rechtstreekse instructie aan de hand van teksten voor de opbouw van relevante voorkennis leidde in een aantal onderzoeken tot significant betere prestaties bij het beantwoorden van begripvragen. Het zelf ervaringen laten opdoen in een authentieke situatie – een alternatief voor rechtstreekse instructie - kent nog maar weinig evidentie voor effecten, al zijn er wel aanwijzingen daarvoor. Roschelle (1995) laat bijvoorbeeld zien dat de inzet van 'inquiry-based science instruction' voor de opbouw van voorkennis aan de hand van authentieke situaties in een museum-context niet zonder meer zal plaatsvinden (Roschelle, 1995). Strangman et al. (2004) onderscheiden voor het activeren van voorkennis bij het leren begrijpen van informatieve teksten (waaronder science-teksten) zes onderwijsstrategieën om studenten te helpen hun voorkennis te activeren: 1) laten reflecteren gevolgd door een explicitering, 2) het houden van een interactieve discussie, 3) het laten beantwoorden van vragen, 4) de KWL-strategie (voor toelichting: zie hierna), 5) computerondersteunde activering en 6) het laten interpreteren van thematische plaatjes. Een korte toelichting:

Het laten reflecteren gevolgd door een explicitering is de meest simpele aanpak waarin studenten wordt gevraagd na te denken over wat ze al weten van een bepaald onderwerp en dit op te schrijven of mondeling te rapporteren. Ook een vorm als 'reciprocal teaching' waarin studenten aan elkaar uitleggen, kan worden gebruikt. Aan deze eerste strategie kan ook heel goed een tweede strategie worden gekoppeld waarin een interactieve discussie plaatsvindt over de geëxpliciteerde voorkennis. De hiervoor al genoemde inzet van een pretest is een vorm van de derde strategie: het laten beantwoorden van (in dit geval beoordelings)vragen voorafgaand of tijdens het leerproces die overigens zowel door een docent als door medestudenten kunnen worden gesteld. Met de KWL-strategie, de vierde onderwijsstrategie, laat men de studenten de volgende



activiteiten ondernemen: "accessing what I **K**now, determining what I **W**ant to find out, recalling what I did **L**earn" (Strangman et al., 2004). Er is in deze strategie sprake van een combinatie van bovengenoemde strategieën als laten reflecteren, interactieve discussie, en het stellen van vragen van zowel docenten als medestudenten. De vijfde onderwijsstrategie van computerondersteuning wordt met name vormgegeven door het via de computer contrasteren van voorkennis met nieuw te leren kennis. In de zesde onderwijsstrategie tenslotte worden allerlei soorten van thematisch beeld- of grafisch materiaal gebruikt om studenten te stimuleren de relevante voorkennis te activeren en te ordenen. Tenslotte zij nog een methode als 'concept mapping' genoemd die in haar toepassing een aantal van de bovengenoemde onderwijsstrategieën gebruikt: studenten wordt gevraagd individueel of in kleine groepen een al dan niet computerondersteunde grafische representatie te maken van relevante kennis over een bepaald onderwerp waarna vervolgens in een interactieve discussie één en ander wordt vergeleken en nader ontwikkeld. 'Concept mapping' kan hierbij zowel als test als leer methode worden ingezet (Kommers, 1997) ; zie voor een voorbeeld met aardwetenschappen: (Rebich & Gautier, 2005).

Strangman et al. (2004) concluderen in hun review van de onderzoeksresultaten dat vooral directe instructie, het studenten laten reflecteren en expliciteren, en het stellen van vragen de voorkennis activeert. Hierbij beperken zich de meeste onderzoeken zich wel tot het begrijpend lezen van informatieve teksten over science en social studies. Veelbelovend en nader onderzoek waard noemen Strangman et al. (2004) een computerondersteunde aanpak. Dit sluit aan op de door ons eerder beschreven problemen met de aanwezigheid en inzet van de leerkracht die noodzaken te zoeken naar middelen voor effectiviteitsverhoging (A.B.H. Bos, C. Terlouw, & A. Pilot, 2007a).

De zes onderwijsstrategieën voor activering van de voorkennis van Strangman et al. (2004) vragen veel docentinzet. Mede gelet op de bevindingen in het review van Dochy et al. (1999a) lijkt een activering van voorkennis via pretesten kansrijk. Dochy & Alexander (Dochy & Alexander, 1995) wijzen er op dat de methode van assessment het effect van de voorkennis op de later gemeten leerprestatie kan beïnvloeden waarbij het aannemelijk is dat er vooral een effect is bij het gebruik van objectieve methoden van assessment. In een andere studie wordt op het aspect van het assessmenttype ingegaan (Bos & Terlouw, 2005). In de onderhavige studie wordt gekozen voor een pretest die naar vorm en inhoud zoveel mogelijk equivalent is aan de posttest.

### 2.3 Leertheoretische basis voor interventie, het onderwijsontwerp

Het gaat in de onderhavige studie om het verwerven van bèta-begrippen uit de scheikunde (met als centraal begrip 'reactiesnelheid'). Deze bètabegrippen worden gerepresenteerd als conceptuele modellen die worden verworven aan de hand van een proces van abstraheren.

Het is niet mogelijk met oppervlakkige activiteiten tot zinvol begrip te komen, tenzij er in het onderwijsontwerp maatregelen worden genomen waardoor het chemische proces gaandeweg meer geabstraheerd en gemodelleerd wordt. Nuttig is hierbij het principe van *model progression* (White & Frederiksen, 1990) dat goed aansluit bij de niveautheorie van Van Hiele (Hiele van, 1986). Volgens van Hiele komt de essentie van onderwijs neer op het cyclisch doorbreken naar hogere abstractieniveau's. Tussen de niveau's onderling bestaat een discontinuïteit. Er is niet per se coherentie tussen de schemata op de diverse niveau's.

Een van de meest vruchteloze activiteiten is het aanbieden van onderwijs op een abstractieniveau (ver) boven het actuele niveau van een leerling. In plaats van inzicht en begrip wordt dan oppervlakkige, niet-ervlochten, vluchtige en niet-wendbare kennis aangebracht. Het kenmerk van activiteiten op hogere niveau's worden weerspiegeld door een ander taalgebruik met geheel nieuwe begrippen of oude begrippen met een andere inhoud en/of contextuele verknoping. Met Popper spreekt van Hiele over Wereld I, die van de verschijnselen. Door individuele abstractie ontstaat hieruit Wereld II die van iemands persoonlijke psyche. In de communicatie met anderen ontstaat Wereld III, het collectief van kennis van iedereen. Er is sprake van denkniveaus waarbij op ieder niveau anders wordt geargumenteed zodat ook wel eens over argumentatieniveaus wordt gesproken.

Op het allerlaagste Van Hiele 0-niveau, het *visuele/Gestalt*-niveau, worden alleen visuele waarnemingen gedaan. Taal is niet echt geschikt in deze fase van het onderwijsleerproces voor de

communicatie van deze visuele structuren van de ene mens naar de andere. (A picture is worth a 1000 words). Van Hiele: *Laat de "echte" structuur (Gestalt) de taak van de taal overnemen*. Voorbeeld uit de wiskunde: uit de argumentatie van leerlingen, waarom een bepaalde figuur een ruit is, blijkt dat deze structuur wordt herkend aan de visuele 'Gestalt'.

Op het Van Hiele 1-niveau, het beschrijvende *analytische/schema* niveau, kenmerkt zich het voortscheidende onderwijsleerproces door uitspraken van leerlingen over eigenschappen die niet visueel zijn, maar wel visueel gemaakt kunnen worden, o.a. aan de hand van een schema. Voorbeeld uit de wiskunde: uit de argumentatie van de leerlingen blijkt dat een gelijkbenige driehoek wordt herkend aan eigenschappen, de symmetrieas of de gelijkheid van twee zijden.

Op het Van Hiele 2-niveau, het informeel deductieve niveau, worden uitspraken in het onderwijsleerproces gekenmerkt door het gebruik van mentale handelingen en symbolen. Alle begrippen die in deze uitspraken voorkomen zijn niet visueel, en hebben ook betrekking op niet-visuele zaken. Voorbeeld uit de wiskunde: uit de argumentatie van leerlingen blijkt dat leerlingen zelf in een reeks van mentale handelingen, inclusief symbool- en formulegebruik, een bewijs leveren dat een figuur een ruit is.

Op het Van Hiele 3-niveau, het theoretisch-deductieve niveau, staat in uitspraken in het onderwijsleerproces de bestudering van de structuren op het tweede niveau centraal. Voorbeeld uit de wiskunde: uit de argumentatie van de leerlingen blijkt dat zij, afhankelijk van de definitie, tot de keuze van een bepaald soort van bewijs komen.

Het gaat er nu om dat er een proces van niveauverhoging plaatsvindt dat wordt gestimuleerd door de docent en het gebruikte materiaal. Het gaat er hierbij met name om dat leerlingen in hun leerproces *activiteiten* ondernemen, uitgelokt door de docent en/of het materiaal, om naar een volgend abstractieniveau door te breken. Om naar het volgend abstractieniveau door te breken is volgens van Hiele naast een motief om dit te willen ook een *crisis in het denken* nodig. Deze laatste term kan naar onze opvatting hier echter beter vervangen worden door *kritische fase*, gezien de attitude van deze 5V-populatie, die niet zo gauw crises ervaart op gebied van Chemie.

Wij zijn in dit onderzoek met name geïnteresseerd in kennis op van Hiele-niveau 2. De meetinstrumenten zijn naar vorm en inhoud dan ook in deze lijn ontworpen. Hoewel dit extra praktische en theoretische problemen oplevert, wordt er met name geen gebruik gemaakt van gesloten vraagtypen en is de pretest niet dezelfde als de posttest.

De samenhang tussen onderwijsontwerpprincipes, feitelijke ingezette middelen en mogelijke onderbouwing vanuit theoretisch perspectief staan in het schema van bijlage I.

Bij het onderzoek van leereffecten is het tijdsinterval een belangrijke variabele. Geïnspireerd door Hickey et al. (Hickey, Zuiker, Taasobshirazi, Schafer, & Michael, 2006) en gelet op het niet-lineaire afnemen van niet-onderhouden kennis in de tijd (Woltz & Shute, 1995), zal in dit artikel een tijdsintervalindeling worden gebruikt, waarbij een logaritmische schaal enige equidistantie toont (zie fig. 0). Omdat het meeste onderzoek aan verslechtering van geheugenprestaties in de tijd relatief eenvoudige lexicale taken, zoals imprenten, herkennen, uit het geheugen halen van woorden en afmaken van woordconstructies betreft, is het toepassen op andere dan declaratieve en gecompileerde kennis (T. Jong de & Ferguson-Hessler, 1996) echter wel vooralsnog hypothetisch.

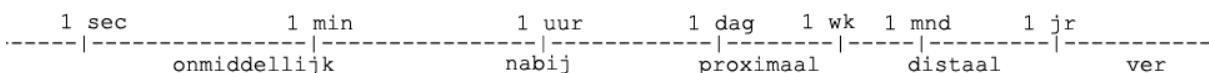


Fig. 0. In dit artikel gebruikte aanduiding voor tijdsintervallen.

### 3 Vraagstellingen

**Onderzoeksvraag 1: Kan het toepassen van pretesten het nabije leereffect van een computersimulatie verhogen?**

**Onderzoeksvraag 2: Is er een distaal leereffect (d.w.z. na ongeveer 2 maanden)?**

### 4 Methode

We gaan achtereenvolgens in op het design, de participanten, de instrumenten, het materiaal, de procedure, de correctieprocedure, de statistische analyse, en de bepaling van de onderwijswinst.

#### 4.1 Design.

Het Solomon Four groupdesign (Campbell & Stanley, 1963) is een manier om het pretest-effect te onderscheiden van de verder te onderzoeken interventie-effecten. In de oorspronkelijke Solomon Four-opzet (Solomon, 1949) is er sprake van 4 groepen :

(wel/geen pretest) \* (wel/geen Treatment). Omdat er bij de treatment ook nog sprake is van wel of geen peersupport is hier sprake van een uitgebreide Solomon 4 opzet. In tabel 1 is het design samengevat, waarbij p = wél een pretest, S = simulatie P = peer support

Tabel 1: uitgebreide Solomon 4 opzet

groep	wel/geen pretest/treatment (R) = randomisatie	nulmeting (observatie)	Treatment	meting resultaat (observatie)	test na 2 mnd
0	geen treatment, geen observaties alleen test na 2 mnd (O <sub>3</sub> )				O <sub>3</sub>
B	controlegroep wel posttest O <sub>2</sub> test na 2 mnd O <sub>3</sub>	(R)		O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
S	geen pretest wel simulatie test na 2 mnd O <sub>3</sub>	(R)	X <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
pS	wel pretest wel simulatie wel peersupport test na 2 mnd O <sub>3</sub>	(R) O <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
SP	geen pretest wel simulatie wel peersupport test na 2 mnd O <sub>3</sub>	(R)	X <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
pSP	wel pretest wel simulatie wel peersupport test na 2 mnd O <sub>3</sub>	(R) O <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
T	peer tutor groep	(R)	X <sub>0</sub> X <sub>~2</sub>	O <sub>1</sub> /O <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>

#### 4.2 Participanten

Uit de gecombineerde populatie van twee samengevoegde scholen werden uit 5VWO leerlingen geselecteerd met Scheikunde in hun pakket en geboren en in de loop van het cursusjaar 17 werden. Al deze leerlingen volgden ook Natuurkunde en Wiskunde. Een klein deel volgde Latijn. Alle geselecteerde leerlingen zaten voor het eerst in 5VWO. Uit deze groep van 69 leerlingen werd

volledig gecomputeriseerd via een tweetraps randomisatieprocedure een selectie van 2 maal 16 leerlingen gekozen. De procedure verliep aldus:

-Uit de groep werd at random een leerling werd gekozen. Bij deze leerling werd de *nearest neighbour* gezocht op basis van de *discrete* criteria (a) geslacht (b) voorgaande school (c) al of niet Latijn in het pakket en voorts de *continue* variabelen: (d) het gemiddelde scheikundeschool-examencijfer van het vorige jaar en (e) de BX (= een samengestelde index op basis van alle schoolexamenresultaten, over alle examenvakken genormaliseerd op een gemiddelde van 100 en een standaarddeviatie van 10)

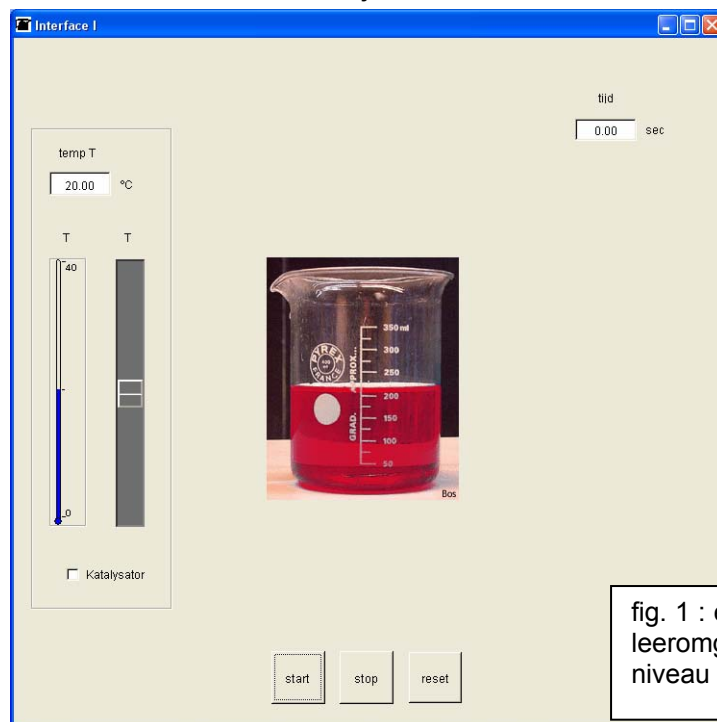
Een van de twee leerlingen werd in een tweede randomisatiestap willekeurig geplaatst in groep 1 óf groep 2 en de tweede leerling in de andere groep. Tijdens het experiment ontbrak één leerling. Zijn gegevens zijn uit de dataset verwijderd. Uit dezelfde groep van 69 leerlingen werd een controlegroep van 8 leerlingen at random gekozen (groep B). Uit vergelijkbare leerlingen uit 6VWO werd at random een groep van 16 peertutors gekozen (groep T). In tabel 1 staan wat relevante gegevens van de experimentele groepen uit 5VWO. Uit de F-testen en de  $X^2$ -test lijkt te concluderen, dat de groepen equivalent zijn.

	controlegroep (B)	groepen zonder Peersupport ('S')	groepen met Peersupport ('SP')
% mannelijk	50	44	40
BX $\pm$ sd	104.5 $\pm$ 8.3	103.9 $\pm$ 6.5	103.6 $\pm$ 7.1
Scheikundecijfer $\pm$ sd	7.05 $\pm$ 0.74	7.05 $\pm$ 0.80	7.14 $\pm$ 0.80
leeftijd $\pm$ sd (jaar)	16.3 $\pm$ 0.24	16.5 $\pm$ 0.26	16.4 $\pm$ 0.23
n	8	16	15

ANOVA van de 6 subgroepen leert, dat de groepen equivalent lijken wat betreft leeftijd ( $P=0.312$ ), BX ( $P=0.922$ ) en Scheikundecijfer ( $P=0.96$ ). Met een Pearsons  $X^2$ -test lijken de groepen onderling ook equivalent met betrekking tot geslacht ( $P=0.28$ ).

### 4.3 Instrumenten

De pretest bestond uit 9 open vragen en opgaven. Twee vragen zijn bedoeld om aan te sluiten bij intuïtieve of reeds aanwezige kennis (over de invloed van de temperatuur op de reactiesnelheid en factoren die de reactietijd zouden kunnen verkleinen). Een derde vraag sneed een praktisch probleem aan, namelijk "hoe de snelheid van een reactie te bepalen". Een vierde vraag zou naar analogie van het snelheidsbegrip uit de natuurkunde beantwoordbaar zijn. Alle andere vragen werden gesteld naar aanleiding van afbeeldingen van diagrammen.



Een derde vraag sneed een praktisch probleem aan, namelijk "hoe de snelheid van een reactie te bepalen". Een vierde vraag zou naar analogie van het snelheidsbegrip uit de natuurkunde beantwoordbaar zijn. Alle andere vragen werden gesteld naar aanleiding van afbeeldingen van diagrammen.

De pretest had dus een dubbele functie: voorkennis activeren én een nulmeting geven teneinde het leerresultaat van de simulatie te meten.

De posttest bestond uit 7 open vragen en opdrachten en leek in hoge mate op de pretest. In de posttest werd evenals in de pretest onder meer gebruik gemaakt van screenshots van diagrammen uit de computersimulatie.

fig. 1 : eerste operationele scherm van de leeromgeving met structuren op van Hiele niveau 0, *het visuele, "Gestalt"-niveau.*

#### 4.4 Interventie, Lesmateriaal ("X")

De simulatie werd gebouwd met het systeem *SIMQUEST* versie 3 $\beta$ , een auteursysteem, dat bedoeld is om op simulatie gebaseerde leeromgevingen te ontwerpen en te bouwen. De belangrijkste al gerealiseerde toepassingen liggen op de verwerving van conceptuele kennis, inz. in de natuurkunde (de Jong et al., 1998). Voor deze studie werd in deze auteursomgeving een kwantitatieve, dynamische, gestructureerde simulatie gebouwd met daarin het conceptuele model van de snelheid van een chemische reactie. Zoals aangegeven in het theoretisch kader, is een vergaande vorm van abstractie nodig om het onderwerp *reactiesnelheden* eigen te kunnen maken. Wij beschrijven hierna het digitale onderwijsontwerp aan de hand van de Van Hiele abstractieniveaus (Hiele van, 1986), zie ook het theoretisch kader.

De simulatie begint op het Van Hiele 0-niveau, het visuele / Gestaltniveau van de visuele waarnemingen, aan de hand van dan ook met een bewerkte foto van een bekersglas, gevuld met een rode vloeistof. Door muisklik op een knop begint een digitale klok te lopen en verandert de kleur van de vloeistof gaandeweg in blauw.

Uit de inleiding is duidelijk, dat hier sprake is van de psychosynthetische kleurstof Romeins Rood (RR) die wordt omgezet in Byzantijns Blauw (BB) volgens de vergelijking  $RR \rightarrow BB$ . Zonder dat er ingewikkelde bespiegelingen of berekeningen noodzakelijk zijn, is het voor een 5VWO-leerling intuïtief duidelijk, dat hier (schijnbaar !) een chemische reactie verloopt. In de termen van Van Hiele is in de simulatie hier sprake van een sterke structuur, waarmee hij wil uitdrukken, dat er een hoge mate van voorspelbaarheid is. In dit prille stadium van het onderwijsleerproces is de ermee gepaard gaande robuustheid zeker geen nadeel. De leerlingactiviteit bestaat uit observeren en hopelijk het verband zien met eerder waargenomen chemische processen. De leerling gaat vanzelf met de muis klikken en ziet een en ander gebeuren. Doordat het proces naar believen kan worden herhaald wordt het proces voor de leerlingen allengs een vertrouwd verschijnsel. Om vanuit dit niveau van uitsluitend perceptieve acties in stapjes naar het volgend niveau te komen (vHN-1, het *analytische/schema* niveau) worden een aantal eenvoudige metingen verricht. De leerling wordt gevraagd de temperatuur te wijzigen en de invloed van temperatuurverhoging op het verloop van de reactie te expliciteren. Wanneer de leerling dit gedaan heeft en naar een volgende fase gaat, wordt de conclusie in de gangbare taal van Wereld III samengevat : bij temperatuurverhoging verloopt een reactie sneller,

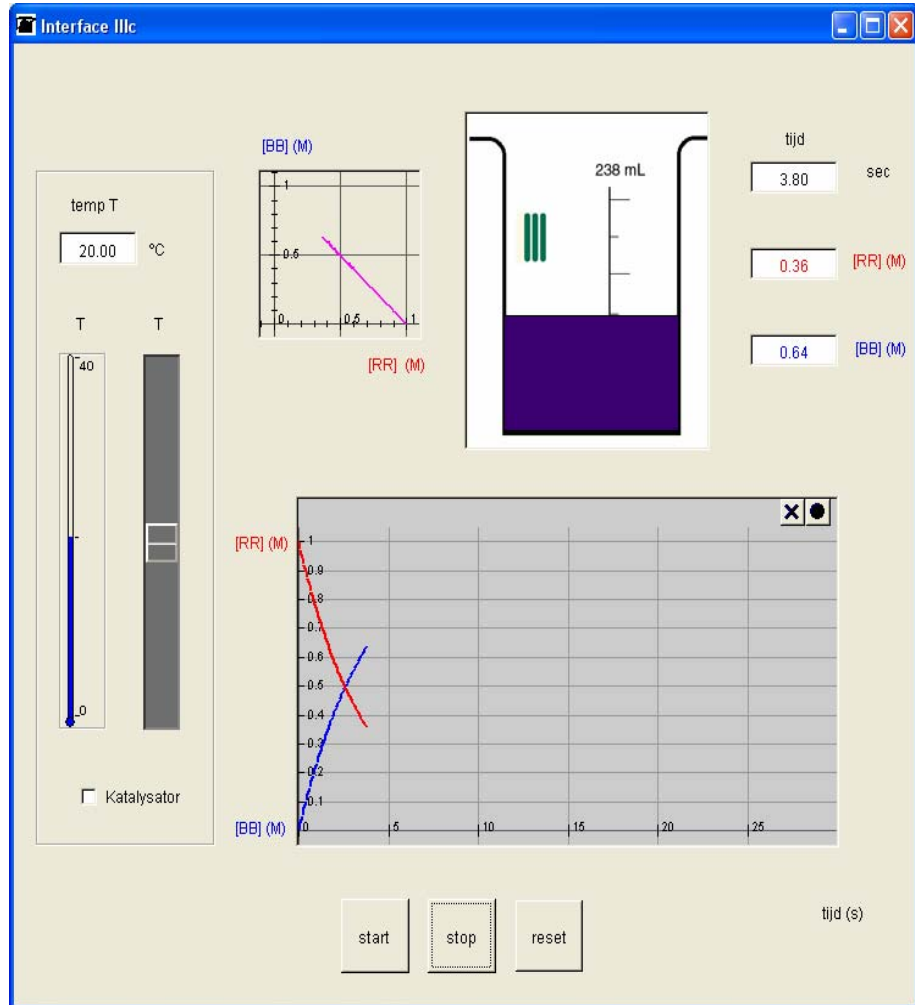


fig. 2 : Aan de leerling wordt gevraagd met behulp van de diagrammen relaties af te leiden. Dit zijn operaties op van Hiele-niveau 2, het *theoretische niveau*.

iets wat een leerling gemakkelijk heeft kunnen waarnemen c.q. verifiëren en waarvoor geen ingewikkelde discussies vereist zijn. Er is hier sprake van geleide oriëntatie, een fase die volgens van Hiele in veel instructiemethoden voorkomt. Het doel is om de belangrijkste concepten en hun verbanden te laten zien. Om de metingen preciezer te maken en de basis voor een later te introduceren begrip (de *reactietijd*) te leggen wordt er gewezen op de *binair optische sensor*: een merktekentje, dat verdwijnt als 90% van het Romeins Rood is omgezet. Er worden nu met behulp van deze sensor metingen verricht aan het effect van een katalysator. Het karakter in deze fase is al iets abstracter maar is nog steeds gekoppeld aan het visueel waarneembare. Het verschil met het vorige strikt visuele niveau is de mogelijkheid van mentale acties. Om abstractere karakter nog wat te accentueren wordt naast het bekerglas ook een schematische tekening van het bekerglas met daarin een felrood vlak afgebeeld. Het felrode vlak verandert in een felblauw vlak. Om naar van Hiele niveau 2 (vHN-2, het *informeel deductieve/theoretische* niveau) wordt na het starten van het proces op het scherm een concentratie-tijd diagram opgebouwd, tezamen met het model van het bekerglas. In het diagram wordt met een felrode curve de afname van de concentratie van het Romeins Rood tijdens de reactie duidelijk. Nu wordt gevraagd om uit te zoeken, op welk moment 90% van het Romeins Rood omgezet is. Het begrip **reactietijd** wordt op deze manier niet via een definitie vooraf maar via een activiteit geïntroduceerd. Op het moment, dat de oorspronkelijke visuele structuur naar de achtergrond verdwenen is en er mentale handelingen worden verricht is definitief een hoger niveau bereikt. Het concentratie/tijd-diagram kan nu als nieuwe visuele basisstructuur gaan functioneren in een nieuwe leercyclus. In dit nieuwe niveau kan worden gereflecteerd op het vorige niveau. De crux is het simultaan vertonen van een vertrouwd geworden structuur en een gekoppelde nieuwe structuur, operaties te laten verrichten met de nieuwe structuur en hiermee de cyclus opnieuw te starten. Zo wordt met de mentale focus een estafette georganiseerd, waarbij achtereenvolgens de volgende begrippen en relaties worden geïntroduceerd:

● **De massabalans:**

$[RR] + [BB] = \text{constant}$ . Deze relatie volgt uit het gelijktijdig tonen van rode curve  $[RR]$  en een blauwe curve  $[BB]$ . Als extra hulpmiddel is er een diagram, waar op de y-as de BB-concentratie staat en op de x-as die van RR.

(fig. 2.)

● **De reactiesnelheid** : met behulp van de blauwe curve  $[BB]$  wordt een gemiddelde toename van  $[BB]$  in een bepaald tijdsinterval bepaald. Via deze gemiddelde snelheid is het een kleine stap naar het momentane snelheidsbegrip. Deze wordt visueel geïntroduceerd door het dynamisch tonen van een raaklijn aan de blauwe BB-curve. Boven de raaklijn staat de getalswaarde van de helling en wordt tegelijkertijd een diagram van de snelheid getoond.

● **Het wezenlijke kenmerk** van een eerste orde proces : in een diagram wordt de gelijkvormigheid van de  $[RR]$ /tijdcurve en de snelheidsheid/tijdcurve nader gepreciseerd met een snelheids/concentratiecurve, waaruit blijkt, dat de snelheid recht evenredig is met de RR-concentratie.

Naast deze 3 hoofdthema's worden ook nog de invloed van de katalysator en de invloed van de temperatuur aangestipt, maar in deze simulatie niet verder dan in niveau 1.

Eerste orde proces :  
 $d[RR]/dt = -k[RR]$   
 $\Rightarrow d[RR]/[RR] = -kdt$   
 $\Rightarrow \ln\{[RR]\} = -kdt$   
 op  $t = 0$  is  $[RR] = [RR]_0$   
 $\Rightarrow [RR] = [RR]_0 e^{-kt}$   
 waarbij  $k = A e^{-E/RT}$

Wat in de simulatie wordt toegepast kan worden beschreven met het herhaald doorlopen van de van Hiele niveaus 0 - 1 - 2. De hogere niveau's die van Hiele beschrijft (vHn-3 *formeel deductief* en vHn-4 *rigor*) komen in dit stuk leerstof van het Scheikundecurriculum niet voor.

In fig.3 staat een voorbeeld van een redenering op vHn-3, interessant voor sommige leerlingen maar dan een (paar) jaar later.

fig.3: voorbeeld van een afleiding op van Hiele niveau 3, het *formeel/ deductieve* niveau .

Om met het lesmateriaal om te kunnen gaan was een hoeveelheid procedurele en declaratieve voorkennis noodzakelijk: de begrippen katalysator, congruentie, gelijkvormigheid, recht-evenredigheid, eerste afgeleide. Voorts was het noodzakelijk grafische voorstelling van lineaire functies te kunnen omzetten in een algebraïsche uitdrukking vice versa en moest de leerling in staat zijn de getalswaarde van een richtingscoëfficiënt van een lijn te bepalen. De simulatieomgeving bood de leerling 12 opdrachten aan. Er was een duidelijke, logische volgorde maar naar believen kon er terug worden gegaan naar een reeds afgewerkt opdracht. Alle gegeven antwoorden op vragen en alle events zoals muisklikken werden elektronisch vastgelegd in een logfile om leerling-systeeminteractie te kunnen volgen.

Aan het eind van iedere opdracht werd een overzicht gegeven van essentiële leerinhoud.

#### 4.5 Procedure.

Het experiment werd aan het begin van het nieuwe schooljaar uitgevoerd.

De peertutors hadden aanvankelijk geen ervaring met de elektronische leeromgeving, vandaar dat een gedegen training werd gegeven in een mix van korte instructies (<10 minuten), maken van relevante opdrachten, de simulatie doorwerken, een test (verschillend van pre- en posttest, maar wel over hetzelfde onderwerp) maken, een peerassessment van deze test uitvoeren en de simulatie nogmaals doorwerken. Door de *intuitivity* van het interfaceontwerp bleek het eenvoudig om met de simulatie te werken. Er waren geen problemen met de software of met het computersysteem. Er mocht worden aangenomen, dat de domeinkennis die een 5V-leerling uit het 4e jaar meenam, beperkt was tot een niet-quantitatieve notie, dat een reactie versneld kan worden door verhogen van de temperatuur en/of een katalysator. Het analoge snelheidsconcept was wel bij Natuurkunde aan de orde geweest. De simulatieomgeving was nieuw voor hen.

Aan iedere leerling uit de experimentele groep met peersupport werd een peertutor gekoppeld. Deze groepen werd gesorteerd op toenemende BX en de peertutors omgekeerd dus of afnemende BX, zodat de leerling met de hoogste BX gekoppeld werd aan de peertutor met de laagste BX etc. Aan het begin werd aan een willekeurig gekozen helft van de experimentele groep een pretest gegeven (hierna te noemen de *pSP-groep*, *p*=pretest *S*=met simulatie *P*=met peersupport). Iedereen voltooide de pretest binnen de geplande 20 minuten. De andere helft (de *SP-groep*) kreeg een Asterix te lezen.

Na het maken van de pretest / lezen van de strip werd de P-groep gevraagd, tezamen met de tutor de simulatie door te werken. De instructie voor de tutor was om de tutee "op alle mogelijke manieren" te helpen. Voor het doorwerken van de simulatie was 50 minuten beschikbaar. Onmiddellijk na het experiment werd de P-groep geïsoleerd in een apart leslokaal om onder school-examencondities een papieren posttest te maken. Ook de peertutors maakten deze posttest. Voor de posttest was 30 minuten beschikbaar. Alle leerlingen waren klaar binnen deze tijd.

Op dezelfde wijze werd de rest van het experiment afgewerkt met het restant van de deelnemende leerlingen. Rond deze tijd maakte een willekeurig gekozen helft van de rest van de experimentele groep de pretest, (de groep *pS*, *p*=pretest, *S*= alléén een simulatie, dus zonder peersupport). De andere helft (de groep *S*) kreeg een Asterix te lezen. Na het zelfstandig doorwerken van de simulatie kreeg al deze leerlingen de posttest.

Tegelijkertijd kreeg een groep (de controlegroep) geïsoleerd in een derde klaslokaal de posttest te maken, dus zonder pretest en zonder simulatie (de groep B).

Na precies 2 maanden namen alle leerlingen deel aan een officieel schoolexamen Scheikunde. Voor 5VWO bestond de stof voor het examen uit reactiekinetiek en chemische evenwichten. De eerste vraag van het schoolexamen had betrekking op het onderwerp van dit onderzoek.

Er werden het concentratie/tijd-diagram van de reactie  $2P \rightarrow Q$  getoond en de leerling werd gevraagd de hoe uit het eerste diagram de stoichiometrie van deze reactie af te leiden is.

In een tweede diagram werd de snelheid /tijd diagram van dezelfde reactie getoond en de leerling werd gevraagd hoe het tweede diagram uit het eerste af te leiden is.

In het derde onderdeel werd de leerling gevraagd op een eenvoudige manier aan te tonen, dat hier sprake was van een tweede orde proces. Deze vragen staan in bijlage II.

#### 4.6 Correctieprocedure.

De pre- en posttest werden tot op het niveau van betekenisvolle items *geatomiseerd*. De testen werden dichotoom gescoord door 2 externe onafhankelijke correctoren. Bij verschil tussen de scores van correctoren werd het gemiddelde van de twee scores genomen.

#### 4.7 Statistische analyse.

Met SPSS werd een variantieanalyse en een meervoudige vergelijking volgens Bonferroni uitgevoerd (significantie criterium 5%). Met het VISTA 6-pakket werd een 2-way-ANOVA uitgevoerd. Een toets-item-analyse werd uitgevoerd met het programma TIAPLUS versie 2.1 (CITO, 2004). Powerberekeningen werden uitgevoerd met PS : Power and Sample Size Calculations version 2.1.31.

#### 4.8 Bepaling van onderwijswinst.

Wanneer er alleen naar posttestresultaten wordt gekeken, kunnen alleen verschillen in uiteindelijke effecten van diverse interventies in beeld komen. Voor een berekening van *winst* is het nodig het aanvangsniveau te kennen. Om het effect van een treatment bij leerlingen of groepen van leerlingen met verschillende pretestniveau met elkaar te kunnen vergelijken is het noodzakelijk voor het pretestniveau te corrigeren.

Bij diverse test-retest-experimenten werd in de vakken Frans, Informatica en Scheikunde empirisch een sterk verband vastgesteld tussen posttest en pretest (Bos, Terlouw, & Pilot, 2006). Dit verband kan worden gebruikt om de variabele *pretest* te elimineren en aldus onderwijswinst te berekenen.

Wanneer de pretestscores worden gedeeld door de maximaal te behalen pretestscore en we deze variabele  $x$  noemen ( $x = \text{pretestscore} / \text{maximum\_pretestscore}$   $0 \leq x \leq 1$ ) en dezelfde bewerking wordt toegepast op de posttestscores en deze variabele  $y$  noemen, kan de verhouding  $f = y/x$  met de machtsfunctie  $f = x^{-B}$  worden beschreven. De exponent  $B$  is een robuuste maat voor de kennisgroei in een pretest-interventie-posttest-design (OXO'-design). Normaliter is het posttest resultaat groter dan het pretestresultaat (anders is er niets geleerd) en ligt  $B$  tussen 0 en 1. Met de schattingen van de fout in parameter  $B$  kunnen uitspraken over de significantie van verschillen worden ondersteund. Via ijking met behulp van data uit een review van Hake (Hake, 1998) is een nadere nominale karakterisering van  $B$  vastgesteld (zie tabel 3). Bij deze ijking werden afgeronde waarden van het 33e en 67e percentiel van gevonden  $B$ -waarden gebruikt als afbakening.

Als extra service voor de lezers die gewend zijn aan klassieke effectmetingen is ook de waarde 'd' volgens Cohen (Cohen, 1988) bepaald. Effect-groottes van meer dan 3 standaarddeviaties berekend volgens Cohen-methode mogen als zeer groot beschouwd worden.

exponent	leerwinsttypering
$B \leq 0.40$	laag
$0.40 < B < 0.60$	gemiddeld
$B \geq 0.60$	hoog

Tabel 3 : Nominale schaal voor de kennisgroei-exponent  $B$

Uit de resultaten bleek, dat de posttest wat gemakkelijker was dan de pretest. Dit heeft consequenties voor het berekenen van de leerwinst. Om hiervoor te corrigeren, zijn de scores van de pretest via een z-transformatie eerst teruggebracht naar een gemiddelde van 0 en een standaardafwijking van 1 en vervolgens weer getransformeerd naar gemiddelde en standaardafwijking van de posttestresultaten van de controlegroep (groep B).



## 4.9 Powerberekeningen

Post hoc power-berekeningen voor de kennisgroeiexponent met  $\alpha = 0.05$ , een power van 0.80 en een educatief significante toename van 50% van de kennisgroeiexponent gaven een minimale celgrootte van 7 leerlingen. In alle gevallen is de celgrootte gelijk of groter dan dit aantal.

## 5 Resultaten

In tabel 4 staan onder meer de gemiddelde scores voor pre- en posttest.

pretest				posttest																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>groep</th> <th>score <math>\pm</math> sd</th> <th>in %</th> <th>n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>pS</td> <td>4.63 <math>\pm</math> 1.60</td> <td>17.1</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>pSP</td> <td>3.71 <math>\pm</math> 2.04</td> <td>13.8</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>				groep	score $\pm$ sd	in %	n	pS	4.63 $\pm$ 1.60	17.1	8	pSP	3.71 $\pm$ 2.04	13.8	7	<table border="1"> <thead> <tr> <th>groep</th> <th>score <math>\pm</math> sd</th> <th>in %</th> <th>n</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>B</td> <td>8.02 <math>\pm</math> 3.55</td> <td>29.7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>S</td> <td>11.80 <math>\pm</math> 2.04</td> <td>43.7</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>pS</td> <td>15.09 <math>\pm</math> 4.96</td> <td>55.9</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>SP</td> <td>14.33 <math>\pm</math> 3.75</td> <td>53.1</td> <td>8</td> </tr> <tr> <td>pSP</td> <td>18.79 <math>\pm</math> 2.69</td> <td>69.6</td> <td>7</td> </tr> </tbody> </table>				groep	score $\pm$ sd	in %	n	B	8.02 $\pm$ 3.55	29.7	8	S	11.80 $\pm$ 2.04	43.7	8	pS	15.09 $\pm$ 4.96	55.9	8	SP	14.33 $\pm$ 3.75	53.1	8	pSP	18.79 $\pm$ 2.69	69.6	7
groep	score $\pm$ sd	in %	n																																								
pS	4.63 $\pm$ 1.60	17.1	8																																								
pSP	3.71 $\pm$ 2.04	13.8	7																																								
groep	score $\pm$ sd	in %	n																																								
B	8.02 $\pm$ 3.55	29.7	8																																								
S	11.80 $\pm$ 2.04	43.7	8																																								
pS	15.09 $\pm$ 4.96	55.9	8																																								
SP	14.33 $\pm$ 3.75	53.1	8																																								
pSP	18.79 $\pm$ 2.69	69.6	7																																								
Cronbach's $\alpha = 0.946$				Cronbach's $\alpha = 0.743$																																							
maximale score = 27 (beide testen)																																											
correlatiecoëfficiënt = 0.98 (tussen de correctoren, beide testen)																																											

Tabel 4.

De pretest-scores voor de pS en de pSP-groep verschillen niet significant:  $t(df=13)=0.97$ ,  $P=0.36$ . De posttestscores waren van de B-groep significant hoger dan de pretestscores van de groepen pS en pSP ( $F(1,21)=11,88$ ;  $P=0.002$ ). De pretest was dus relatief moeilijker dan de posttest. Bij de leerwinstberekening zijn de pre-testwaarden gecorrigeerd via een z-transformatie (dus naar een gemiddelde van  $0 \pm 1$ ), gevolgd door een lineaire transformatie naar het gemiddelde en standaarddeviatie van de posttest van de B-groep.

na correctie voor moeilijker pretest		groep $\rightarrow$	pS	pSP
Leerwinstexponent B (Bos et al., 2006)	$B \pm S_e$		$0.51 \pm 0.10$	$0.76 \pm 0.035$
Average normalized gain $\langle g \rangle$ (Hake, 1998)	$\langle g \rangle$		0.34	0.59
Effect size "d" (Cohen 1988)	d		2.8	6.3

Tabel 5a. Leerwinst, gain en effect size na correctie voor de iets moeilijker pretest.

De leerwinst B van de groep pS is als *gemiddeld* en die van de pSP groep is als *hoog* te karakteriseren. Soortgelijke karakterisering volgen uit de gain  $\langle g \rangle$  en de daarbij horende normering volgens Hake (Hake, 1998). De effect size van de pSP-groep mag zelfs extreem hoog gewaardeerd worden vergeleken met klassieke, niet-interactieve interventies (Anderson, Corbett, Koe-dinger, & Pelletier, 1995). De leerwinstexponent B van de pSP-groep is significant hoger dan die van de pS-groep ( $P=0.040$ )

De leerwinstexponenten die bij het gebruik van groepsgemiddelden kunnen worden berekend staan in tabel 5b.

	Exponent B
B	0
S	0.318
pS	0.521
SP	0.479
pSP	0.701

Tabel 5b. Leerwinstexponenten berekend met behulp van groepsgemiddelden.

De resultaten van een eenvoudig lineair regressiemodel, waarbij de exponent opgebouwd is afzonderlijke componenten, staat in tabel 5c.

	Niet-gestandaardiseerde coëfficiënten		Gestandaardiseerde coëfficiënten	t	Significantie p
	B	Std. Error	Beta		
(Constant)	0.000	0.010		0.000	1.000
Simulatie	0.313	0.013	0.531	23.580	0.027
pré-test	0.213	0.010	0.442	21.205	0.030
peersupport	0.171	0.010	0.354	16.988	0.037
Afhankelijke variabele : Leerwinstcoëfficiënt					

Tabel 5c: resultaten van lineaire regressie van leerwinstexponenten op basis van groepsgemiddelden.

Enkelvoudige Anova van de posttest scores tonen een significant effect voor de verschillende groepen (B, S ..pSP) :  $F(4, 34) = 9.551$ , Sig = 0.000028. Post hoc meervoudige vergelijking volgens (de conservatieve) Bonferroni aanpassingen geeft de het volgende resultaat:

Meervoudige vergelijking volgens Bonferroni : de <b>scores</b>	verschillen (I-J) posttest-score (0-100 schaal)					
		B	S	pS	SP	pSP
referentie (alleen O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	B		-14.0	-26.2	-23.4	-39.9
geen pre-test, wel simulatie	S	14.0		-12.2	-9.4	-25.9
zowel pretest als simulatie	pS	26.2	12.2		2.8	-13.7
geen pretest, wel simulatie + peersupport	SP	23.4	9.4	-2.8		-16.5
zowel pretest als simulatie + peersupport	pSP	39.9	25.9	13.7	16.5	
Meervoudige vergelijking volgens Bonferroni: de <b>significantie</b>	significantie P van verschillen in posttest-score					
		B	S	pS	P	pP
referentie (alleen O <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> )	B		0.41	0.0035	0.012	0.000014
geen pre-test, wel simulatie	S	0.41		0.73	1	0.0059
zowel pretest als simulatie	pS	0.0035	0.73		1	0.53
geen pretest, wel simulatie + peersupport	SP	0.012	1	1		0.21
zowel pretest als simulatie + peersupport	pSP	0.000014	0.0059	0.53	0.21	

Tabel 6. Meervoudige vergelijking volgens Bonferroni van posttestscores en significantie daarvan.

Een tweeweg-Anova van de posttestdata geeft het volgende resultaat (tabel 7) :

Source	SS	df	MS	F-ratio	P-value
Peersupport	73.91	1	73.91	5.98	0.0201
Pre-test	115.06	1	115.06	9.31	0.0049
All Sources	188.97	2	94.49	7.65	0.0022
Error	345.99	28	12.36		
Total	534.96	30			

Tabel 7 : Tweeweg-Anova van de posttestdata.

De groepen, waarin een pretest wordt gemaakt scoren dus significant hoger dan de andere groepen. Dit effect wordt versterkt wanneer peertutors ingezet worden .

Om pre- en posttest met elkaar te vergelijken werd aan de peertutors at random in twee groepen verdeeld. Onmiddellijk na hun inzet als peertutor maakte de ene groep de posttest en de andere groep tegelijkertijd de pretest. De resultaten staan in tabel 8. Het verschil is niet significant:  $t(df=14) = 0.50$   $p=0.62$ . Er is hier sprake van een plafond-effect.

	score $\pm$ sd	in %	n
pretest door T na afloop gemaakt	24.40 $\pm$ 1.69	90.5	7
posttest door T	24.94 $\pm$ 2.42	92.4	9

Tabel 8: Resultaten van pre- en posttest, gemaakt door de peer-tutors ná het experiment.

In tabel 9 staan de resultaten van de eerste vraag van het schoolexamen Scheikunde.

Schoolexamen na 2 mnd.			
groep	score $\pm$ sd	in %	n
0	5.34 $\pm$ 2.75	41.1	45
B	5.94 $\pm$ 2.52	45.7	8
S	6.41 $\pm$ 2.84	49.3	8
pS	8.32 $\pm$ 3.14	64.0	7
SP	4.16 $\pm$ 2.94	32.0	8
pSP	6.79 $\pm$ 3.71	52.2	7
T	8.22 $\pm$ 2.68	63.2	16
Cronbach's $\alpha = 0.44$			
maximale score = 13			

Tabel 9: Resultaten van vraag 1 van het officiële schoolexamen, na twee maanden.

Een ANOVA van de schoolexamenresultaten van alle groepen, afgezien van de peertutorgroep, geeft geen significant verschil.  $F(5,77) = 2.069$   $P=0.078$ .

Een Anova geeft wel een significant verschil  $F(2,72) = 3.289$   $P = 0.043$  wanneer er onderscheid wordt gemaakt tussen

- leerlingen die niet mee hebben gedaan met het experiment groep 0,
- leerlingen die geen pretest hebben gedaan (groep S en SP)
- leerlingen wel een pretest hebben gedaan (groepen pS en pSP):

Bonferroni meervoudige vergelijking	verschil SE-score (0-100 schaal)			
		0	S+SP	pS+pSP
niet in het experiment	0		-0.44	17.48
geen pretest	S+SP	-0.44		17.04
wel een pretest	pSP+pSP	17.48	17.04	
	significantie van verschillen SE-score			
		0	S+SP	pS+pSP
niet in het experiment	0		1	0.048
geen pretest	S+SP	1		0.113
wel een pretest	pS+pSP	0.048	0.113	

Tabel 10: Meervoudige vergelijking volgens Bonferroni van schoolexamenscores en significantie daarvan.

Er is dus een significant verschil tussen de experimentele groep die een pretest gemaakt hebben ten opzichte van leerlingen die in het geheel niet met het experiment mee hebben gedaan.

Er is geen significant verschil tussen de schoolexamenscores van de controlegroep uit het experiment (groep B) en de leerlingen die niet aan het experiment meededen (groep 0) :

$F(1,51) = 0.329$   $P = 0.57$ . Alleen het maken van een pretest, zonder dat er onmiddellijk een andere treatment op volgt heeft dus geen effect.

## 6 Conclusies

We zullen per onderzoeksvraag de conclusies weergeven.

### ***Onderzoeksvraag 1: Kan het toepassen van pretesten het nabije leereffect van een computersimulatie verhogen?***

Vergeleken met de controlegroep zijn de posttestscores significant hoger wanneer er eerst een pretest wordt gemaakt, zowel voor groepen waarin peersupport aanwezig was als waar dit niet zo was.

### ***Onderzoeksvraag 2: Is er een distaal leereffect (d.w.z. na ongeveer 2 maanden)?***

Wanneer schoolexamenresultaten na twee maanden van leerlingen buiten het experiment worden vergeleken met leerlingen in het experiment een pretest hebben gemaakt blijkt er nog steeds een significant verschil. Dat verschil is er niet bij leerlingen die geen pretest gemaakt hebben.

## 7 Discussie

Uit de resultaten blijkt de hoogste leerwinst ( $B=0.76$ ) behaald te worden als vóór de computersimulatie een pretest wordt gemaakt. Het gezamenlijke effect van simulatie en pretest is zo groot, dat na twee maanden nog steeds een effect meetbaar is, zij het, dat groepen met en zonder peersupport samengevoegd moeten worden om het effect te constateren. Hoewel de powerberekeningen aangeven, dat de celgroottes voldoende waren, accentueert dit laatste wel de Achilleshiel van dit soort onderzoeken: *kleine aantallen*.

In dit onderzoek ligt de nadruk op één ontwerpprincipe, te weten het toepassen van pretestsensivering, maar deze functioneert binnen één geheel. Een aantal ontwerpprincipes (toepassen peer support, pretestsensitisatie en simulatiesoftware) zijn gesynthetiseerd tot één principeontwerp. Het inzetten van een pretest sec heeft geen of wellicht weinig effect. Om *leren* te be-

werkstelligen moet er na een pretest een onmiddellijk hierop aansluitend leerproces volgen (Bos et al., 2007a). Een alternatieve verklaring, dat het pretesteffect uitsluitend verklaard zou kunnen doordat de participanten wat langer met de leerstof bezig zijn wordt door deze constatering minder waarschijnlijk. Gelet op het review van Strangman et al. (2004; zie het theoretisch kader) zijn de gevonden goede resultaten derhalve deels te verklaren uit de door hen als effectief geziene onderwijsstrategie: activeren van voorkennis (schemata) door het vooraf stellen van vragen (pretest). Uitgaande van ons theoretisch kader denken wij dat er door het pretesten een vorm van gevoelig maken is opgetreden. Wellicht is er mede daardoor met het verwerven van het conceptuele model van de snelheid van de chemische reactie sprake van 'mentale kiemvorming': er is met het conceptuele model een schema verworven die ankerpunten verschaft voor nieuwe kennis en vaardigheden, en voorkennis relateert aan nieuw te leren stof. Daarmee is meer begrip ontstaan voor het abstracte (Vos, 1990).

Maar er is nog een ontwerpprincipe in het ontwerp te onderscheiden : blijkbaar is het starten op een concreet niveau, dat intuïtief aanschouwelijk is (van Hiele niveau 0) een doeltreffend didactisch ontwerp voor dit als zeer abstract en moeilijk ervaren gedeelte uit de fysische chemie. Aan de hand van leeractiviteiten in het leerproces worden niveaus gemakkelijker doorbroken. De overgang naar een hoger abstractieniveau is daarbij een kritisch moment, waarbij de objecten op het voorgaande niveau begrepen moeten zijn én eigen gemaakt om op het volgende meer abstracte niveau te kunnen opereren. In dit kader zij ook gewezen op de overeenkomst tussen van Hiele's niveautheorie en Gal'Perins systematische vorming van mentale handelingen (Arievitch & Haenen, 2005).

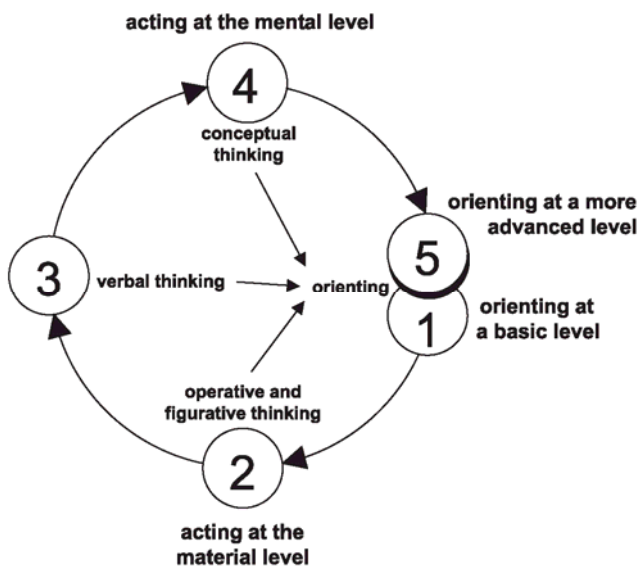


fig. 4: Gal'perins spiraal van ontwikkeling van mentale acties.

Het elegante van de inzet van een simulatie is het voordeel, dat de reactieparameters (de activeringsenergie en de invloed van de katalysator daarop, reactieconstante  $k$  en concentraties) *didactisch verantwoord* gekozen kunnen worden. De reactie is niet te snel en niet te langzaam, de katalysator is niet zo erg goed. Een te goede katalysator zou de reactie immers zo snel laten verlopen, dat er voor de leerling niets meer te meten valt. Een experiment kan naar willekeur herhaald worden en levert geen milieuvervuiling op. Dit mag overigens niet opgevat worden als pleidooi

voor een volledige vervanging van het practicum door simulaties. Het praktisch werken met echte chemicaliën en echte apparatuur is een onvervangbaar vertrekpunt. Een leerling herkent een simulatie van een chemische reactie pas als hij al eens een vergelijkbaar *echt* experiment met echte stoffen heeft gezien, geroken of gevoeld, activiteit die typisch op van Hiele-niveau 0 thuishoren.

Op het derde ontwerpprincipe, het toepassen van peer support wordt in een ander artikel ingegaan. McLoughlin en Oliver maken een *ruwe* indeling van het gebruik van educatieve software op basis van achterliggende theoretische principes (McLoughlin & Oliver, 1998). Op deze manier wordt onderscheid gemaakt tussen *Behaviourist*, *Constructivist* en *Socio-Cultural* getinte toepassingen. Hoewel sommige opdrachten in de door ons gebruikte simulatie wel meer dan eens door de deelnemers gemaakt zijn, is er in dit experiment zeker géén sprake van *drill and practice*. De makers van de gebruikte Simquest-simulatieomgeving karakteriseren het product als *constructivistisch* (T. Jong de & Joolingen van, 1998). Door de combinatie met peer-support krijgt het geheel ook cultuur-historische (*socio-cultural*) kenmerken. Opvallend in deze studie is het feit, dat de invloed van een relatief eenvoudig te organiseren ingreep als een pretest na een paar maanden nog merkbaar is, terwijl van de veel tijdsintensievere en organisatorische lastiger peer-support niets meer te meten valt. Nuttig is te onderzoeken of in een breder verband een even-

reactie pas als hij al eens een vergelijkbaar *echt* experiment met echte stoffen heeft gezien, geroken of gevoeld, activiteit die typisch op van Hiele-niveau 0 thuishoren.

wichtige mix van de drie genoemde typen onderwijsinterventies een groter effect heeft dan een ideologisch bepaalde voorkeur voor één van de drie.

## Referenties

- Anderson, J. R., Corbett, A. T., Koedinger, K. R., & Pelletier, R. (1995). Cognitive tutors: Lessons learned. *The Journal of the Learning Sciences*, 4(2), 167-207.
- Anderson, J. R., & Schunn, C. D. (2000). Implications of the ACT-R Learning Theory: No Magic Bullets. In R. Glaser (Ed.), *Advances in instructional psychology* (Vol. 5). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Arievitch, I. M., & Haenen, J. P. P. (2005). Connecting Sociocultural Theory and Educational Practice : Galperin's Approach. *Educational Psychologist*, 40(3), 155-165.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational Psychology. A cognitive view*. New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Bartlett, F. C. (1932). *Remembering: An Experimental and Social Study*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Benjafield, J. G. (2006). *Cognition* (3rd ed.). New York: Oxford University Press.
- Bloom, B. S. (1956). *Taxonomy of Educational Objectives. Handbook I: Cognitive Domain*. London: Longmans.
- Bos, A. B. H., & Terlouw, C. (2005). *Met ICT gevoelig maken voor het leren van bètabegrippen*. Paper presented at the Meten en Onderwijskundig Onderzoek, Proceedings van de 32e Onderwijs Research Dagen 2005, Gent.
- Bos, A. B. H., Terlouw, C., & Pilot, A. (2006). Calculating gains with pre- and post test scores. *in voorbereiding*.
- Bos, A. B. H., Terlouw, C., & Pilot, A. (2007a). Het effect van een presensitiverend interactief digitaal systeem op de verwerving van nieuwe natuurwetenschappelijke begrippen in het voortgezet onderwijs. *in voorbereiding*.
- Bos, A. B. H., Terlouw, C., & Pilot, A. (2007b). *Het effect van pretest-sensitisatie bij ontdekkend leren met behulp van een simulatie in het voortgezet onderwijs*. Paper presented at the ORD 2007, Zorgvuldig en Veelbelovend Onderwijs, Proceedings van de 34e Onderwijs Research Dagen, Groningen.
- Campbell, D. T., & Stanley, J. C. (1963). *Experimental and Quasi-experimental Designs for Research*. Chicago: Rand McNally.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral science* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Earlbaum Associates.
- Derry, J. (1996). Cognitive Schema Theory in the Constructivist Debate. *Educational Psychologist*, 31(3/4), 163-174.
- Dochy, F., & Alexander, P. A. (1995). Mapping prior knowledge: a framework for discussion among researchers. *European Journal of Psychology of Education*, 10(3), 225-242.
- Dochy, F., Segers, M., & Buehl, M. M. (1999a). The relation between assessment practices and outcomes of studies: The case of research on prior knowledge. *Review of Educational Research*, 69(2), 145-186.
- Driver, R., Asoko, H., Leach, J., Mortimer, E., & Scott, P. (1994). Constructing scientific knowledge in the classroom. *Educational Researcher*, 23, 5-12.
- Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement vs traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. *Am. J. Phys.*, 66, 64-74.
- Hennessy, S., Wishart, J., Whitelock, D., Deane, R., Brawn, R., Velle la, L., et al. (2007). Pedagogical approaches for technology-integrated science teaching. *Computers & Education*, 48, 137-152.
- Hickey, D. T., Zuiker, S. J., Taasobshirazi, G., Schafer, N. J., & Michael, M. A. (2006). Balancing Varied Assessment Functions to Attain Systemic Validity : Three is the Magic Number. *Studies in Educational Evaluation*, 32, 180-201.

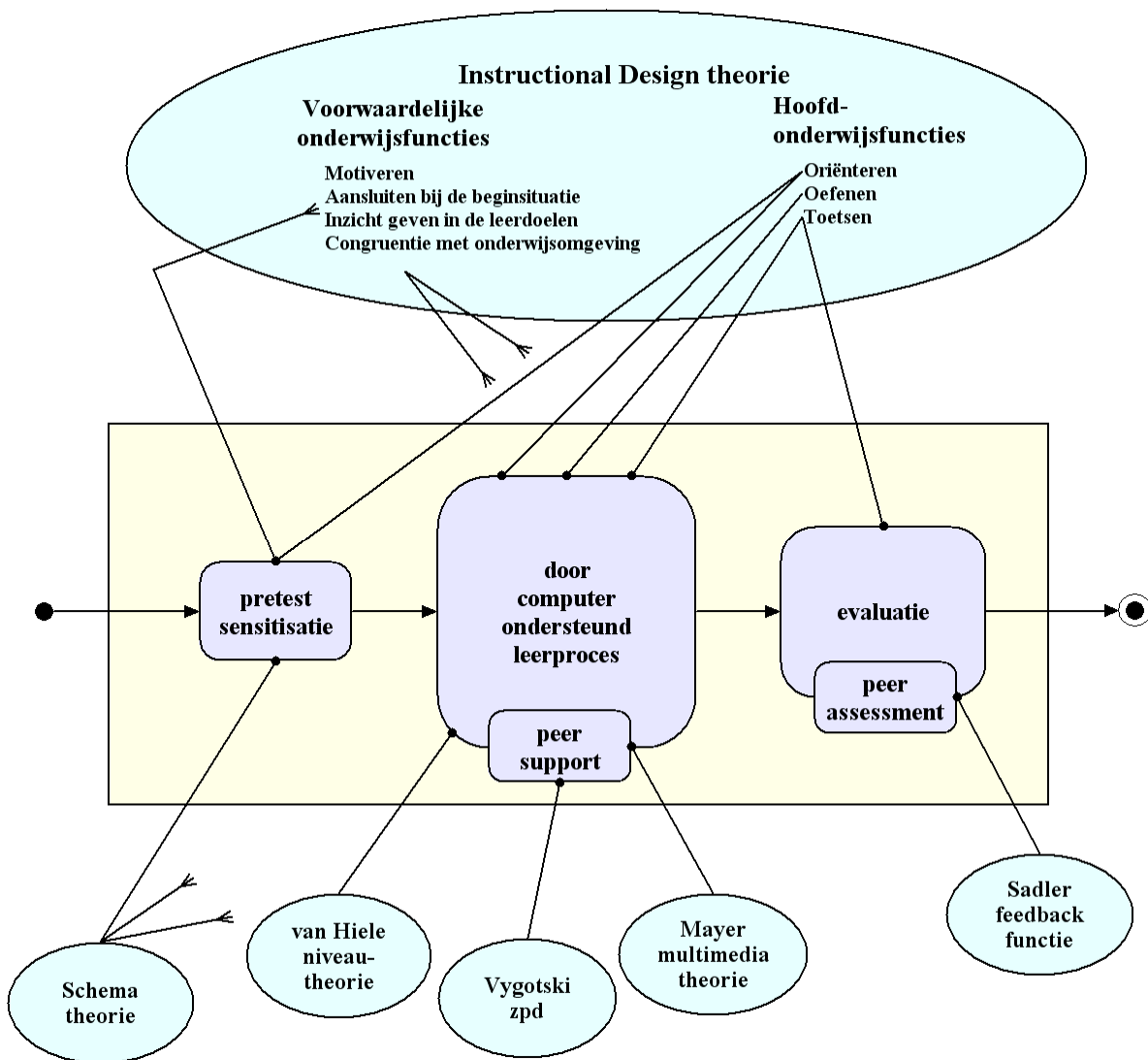
- Hiele van, P. M. (1986). *Structure and Insight, A Theory of Mathematics Education*. Orlando: Academic Press, INC.
- Jong de, T., & Ferguson-Hessler, M. G. M. (1996). Types and qualities of knowledge. *Educational Psychologist, 31*, 105-113.
- Jong de, T., & Joolingen van, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research, 68*(2), 179-201.
- de Jong, T., & van Joolingen, W. R. (1998). Scientific Discovery Learning with Computer Simulations of Conceptual Domains. *Review of Educational Research, 68*(2), 179-201.
- de Jong, T., van Joolingen, W. R., Swaak, J., Veermans, K. H., Limbach, R., King, S., et al. (1998). Self-directed learning in simulation-based discovery environments. *Journal of Computer Assisted Learning, 14*, 235-246.
- Kant, I. (1787). *Kritik der reinen Vernunft* (B ed.). Riga: Hartknoch.
- Kommers, P. (1997). Concept mapping. Special double issue on concept mapping. *Journal of Interactive Learning Research, 8*(3-4), 281-502.
- Lana, R. E. (1959). Pretest-treatment interaction effects in attitudinal studies. *Psychological Bulletin, 56*, 293-300.
- Lana, R. E. (1960). A further investigation of the pretest-treatment interaction effect. *Journal of Applied Psychology, 43*, 421-422.
- Lana, R. E. (1969). Pretest Sensitization. In Rosenthal & Rosnow (Eds.), *Artifact in Behavioral Research*. New York: Academic Press.
- Lana, R. E., & King, D. (1960). Learning factors as determiners of pretest sensitization. *Journal of Applied Psychology, 44*, 189-191.
- McLoughlin, C., & Oliver, R. (1998). Maximising the language and learning link in computer learning environments. *British Journal of Educational Technology, 29*(2), 125-136.
- McVee, M. B., Dunsmore, K., & Gavalek, J. R. (2005). Schema Theory Revisited. *Review of Educational Research, 75*(4), 531-566.
- Osborne, J., & Hennessy, S. (2003). *Literature review in Science Education and the role of ICT: promise, problems and future directions* (No. 6). Bristol: NESTA Future Lab.
- Qin, Z., Johnson, D. W., & Johnson, R. T. (1995). Cooperative Versus Competitive Efforts and Problem Solving. *Review of Educational Research, 65*(2), 129-143.
- Rebich, S., & Gautier, C. (2005). Concept mapping to reveal prior knowledge and conceptual change in a Mock Summit Course on global climate change. *Journal of Geoscience Education, 53*(4), 355-365.
- Ritzen, J. (2006). Hoger onderwijs tussen kennis en koopje. *TH&MA*(1).
- Roes, T. (2001). *De sociale staat van Nederland*. (Vol. 2001-14). Den Haag: SCP.
- Roschelle, J. (1995). *Learning in interactive environments: prior knowledge and new experience*. Retrieved November 3 2006 from [www.exploratorium.edu/IFI/resources/museumeducation.html](http://www.exploratorium.edu/IFI/resources/museumeducation.html)
- Rumelhart, D. E., & Orthony, A. (1977). The representation of knowledge in memory. In R.C. Anderson, R.J. Siro & W.E. Montague (Eds.), *Schooling and the acquisition of knowledge* (pp. 99-137). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Shadish, W. R., Cook, T. D., & Campbell, D. T. (2002). *Experimental and Quasi-Experimental Designs for Generalized Causal Inference*. Boston: Houghton Mifflin.
- Solomon, R. L. (1949). An extension of control group design. *Psychological Bulletin, 46*, 137-150.
- Springer, L., Stanne, M. E., & Donovan, S. E. (1999). Effects of Small-Group Learning on Undergraduates in Science, Mathematics, Engineering and Technology: A Meta-Analysis. *Review of Educational Research, 69*(1), 21-51.
- Strangman, N., Hall, T., & Meyer, A. (2004). *Background knowledge instruction and the implications for UDL implementation*. Retrieved October 23 2006 from [http://www.cast.org/publications/ncac/ncac\\_backknowledgeudl.html](http://www.cast.org/publications/ncac/ncac_backknowledgeudl.html)
- Tweede\_Fase\_Adviespunt. (2005). *Zeven jaar Tweede Fase, een balans*, from [www.tweedefase-loket.nl](http://www.tweedefase-loket.nl)
- Valdez, G., McNabb, M., Foertsch, M., Anderson, M., Hawkes, M., & Raack, L. (2000). *Computer-Based Technology and Learning: Evolving Uses and Expectations*. (rev. ed.). Oakbrook, IL: NCREL.

- Veenbaas, J., & Visser, W. (2004). *Kritiek van de zuivere rede*. Amsterdam: Boom.
- Veermans, K. H. (2003). *Intelligent Support for Discovery Learning*. Universiteit Twente, Enschede.
- Vos, H. (1990). *Transfer of learning: het gebruik van een leerkiem*. Intern rapport OC-doc 90-43. Enschede: Universiteit Twente, OC / IBTE.
- Watson, W. M. (2001). Pedagogy before Technology: Re-thinking the Relationship between ICT and Teaching. *Education and Information Technologies*, 6(4), 251-266.
- White, B. Y., & Frederiksen, J. R. (1990). Causal model progression as a foundation for intelligent learning environments. *Artificial Intelligence*, 42, 99-157.
- Willson, V. L., & Putnam, R. R. (1982). A meta-analysis of pretest sensitization effects in experimental design. *American Educational Research Journal*, 19, 249-258.
- Woltz, D., & Shute, V. (1995). Time Course of Forgetting Exhibited in Repetition Priming of Semantic Comparisons. *The American Journal of Psychology*, 108(4), 499-525.



## Bijlage I

De samenhang tussen onderwijsontwerpprincipes, feitelijke ingezette middelen en mogelijke onderbouwing vanuit theoretisch perspectief.

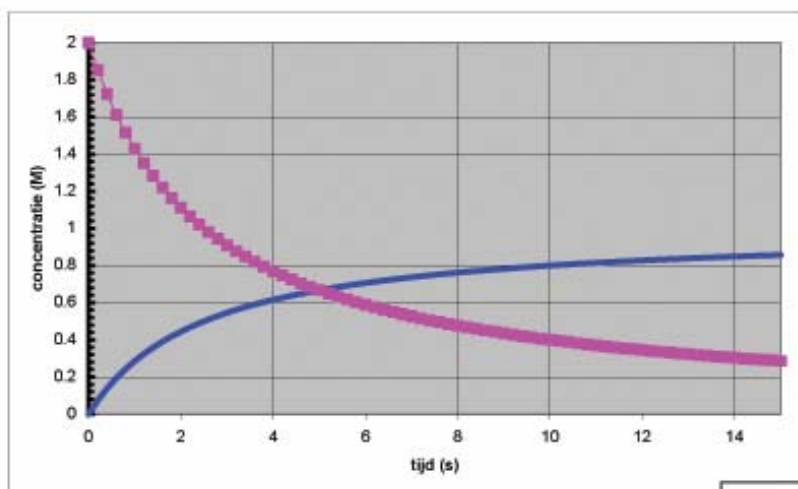


## Bijlage II

Relevant gedeelte van het officiële schoolexamen, dat 2 maanden na het experiment werd afgenomen.

### Schoolexamen VWO Scheikunde SE511

#### Opgave 1.



De stof P kan in een aflopende reactie worden omgezet in de stof Q. In diagram 1a hiernaast staan de concentratie van P (lijn met blokjes) en de concentratie van Q (getrokken lijn) gedurende de eerste 15 seconden van de reactie uitgezet tegen de tijd.

diagram 1a

1a. Leg uit, dat uit diagram 1a volgt, dat de reactievergelijking  $2 P \rightarrow Q$  is.

In diagram 1b hiernaast staat de reactiesnelheid van dit zelfde proces uitgezet tegen de tijd gedurende de eerste 15 seconden.

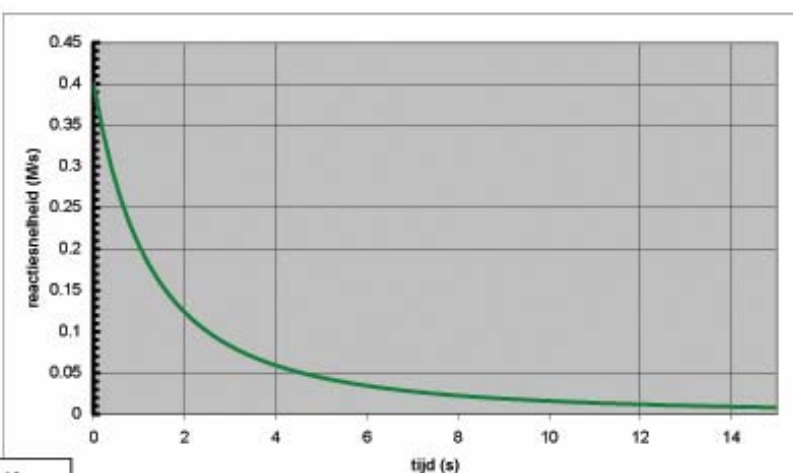


diagram 1b

1b. Leg beknopt uit, hoe je diagram 1b zou kunnen maken met behulp van diagram 1a.

1c. Laat met wat eenvoudige berekeningen zien, dat er hier sprake van een reactie van de tweede orde in P is.