



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



Schets van het constructivisme

Imme de Bruijn (2007)

ELAN doc 2007 - 001
Juli 2007
GW-ELAN.07.326

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>

Schets van het constructivisme

Imme de Bruijn, (2007). Enschede, Nederland: Universiteit van Twente.

Inhoudsopgave

1	DOEL VAN DIT ARTIKEL.....	4
2	WAT IS HET CONSTRUCTIVISME?.....	4
3	WETENSCHAPSFILOSOFISCHE ONTWIKKELING.....	5
4	PROBLEMEN MET HET TRADITIONELE ONDERWIJS	6
5	DE MERITES VAN HET CONSTRUCTIVISME	7
6	CONSTRUCTIVISTISCH ONDERWIJS IN DE PRAKTIJK GEBRACHT	9
7	TOEVOEGINGEN AAN HET CONSTRUCTIVISME	11
8	VERANDERING DOOR NASCHOLING, ROL VAN LERARENOPLEIDERS	12
9	SLOTOPMERKINGEN EN AFWEGINGEN	13
10	REFERENTIES.....	14
	APPENDIX: KENMERKEN VAN CONSTRUCTIVISTISCH ONDERWIJS.....	16

Doel van dit artikel

In dit stuk wordt uitgelegd, wat onder het 'constructivisme' wordt verstaan en wat de merites zijn van deze stroming voor het tegenwoordige onderwijs. De insteek is daarbij, dat in recente artikelen uit gerenommeerde tijdschriften¹ is gezocht naar wat er in de praktijk van het onderwijs met en door het constructivisme gerealiseerd is. Het wordt dus uitdrukkelijk beschouwd vanuit het perspectief van de *toepassing* bij de exacte vakken. Het is daarmee hopelijk van dienst voor bijvoorbeeld docenten, die hun theoretisch-didactische achtergrond willen bijschaven.

Omdat allerlei mensen en groepen verschillend over constructivisme denken, is hier en daar een keuze, of zelfs een stellingname, nodig. Maar die stellingname is wel steeds gebaseerd op zaken die in de literatuur beschreven zijn. Overigens: iedere schrijver die het gewaagd heeft het wezen van het constructivisme weer te geven, kreeg direct een flink aantal kritieken. De meeste daarvan gaan erover dat het constructivisme te veel claimt. Voorzichtigheid is dus geboden.

De beschouwing beperkt zich tot het voortgezet onderwijs, eigenlijk het HAVO en het VWO. Het primair onderwijs heeft een eigen problematiek, het hoger onderwijs levert weinig voorbeelden van constructivistische principes op. Dat laatste overigens met één duidelijke uitzondering: de opleiding van eerstegraads docenten, die zeker wél vanuit (sociaal) constructivistische principes kan worden opgezet².

Op de mogelijke overeenkomsten en verbanden met de beweging van *Het Nieuwe Leren* wordt in dit stuk niet verder ingegaan. Daarover is een ander stuk beschikbaar, waarin overigens wat duidelijker stelling wordt genomen.

Wat is het constructivisme?

Diverse schrijvers (Matthews, 2002; Palmer, 2005; Staver, 1998) zijn het erover eens, dat het constructivisme, als achtergrond voor een manier van denken over onderwijs, geen theorie is. Het kan wel een *paradigma* worden genoemd, een complex van wetenschappelijke standpunten, waaraan een gemeenschap van onderzoekers en ontwikkelaars zich gedurende zekere tijd conformeert en waaruit zij inspiratie halen.

De centrale stelling is, dat kennis door de lerende zelf wordt opgebouwd, geconstrueerd. De bruikbare kennis van een individu groeit (= "zinnig leren") door eigen activiteit van de lerende op grond van eigen ervaringen. Daarbij is essentieel dat het individu nieuwe elementen in die ervaring verbindt met reeds aanwezige kennis (*making sense of your experiences*). Nieuwe elementen worden aangedragen door ervaringen met de wereld om ons heen, door discussie, maar ook met onze denkwereld: reflectie. Soms gaat dat weinig problematisch, omdat de bestaande kennis al een goede structuur heeft. Soms is dat moeilijker, omdat de nieuwe kennis alleen past in een wezenlijk andere structuur. In alle gevallen is een adaptatie van bestaande kennis nodig, laten we zeggen dat deze in het lichtste geval moet 'opschuiven' en in het zwaarste geval aanzienlijk moet veranderen. Wanneer dat niet gebeurt, doordat de lerende daar niet toe bereid is, of omdat in het kennisaanbod geen rekening wordt gehouden met die adaptatie, dan kan de nieuwe kennis alleen meer uit 't hoofd geleerd worden, als een soort losstaand feit, een *Fremdkörper*³. Dat faciliteert verder leren niet, het is onbruikbare kennis, hoogstens geschikt om kennisvragen in een toets juist te beantwoorden. Het opbouwen van zinvolle structuren van kennis vraagt er onder andere om, dat de lerende in gesprek gaat met anderen, docent of medeleerlingen. Daardoor worden de ideeën *in statu nascendi* geëxpliciteerd, wat het nadenken stimuleert en waardoor de mogelijkheid ontstaat om er feedback op te krijgen en er nog weer beter structuur in aan te brengen.

¹ zoals *Journal of Research in Science Teaching*, *Science Education*, *International Journal of Science Education*, *Science and Education*

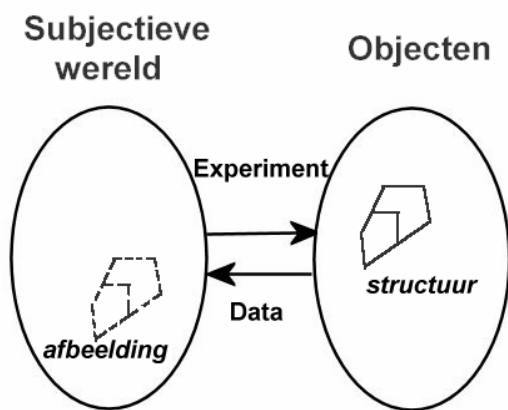
² hierbij wordt bedoeld op het centraal stellen van reflectie en de keuze dat de groep van lerenden het forum is waar verantwoording wordt afgelegd, zie bijv. de artikelen van Wallace en Oliver (2003) en van Ford en Wargo (2007).

³ Dit beeld komt uit het artikel van Novak, 2002.

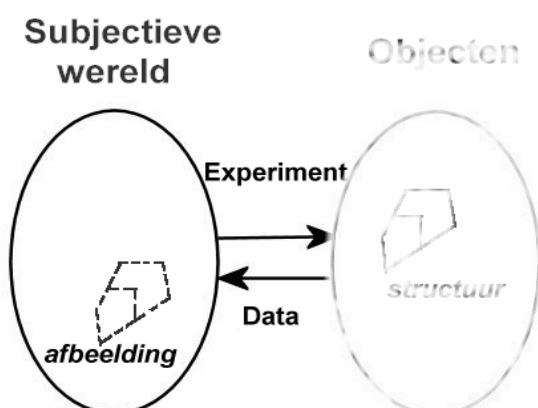
Het beeld dat constructivisten van de kennis, en de opbouw ervan, hebben, spoort met de cognitieve psychologie, in het bijzonder de *schematheorie*. Het gaat om netwerken van begrippen, die onderling goed doorverbonden worden, opdat men in het redeneren snel, foutloos en effectief 'van het ene begrip naar het andere kan redeneren'. Het wezen van een begrip wordt door constructivisten én door cognitief psychologen dan ook opgevat als het geheel van verbindingen met andere begrippen (en ervaringen). Een begrip ontleent zijn betekenis aan de relaties met andere begrippen. Vandaar dat constructivisten ook nadruk leggen op leren in *contexten*, voor de leerling betekenisvolle situaties die het construeren van kennis en het verwerven van vaardigheden faciliteren.

De hierboven beschreven gedachten worden tegenwoordig wel aangeduid met klassiek of *cognitief* constructivisme. Een nieuwere stroming is het *sociaal constructivisme*, die stelt dat het voor het ontwikkelen van kennis *noodzakelijk* is dat deze wordt gedeeld met anderen (*language based social interaction*). Er wordt soms zelfs gesteld, dat het persoonlijk leren in de cognitief-constructivistische zin niet mogelijk zou zijn, zonder dat er een fase van gedachtewisseling met anderen is geweest. Daarbij wordt de taal centraal gesteld in het proces van *meaning making*. Dit standpunt gaat dus wel wat verder dan het beschouwen van 'praten als een nuttige activiteit in het kader van nadenken over ervaringen met de natuur'. Bij de bespreking van de filosofische achtergrond zullen we het verschil nader duiden.

Wetenschapsfilosofische ontwikkeling⁴



"Waarheidsvinding" volgens logisch empiristen



Sinds Popper/Kuhn wordt niet meer uitgegaan van structuur in objectieve wereld

De wetenschapsfilosofische traditie, waarmee het constructivisme samenhangt, is die van Thomas Kuhn en - enigszins - van Karl Popper. Maar eerst beschrijven we de 'voorganger' van het wetenschapsbeeld van Kuhn en Popper: het *logisch empirisme*. Deze stroming was in de eerste helft van de twintigste eeuw leidraad. In dit beeld is de *locus* van de kennis de wereld zelf, die de wetten en theorieën *an sich* in zich heeft (realisme). Het doel van de wetenschap is het verkrijgen van een zo goed mogelijke (subjectieve) afbeelding van die realiteit. Aan de objectieve wereld worden door experimenteren gegevens ontleend, die vervolgens een mentale afbeelding opleveren (wetten, theorieën) die verondersteld wordt de realiteit te weerspiegelen. Van belang is het proces van *verificatie*, wat betekent dat je uit de 'afbeelding' nieuwe hypothesen afleidt en die dan met nieuwe empirische gegevens probeert te staven. Het gaat dus om de *correspondentie* met de werkelijkheid.

De filosofie van Kuhn en Popper doorbreekt in grote trekken deze sterke band met de objectieve wereld. Belangrijk uitgangspunt is, dat hypothesen, wetten en theorieën worden geverifieerd tegen de achtergrond van 'wat met elkaar klopt' en met uitspraken over wat de empirische ervaringen (uit experimenten, waarnemingen etc.) zijn. In plaats van *correspondentie* is nu het bereiken van *coherentie* het doel. De *locus* van de kennis is nu het individu. Voor het onderwijs betekent het bijv. dat er voor het *overdrachtsmodel* geen plaats meer

⁴ de opmerkingen over wetenschapsfilosofie zijn voor een deel ontleend aan het leerboek van Gerard de Vries (1995).

is, omdat structuren-in-de-kennis door de lerende zelf moeten worden opgebouwd.

Constructivisten laten in het midden of de *realiteit* –waar de voorstelling op zou moeten lijken– wel bestaat (*they remain silent about ontological issues*; Staver, 1998). Zij gaan ervan uit dat het individu aan de hand van eigen ondervinding een (*idiosyncratisch*) beeld opbouwt. Wel erkennen zij dat de bron van nieuwe kennis veelal uit experimenten, de empirie dus, moet komen; strikt genomen zijn *ervaringen* van het individu de aanzet tot nieuwe kennis (en daarbij ook de *reflectie*). Het belangrijkste argument is, dat alle kennis over de werkelijkheid altijd door de *lens* van het geheel van waarnemingen gaat, dus bij een verificatie volgens correspondentie gebruik je dezelfde soort informatie als die je al had⁵.

Een constructivist zou het woord ‘ontdekken’, wat slaat op het zichtbaar maken van iets dat er altijd al is geweest, nooit gebruiken. Aan de andere kant is er bij constructivisten nog best ruimte voor de empirie, door middel van *inquiry*⁶. Een experimenteel fysicus, constructivist, is op zoek naar steeds meer empirische gegevens en ziet het als een uitdaging om de theoretische verklaring ervan in overeenstemming te brengen met eerder gevonden zaken.

De ‘opvolger’ van dit cognitief constructivisme is, zoals reeds vermeld, het *sociaal constructivisme*. Hierin wordt de groep, de samenleving, als *locus* van (valide) kennis opgevat. In extreme vorm: voordat je mag zeggen dat een individu kennis heeft verkregen, dient hij/zij dat te hebben gecommuniceerd met andere leden van de *community*. Het is een ander paradigma⁷. Maar het levert wel interessante ideeën, zoals de *verantwoordelijkheid* voor wat goede, valide kennis is. Die ligt nu niet meer zozeer bij de docent (die praat alleen mee) maar bij de groep. Voorbeelden van onderwijsarrangementen, die door het sociaal constructivisme zijn geïnspireerd, zijn in de natuurwetenschappen nog schaars. In het onderzoek van wiskundeonderwijs wordt er meer mee gedaan, maar de toepassingen beperken zich voornamelijk tot onderwijs aan jonge kinderen. Daarom laten we hier een verhandeling over sociaal constructivisme achterwege en volstaan met enkele opmerkingen uit een artikel van Paul Cobb (2006)⁸.

De stroming baseert zich op onderzoekingen van Vygotski over de intellectuele ontwikkeling van jonge kinderen. Hij was vooral geïnteresseerd in het gebruik van intellectuele *tools* zoals systemen van symbolen (*sign systems*), bijvoorbeeld het getalsysteem. Het gaan beheersen hiervan was voor Vygotsky niet zozeer een uitbreiding van aanwezige cognitieve capaciteiten, maar meer het overnemen van verworvenheden uit de cultuur. Dat laatste gebeurt door gesprekken (*discourse*) met mensen die dit al beheersen, die dingen voordoen en die vragen stellen. Na het overlijden van Vygotsky (1934) werd dit werk voortgezet door (vooral) Leont’ev. Als bron voor de cognitieve ontwikkeling wordt in deze stroming het deelnemen van kinderen aan ‘culturele’ activiteiten, waaronder discussies, gezien. Die cultuur vormt dus de context van hun ontwikkeling. Cobb is van mening dat de invloed van deze stroming op onderzoek van wiskundeonderwijs nog weinig tastbare resultaten, in de vorm van onderwijsdesigns, heeft opgeleverd. De theorie geeft wel een meer bevredigend antwoord dan het klassiek constructivisme op de vraag, hoe de verworvenheden van de mensheid door de eeuwen heen op volgende generaties wordt overgedragen.

Problemen met het traditionele onderwijs

Degenen onder ons die geruime tijd geleden voortgezet onderwijs hebben genoten, hebben waarschijnlijk de traditionele vorm meegemaakt. Daarin staat de docent centraal, of eigenlijk de combinatie van de leerstof en de vakkennis van de docent. Het leren van leerlingen wordt veron-

⁵ er is wel een probleem: er zijn historische verificatie-experimenten uitgevoerd, zoals de waarneming van de relativistische verschuiving van sterren vlak bij de zon, en die zijn zeker meer dan ‘toegenomen coherentie’, zij vormen een waarneming door een andere lens die meer evidentie geeft

⁶ de Nederlandse vertaling van *inquiry* is dus eerder *bevragend* en niet *ontdekkend*

⁷ Kuhn wees dit af, met een verwijzing naar zijn principe van het leren op basis van ervaringen: “Communities do not have experiences”.

⁸ in dit artikel zijn ook de literatuurverwijzingen naar Vygotsky en Leont’ev te vinden

dersteld impliciet te gebeuren, wanneer zij voldoende worden blootgesteld aan interessante leerstof. Belangrijker nog is het wetenschapsbeeld, van de logisch positivisten, dat erachter zit. Het traditionele onderwijs staat bol van praktijken, die op dit wetenschapsbeeld gebaseerd zijn. Zo leidt het beeld van een buiten de mens staande werkelijkheid tot de notie, dat zo'n brok kennis ook wel overgedragen kan worden, van iemand die het al heeft gestructureerd naar een onwetende.

Bekend is het volgende voorval uit de geschiedenis van de didactiek. In reactie op de lancering van de eerste kunstmaan door de USSR in 1957 werd in de Verenigde Staten de 'schuld voor de nederlaag' bij het achterblijvende onderwijs gelegd. Ruime fondsen kwamen beschikbaar voor de ontwikkeling van nieuwe curricula voor *science* en techniek. De geproduceerde materialen waren, voor ingewijden, "om je vingers bij af te likken". Gevorderde wetenschap en techniek werd fraai geïllustreerd, en in zeer begrijpelijke bewoordingen gepresenteerd. Prachtige experimenten voor op school werden aangedragen. Helaas is het effect van deze vernieuwende leergangen nooit aangetoond, al hebben onderzoekers van naam daartoe uitgebreid pogingen ondernomen. Achteraf hebben constructivisten geconstateerd, dat de schrijvers alleen de wereld van fysica, chemie en techniek hadden beschreven, maar nergens de wereld van de leerling. Bovendien legden de schrijvers een zware nadruk op de *processen* van de disciplines en minder op een uitleg van de begrippen die eraan ten grondslag liggen.

In een artikel van Webb en Treagust (2006) wordt een situatie geschetst in Zuid Afrika, waar door toepassing van constructivistische principes het onderwijs aan kinderen in *townships* wordt verbeterd. Hoewel de kern van het artikel over andere zaken gaat, komt er een treffende beschrijving in voor van 'traditioneel onderwijs'. De (zwarte) minderheid werd, tot voor kort, verondersteld niet in discussie te gaan, maar de autoriteit van de leerkracht te aanvaarden en dus ook de kennis die door hem wordt gepresenteerd. De sociale gelaagdheid van de bevolking –waar kinderen niets te vertellen hebben, zeker kinderen uit een *township* niet– bepaalt daar het beeld van wat kennis en wat leren is. Er valt voor kinderen niets te ontdekken, dat is al voor hen gedaan.

Degenen die het onderwijs willen inrichten volgens het *constructieprincipe* maar niettemin vinden dat het om het blootleggen van een achterliggende werkelijkheid gaat, worden *triviale constructivisten* genoemd⁹. Vrij breed leeft de overtuiging dat triviale constructivisten niet goed onderwijs kunnen produceren volgens constructivistische principes. Triviale constructivisten hebben bijvoorbeeld de neiging om de student op zichzelf, met een proef of achter een computer, te laten ontdekken hoe iets in elkaar zit, terwijl de docent het enig juiste antwoord al weet.

Het is nog niet zo eenvoudig om te bewijzen dat het traditionele onderwijs niet werkt. In dat verband is het belangrijk om op de manier van toetsen te letten. Onderwijs dat niet tot begripsstructuren bij de leerling leidt, levert vooral gefragmenteerde feitenkennis op. En in het verlengde daarvan kunnen docenten hun leerlingen trainen in het oplossen van kwantitatieve vraagstukken, met behulp van formules, zonder echt te begrijpen waar die formules over gaan (trucjes). Examinens waarop je een voldoende kan halen door die trucjes te kennen en door losstaande, niet begrepen feiten te spuien, zijn waarschijnlijk zeer lang de maatstaf geweest.

De merites van het constructivisme

Het succes van het constructivisme is in een flink aantal onderzoeken aangetoond. Wanneer bijvoorbeeld traditioneel onderwijs, berustend op de overdrachtsmetafoor, wordt vergeleken met meer constructivistisch ingerichte instructie, dan wint de laatste het qua leereffect. Daarbij moet je wel weten welk leereffect je meet. Als je meet met meerkeuzevragen, die feitenkennis toetsen, vind je het effect niet. Als je meet hoe goed nieuwe problemen worden opgelost, dan vind je een zwak tot matig effect¹⁰. Maar wanneer je de gevormde begripsstructuren en de resultaten van *conceptual reasoning* in beeld brengt, bijvoorbeeld met *concept maps*, dan is het effect aanzienlijk.

⁹ deze term komt uit het artikel van Novak, 2002

¹⁰ ook al omdat er kan worden getraind op 'begripsarm probleemoplossen'

Niet alleen leerresultaten zijn beter, ook de motivatie van leerlingen groeit en de sfeer in de klas blijkt veel beter, veiliger te worden (zie bijv. Hand, Treagust & Vance, 1997). Dat komt onder andere doordat leerlingen in de rol van ‘jonge onderzoekers’ worden geplaatst, met een eigen verantwoordelijkheid voor de ontwikkeling van hun kennis¹¹.

Belangrijke successen van constructivistisch onderwijs worden gevonden in de sfeer van *conceptual change*, onderwijs in leerstofgebieden waar de voorkennis van leerlingen behept is met een aantal hardnekkige alternatieve concepties (Duit & Treagust, 2003). Het wegwerken van die concepties, en het vervangen door valide concepties, lukt gewoon niet met traditioneel onderwijs. Misschien nog net voor de aller-begaafdste groep, hoewel ook daarbij de alternatieve concepties hardnekkig kunnen zijn.

Er is veel discussie geweest over de merites en de claims van het constructivisme. In feite duurt die discussie voort. Veel kritiek op het constructivisme kan echter goed worden gepareerd, het is niet zelden kritiek op terminologie. Zo is er een kritisch artikel van Matthews (2002) waarbij claims uit de literatuur, geformuleerd in hoogdravende formuleringen, worden teruggebracht tot simpele uitspraken over goed onderwijs ‘waarover we het al lang eens waren’. Twee van deze metaforen staan in onderstaande tabel.

Tabel 1: Uitgebreide en simpele formuleringen van constructivistische principes (naar Matthews, 2002)

Hoogdravende formulering, volgens constructivisten	Simpele formulering
There should be a commonality amongst school science students and research scientists as they struggle to make sense of perturbations in their respective experiential realities.	Students and scientists consider adjusting their theories when confronted with anomalies.
If students are to learn science as a form of discourse, then it is necessary for them to adopt their language resources as they practice science in settings in which those who know science assist them to learn by engaging in activities of coparticipation occurs.	Students need new concepts and vocabulary in order to learn science.

Het feit dat Matthews zeven van dergelijke metaforen kan noemen, is ook op te vatten als succes van het constructivisme. Er blijkt nu immers dat het constructivisme in zeker opzicht een inkadering geeft, van wat toch al als *good practice* werd gezien.

Andere bevindingen geven echter aan, dat toepassing van constructivistische principes geenszins een garantie is voor goed onderwijs. Zo is er een probleem met constructivistisch onderwijs, waarbij de begeleiding minimaal gehouden wordt. In een artikel van Kirschner, Sweller en Clark (2006) wordt veel empirische evidentie gegeven, uit onderzoeks-reviews, voor sterke belemmering van het leerproces als de begeleiding faalt: de docent moet eigenlijk altijd helpen met de reflectie. Dit probleem speelt sterker naarmate de leerling minder ervaren is in het uitvoeren van leertaken. Zij vermelden ook de hardnekkige neiging van docenten, curriculummakers e.d. om deze bevinding uit de onderwijsresearch niet ter harte te nemen. Daarbij speelt o.a. de (onbewezen) stelling een rol dat in het onderwijzen de authentieke methoden van de discipline, zoals wetenschappers die hanteren, moeten voorkomen (process & problem solving). Een psycholoog prikt dat zo door: de kennisstructuren en daarmee de denkprocessen van experts zijn fundamenteel verschillend van die van novices. Er is zelfs een artikel van Mayer (2004) waarin wordt beschreven dat sinds ca. 1950 elke decade wel weer een beweging ontstond, die tegen alle evidentie in ijverde voor minimale begeleiding bij *discovery of inquiry*. Op deze discussie komen we terug in de slotparagraaf.

Een ander serieus probleem wordt vermeld in een artikel van Klahr en Li (2005). Zij onderzochten systematisch of aanwijzingen uit de *inquiry*-stroming wel werkten bij een unit over controleren van variabelen in klassen 3-6. Het resultaat was in alle gevallen nihil.

¹¹ verscheidene schrijvers waarschuwen dat leerlingen niet als ervaren onderzoekers –op een wat lager niveau- moeten worden beschouwd; de rol van *novice researcher* moet apart vorm krijgen

Constructivistisch onderwijs in de praktijk gebracht¹²

In onderwijsarrangementen die op grond van deze constructivistische beginselen worden bedacht, is *fasering* belangrijk, en daarbij komen de fasen *oriëntatie*, *bevestiging* en *versterking* altijd wel voor¹³.

Fase 1: Oriëntatie

Een onderwijsarrangement dat zinvol leren bevordert, kent altijd een fase van bewustwording van het nieuwe in de toe te voegen kennis¹⁴. Die afweging maakt het o.a. nodig dat de lerende al een zeer voorlopig beeld krijgt van nieuwe elementen en (vaak intuïtief) beseft op welk punt van de bestaande kennisstructuur het kan worden ingevoegd. Dat gaat goed samen met een *activiteit* waarin het nieuwe aan het licht komt, een *hands-on experience*. Maar het is niet genoeg, want over die ervaring moet nagedacht worden (reflectie). De vraag van de leerling dient vooraf te gaan aan het antwoord, in welke vorm dan ook.

Fase 2: Bevestiging

De bedoelde arrangementen kennen vervolgens een fase waarin dit 'begripsgat' wordt ingevuld. Ook hier is, volgens constructivisten, een mededeling van iemand-die-het-al-weet pertinent onvoldoende. De lerende moet als het ware zelf beslissen hoe de aanvulling van zijn kennis verloopt, met welke overtuiging hij/zij verder gaat.

Fase 3: Oefening en versterking

Tenslotte kennen de meeste arrangementen een fase, waarin met de nieuw verworven (of: herstructureerde) kennis geëxerceerd wordt. Er worden nieuwe problemen¹⁵ opgelost of er wordt een verklaring (=inpassing) gezocht voor weer nieuwe ervaringsgegevens. Dit is een vorm van *reinforcement*, het versterken van het vers geleerde door meer oefening.

In alle genoemde fasen, het zal duidelijk zijn, is de leerling *actief lerend* en is de reflectie op wat je leert essentieel.

Naast de fasering van onderwijsarrangementen is de frequente toepassing van activiteiten, waarbij leerlingen zelf met de materie aan het werk zijn, kenmerkend. De aanduiding *inquiry*, waarmee dit in de literatuur vaak wordt aangeduid, is in dit verband al enkele malen gevallen. Enerzijds is dit niets nieuws, want de werkvorm *practicum* is immers al sinds tientallen jaren gebruikelijk bij de natuurwetenschappen. Maar het heeft in het constructivisme toch een wat andere vorm dan enige tijd geleden. Vroeger werd practicum gedaan omdat echte wetenschappers ook experimenteel bezig zijn en omdat experimentele methoden bij het vak horen. Misschien ook wel omdat leerlingen zo lekker bezig zijn op een practicum en omdat het de motivatie verhoogt. Maar een constructivist doet practicum, of andere vormen van *inquiry*, omdat ervaringen met de materie de grondslag vormen van het leren van leerlingen. Daarbij wordt steeds meer geproblematiseerd hoe de opdracht ingericht dient te worden, hoe de begeleiding moet plaatsvinden en hoe leerlingen op elkaars werk inspelen, opdat het leereffect maximaal is. De leerling komt in een andere rol, niet die van ontvanger van kennis maar van zoeker naar kennis. Zoals eerder opgemerkt is dat de rol van *novice researcher*, die niet aan het front van de wetenschap werkt, wel overigens aan zijn eigen front. Die rol kan slechts zeer beperkt worden gemodelleerd naar de rol van de échte wetenschapper (Sandoval, 2005).

In constructivistisch onderwijs is de leerling noodzakelijk aan het praten met medeleerlingen, al of niet onder begeleiding van de docent. Dat uitwisselen van ideeën zet aan tot nadenken over wat je weet en beseft en het geeft anderen de gelegenheid daar commentaar op te leveren. Het is echter een zware opdracht voor de docent om dit in goede banen te leiden. Ten eerste dient de neiging tot sociaal gesprek te worden onderdrukt, het moet over de inhoud gaan. Ten tweede

¹² zie ook de Appendix voor een overzicht van kenmerken van constructivistisch onderwijs

¹³ de volgende opmerkingen komen vooral uit Duit & Treagust, 2003

¹⁴ Onderwijs dat niet aan dit criterium voldoet is bijv. dat de docent 'recht voor z'n raap' nieuwe leerstof presenteert

¹⁵ Dit is nog weer wat anders dan *probleemgestuurd leren*, waarbij problemen reeds in het oriënterende stadium worden gebruikt

moet de leerling ongestraft halfrijpe ideeën kunnen uiten, want door gedachtewisseling daarover rijpen ze verder. Dat vraagt dus om een veilige atmosfeer in de klas en het is ook een goede reden om leerlingen onderling te laten praten, niet altijd met de docent erbij. Ten derde dienen leerlingen enige vaardigheid te verkrijgen in het omgaan met meningsverschillen. In een artikel van Hogan (1999) komen verschillende voorbeelden van inhoudelijke discussies onder leerlingen aan de orde, waarbij de collaboratieve opbouw van kennis wordt beschreven. Daarin wordt tevens beschreven dat beter presterende leerlingen, die ook meer geloven in 'inzet' dan in 'aanleg' als basis voor succesvol leren, in een dergelijke setting beter op hun plaats zijn. Er is veel research gaande om dergelijke processen goed in beeld te krijgen en om de wenselijke rol van de begeleidende docent scherper te krijgen. Er is echter nog weinig bekend over welke verschillende activiteiten het beste passen bij leerlingen met verschillende kenmerken.

Ook in een setting waaraan verder weinig constructivistische principes ten grondslag liggen, een hoorcollege aan een universiteit, is het positieve effect van onderlinge gedachtewisseling aangetoond (*peer instruction*, Crouch & Mazur, 2001). Het is wel duidelijk dat leerlinggesprek pas goed gaat, als de atmosfeer in de groep ernaar is en docent en leerlingen het over bepaalde dingen eens zijn. Dat laatste ligt in de sfeer van 'wat is waardevolle kennis' en 'hoe leren we van ervaringen en van gedachtewisseling'. Dit complex van gezamenlijke opvattingen wordt in de literatuur wel *shared knowledge* of het *consensual domain* genoemd. Het vestigen van dit klimaat is een voorwaarde voor het welslagen van constructivistisch onderwijs.

Onderzoek naar effecten van *student talk* vraagt om nieuwe methoden van onderzoek. Het is bijvoorbeeld nodig de gesprekken op video vast te leggen en kort daarna aan de hand van de opnamen een *stimulated recall interview* te doen. Dat vergt niet alleen een intensieve dataverzameling, maar vervolgens ook een zeer bewerkelijke analyse van alle verkregen verbale data (Sandoval, 2005). Behalve het reeds genoemde artikel van Hogan (1999) levert ook dat van Tao en Gunstone (1999) een voorbeeld op van deze onderzoekstechniek. Tao en Gunstone werkten met dyaden, die taken aan de computer uitvoerden. Zie toonden aan dat de gedachtewisseling binnen de dyaden stimuleerde tot beter begrip, maar bij lang niet alle leerlingen was dat begrip ook later, bij het interview, nog aanwezig. In het nog te bespreken onderzoek van Manlove, Lazonder en De Jong (2006) werd de discussie in dyaden van aan de computer werkende leerlingen steeds via de *chatfunctie* gerealiseerd, waarmee de vastlegging van de interactie simpel is. Dit onderzoek, en dat van Tao en Gunstone, is echter geen praktijkonderzoek, in de context van schoolklassen, maar komt uit het onderwijskundig laboratorium.

In een artikel van Ford en Wargo (2007) wordt beschreven, dat een meer authentieke, gesimuleerd-wetenschappelijke context wordt bereikt, wanneer de leerlingen hun resultaten bij onderzoek aan elkaar verantwoorden in plaats van aan de docent. Ook de *planning* van een onderzoek doen ze samen, veelal in dyaden. Deze setting levert een klimaat, waarin het gesprek onder studenten nóg meer als zinvol wordt ervaren. De docent heeft hoofdzakelijk als rol dat hij het proces instrueert en begeleidt, hoewel hij soms door middel van kritische vragen de discussie van diepgang voorziet. Deze overgang van verantwoordelijkheid is kenmerkend voor het sociaal constructivisme. Het idee dat kennis pas valide is, wanneer het in een groep wordt gedeeld, wordt hiermee geïncorporeerd. Het levert ook een gelegenheid tot beter begrip van het proces van wetenschappelijk kennis vergaren.

De rollen van leerlingen en docent veranderen dus, als het onderwijs meer constructivistisch moet worden. De docent wordt veel meer begeleider, manager-op-afstand van het leerproces, en minder uitlegger en aanbieder van informatie. De docent moet zeer alert zijn op wat leerlingen zeggen en denken. Het feit dat de docent de gedachten van de student tracht te volgen, levert een klimaat voor positieve interactie; het idee dat het denken van de student serieus wordt genomen bevordert de reflectie, en daarmee het begripmatig leren, maar ook het vertrouwen (Von Glasersfeld, 1991). Informatie aanbieden, op maat en op het juiste abstractieniveau, blijft ook een functie, maar dat gebeurt dan door te wijzen op geschriften of plekken op internet, meestal niet door het verbaal uit te leggen. Ook dat laatste is overigens niet helemaal ongewenst, het moet echter heel goed worden gedoseerd –geen half uur– en het moet gepaard gaan met andere suggesties voor activiteiten, die de lerende in staat stellen zelf de leerstof te 'kneden'.

Toevoegingen aan het constructivisme

In recente onderzoeken worden nieuwe factoren meegenomen, die het welslagen van het leerproces mede bepalen. Op termijn zou dat tot een aanvulling van het paradigma zouden kunnen leiden. Er is aandacht voor zaken als verhoging van de motivatie en verbetering van zelfregulatie (metacognitie¹⁶). Het valt op dat deze zeer gewenste factoren, die kernpunten zijn in moderne vormen van onderwijs¹⁷, goed te combineren zijn met constructivistische principes. Het is bijvoorbeeld wel duidelijk, dat het voor *conceptual change* nodig is, dat de lerende zich van de verandering in zijn kennis/opvattingen bewust is: een metacognitieve vaardigheid.

De motivatiefactor heeft al vrij lang aandacht. In 1993 schreven Pintrich, Marx en Boyle een artikel getiteld *Beyond Cold Conceptual Change*, dat in zekere zin een reactie was op de eenzijdige aandacht voor kennisconstructie, in de eerste decade van het constructivisme. Meer recent is dit beschreven door Palmer (2005), die tot de volgende inventarisatie van aandachtspunten komt (hij noemt ze 'motivational strategies'):

1. studenten uitdagen met taken op een gemiddeld niveau, niet te gemakkelijk en niet te moeilijk, waarbij succeservaringen mogelijk zijn
2. gebruik van verrassende experimenten om nieuwsgierigheid te wekken
3. fantasie laten gebruiken
4. taken en leerinhouden aanbieden die voor de leerling betekenisvol zijn
5. een variëteit aan soorten taken aanbieden
6. studenten actief laten participeren
7. studenten keuzes bieden, qua werkpartners, activiteiten
8. competitieve situaties vermijden
9. feedback op toetsen geven in een private situatie, prijzen van prestaties en inzet
10. model wezen voor enthousiasme, denken, omgaan met fouten

De (intrinsieke) motivatie is van primair belang, omdat het samenhangt met metacognitieve activiteit en met het streven naar betekenisvol, diepgaand leren (Blom, Hoek en Ten Dam, 2007).

Voor de factor metacognitie is het gangbare model om de fasen planning, monitoring en evaluatie te onderscheiden. In de planningsfase neemt de leerling de beslissing hoe het probleem of de leertaak wordt aangepakt. Het monitoren betekent, dat de leerling beseft wat hij doet bij het uitvoeren van de taak, of bij het leren. Daarbij hoort bijvoorbeeld het besef dat er wat geleerd wordt. Bij het evalueren wordt vastgesteld of de aanpak goed was, of er tijdens de uitvoering effectief is gewerkt, of het gewenste resultaat is bereikt en of er voor een volgende taak verbeterpunten zijn aan te wijzen.

In een artikel van Manlove, Lazonder en De Jong (2006) wordt beschreven hoe leerlingen leren in een *Computer Simulation-Based Learning Environment*. Er is een geïntegreerde *tool*, die de studenten moet begeleiden qua metacognitie. De tool blijkt de *planning* goed te ondersteunen, waardoor studenten een vliegende start maken, subdoelen goed onderscheiden etc. Het monitoren wordt minder goed ondersteund, mogelijk door het artefact dat na de start de tool nauwelijks meer wordt gebruikt. De collaboratieve interacties tussen studenten, die via de *chatfunctie* in de leeromgeving gaan, blijken die monitoring wel te ondersteunen. Het maken van notities lijkt daarbij belangrijk, de suggestie is geregeld (met pop-up boodschappen) de studenten te herinneren aan de noodzaak om notities te maken.

In een artikel van Chin en Brown (2000) wordt verslag gedaan van een serie lessen (scheikunde) volgens de *inquiry*-opzet. Het onderzoek ging vooral om het in kaart brengen van de benadering van de leertaak door leerlingen, het onderscheiden van de diepgaande en de oppervlakkige benadering. Vooral degenen die een diepgaande taakbenadering vertoonden, lieten metacognitieve activiteiten zien, zoals het bewuste gebruik van strategieën om problemen op te lossen, het zich realiseren van het eigen begrip of onbegrip en het stilstaan bij tussentijdse conclusies. Hierdoor

¹⁶ metacognitie = het vermogen om over de eigen cognitie (het kennen en het leren) na te denken en dit tot op zekere hoogte te besturen

¹⁷ gedacht kan worden aan *lifelong learning* en aan het Nederlandse Studiehuis

kwamen deze leerlingen tot een actieve, bevragende manier van werken. Zij genereerden ook, bij het uitvoeren van praktische opdrachten, verklaringen en *minitheorieën* voor wat zij waarnamen.

Verandering door nascholing, rol van lerarenopleiders

Onderwijsverandering wordt gerealiseerd door het anders inrichten van lessen. Dat is de taak en de deskundigheid van docenten. De lerarenopleider geeft zijn bijdrage in de vorm van een moderne opleiding van docenten en ook door nascholing van docenten aan te bieden. Daardoor kunnen zij andersoortige lessen ontwerpen, die bijvoorbeeld meer bij de constructivistische uitgangspunten aansluiten. In het verlengde daarvan kan het instituut van de lerarenopleiders materiaal ontwikkelen en aanbieden, dat in de bedoelde lessen bruikbaar is. In een enkel geval kan een lerarenopleiding ook voor schoolleiders iets aanbieden. De rest valt onder 'randvoorwaarden', die misschien nog door lerarenopleiders te beïnvloeden zijn als zij publiceren voor een groter publiek.

Als het streven is docenten anders, meer constructivistisch, les te laten geven, dan is het nauwelijks een kunst om een lijstje met wenselijkheden op te stellen. Maar het moeilijke punt ligt in de toepassing, waarbij die docenten in hun pogingen door allerlei factoren gedwarsboemd worden. En overigens ook in het gevaar dat men doorschiet en van de vernieuwingen een karikatuur maakt. Eventuele nascholing, of advies aan scholen die het zelf willen proberen, moet dus uitgaan van begeleiding bij de praktijk van de invoering van 'modern' onderwijs en dient kennis daarover aan te dragen.

Over de dilemma's die docenten ondervinden bij *constructivistisch* onderwijs, is een samenvattend artikel verschenen van Windschnitl¹⁸ (2002). De dilemma's worden onderscheiden naar conceptuele (de docent kent het constructivisme niet goed), didactische (de docent kan de gewenste werkvormen niet toepassen etc.), culturele (de cultuur in de klas wijkt af van de gewenste) en politieke (andere belanghebbenden werken niet mee). Het artikel schetst de Amerikaanse situatie, maar geeft veel herkenbare voorbeelden. Zo wordt ergens beschreven dat ouders, die zelf een graad hebben in *science* en het traditionele onderwijs aanhangen (dat ze zelf hebben genoten), bij de schoolleiding klagen en daar gehoor krijgen. Ergens anders wordt beschreven, hoe een lerarenopleiding een jonge docent, die constructivistisch onderwijs probeert in te voeren, helpt door aan schoolleiding en ouders uit te leggen wat de achtergronden zijn. Dit artikel is verplichte kost voor nascholers.

Veel docenten slagen er nu nauwelijks in, zo betoogt Windschnitl, constructivistisch onderwijs te realiseren. Voor minder getalenteerden (of: degenen die erg vast zitten aan traditionele lesmodellen) is het een zeer grote en zware opgave. Nascholers hebben vooral een taak in het erbij trekken van degenen die dat wel willen maar het op eigen kracht niet kunnen¹⁹. En wellicht in het beïnvloeden van factoren buiten de docent zelf, die het tot stand komen van aanpassingen tegenwerken. Bij wijze van flankerende actie is het goed in gesprek te blijven met schoolleiders en andere belanghebbenden. Nascholing over constructivistisch onderwijs zou in hoge mate vakgebonden moeten worden gegeven. De constructivistische principes hebben per vak een andere verschijningsvorm én de problemen die bij de invoering optreden liggen per vak anders. De nascholer moet vertrouwen hebben onder de docenten, maar dient op zeker moment ook tegenwicht te bieden, wanneer ideeën uit de hoek van de oppositie (die er altijd is) de overhand krijgen.

Nascholing zou ook aandacht moeten geven aan zaken als het bevorderen van motivatie en het verbeteren van metacognitieve activiteit. Niet alleen vraagt de maatschappij daarom, maar het zijn ook centrale aandachtspunten in recente ontwikkelingen in het onderwijs. Het constructivisme is ooit begonnen met een streven naar meer begripmatig leren, maar probeert tegenwoordig ook wegen te vinden voor bevordering van zelfverantwoordelijk leren.

¹⁸ van dit artikel is een uittreksel in het Nederlands beschikbaar

¹⁹ ook dienen de methoden, de leergangen, in te spelen op de gewenste principes

Slotopmerkingen en afwegingen

Dit artikel is geen aanbeveling om (alle) onderwijssituaties volgens constructivistische principes in te richten (hoewel tussen de regels door dit idee zich zou kunnen opdringen). Als zo'n aanbeveling al zou worden gedaan, dan dienen er tenminste enkele voorwaarden bij te worden genoemd. In het voorgaande zijn die al naar voren gekomen.

Ten eerste dienen de bezwaren, zoals geformuleerd door Kirschner et al. (2006), serieus te worden genomen. Constructivistisch onderwijs mag niet gelijk gesteld worden met onderwijs onder weinig begeleiding²⁰. Verder dient er aandacht te zijn voor het gegeven, dat minder gemakkelijk lerende leerlingen zich niet prettig voelen bij de constructivistische aanpak. Het constructivisme benadrukt weliswaar dat leerlingen zelf structuren in de leerstof moeten aanbrengen, maar zegt niet dat grote delen van het leerproces zelfstandig moet worden doorlopen²¹. De docent kan nog best de organisator zijn van, bijvoorbeeld, de ervaringen die de leerling doormaakt. De docent speelt altijd een belangrijke rol in het ondersteunen van reflectie. En de docent regisseert de groepsactiviteit, zorgt er bijvoorbeeld voor dat de sfeer zodanig is dat er vruchtbare wisselwerking plaats kan vinden.

Ten tweede dienen de docenten, die verondersteld worden het te gaan realiseren, te worden ondersteund en van het nodige gereedschap en kennis te worden voorzien. Zij dienen bijvoorbeeld ervaring te hebben en bedreven te zijn in onderwijs, waarbij zij niet primair de bron van vak kennis zijn. Zij dienen in staat te zijn een coachende en ondersteunende rol in het proces te spelen. Het artikel van Windschnitl (2002) geeft verdere suggesties voor de *empowerment* van docenten, die constructivistisch gaan lesgeven.

Ten derde lijkt het constructivisme vooral van waarde, wanneer andere ingangen om het leerproces te verbeteren ook worden benut. Daarbij kan gedacht worden aan kenmerken die een hogere motivatie bij leerlingen opleveren en aan aspecten die de metacognitieve processen (monitoring, zelfregulatie) bevorderen. Nader onderzoek hierover, in echte klassensituaties, zal nodig zijn om de kennis van processen en procedures op dit punt te verbeteren.

In het voorgaande is aangegeven dat de gegeven beschouwingen vooral over het voortgezet onderwijs gaan, maar niet voor welke vakken. Hier en daar staat 'exacte vakken' maar dat behoeft aanvulling.

Er is een verschil tussen de natuurwetenschappen biologie, natuurkunde en scheikunde enerzijds en wiskunde anderzijds. De realiteit waarbij het aansluit, de experimenten en de waarnemingen, is in de natuurwetenschappen ook in de gevorderde stadia aanwezig. Pas na het voortgezet onderwijs is het strikt nodig een begin te maken met theoretische natuurkunde, scheikunde en biologie, de vorm waarbij de ene abstractie uit de andere volgt. Maar voor wiskunde is de realiteit de wereld van de getallen, de meetresultaten en nog enkele andere structuren om kwantitatieve aspecten van de wereld weer te geven. Dat heb je op zeker moment wel gehad, en daarna wordt uit dat basismateriaal verder geredeneerd, door abstraheren en door verder te redeneren met abstracties. Wiskundig denken is op een bepaald moment juist niet meer de voortdurende confrontatie met ervaringen aan concrete zaken en met contexten waarin de abstracties teruggevonden worden. En dat omslagmoment ligt zeker eerder dan aan het eind van het voortgezet onderwijs. In klassen als 5 en 6 VWO en ook wel 5 HAVO zou het wiskundeonderwijs juist een gewenning moeten inhouden met het redeneren in abstracties. Daarmee vervalt een deel van de grondslag van het constructivisme. Niettemin blijven ook daar onderwijsvormen met veel activiteit en met uitwisseling van ideeën aantrekkelijk. Het leren van ervaringen is ook wel aanwezig, maar nu zijn dat ervaringen met

²⁰ dat laatste wordt door Kirschner et al. wel gesuggereerd en er is kritiek mogelijk op de geringe onderbouwing van deze stellingname

²¹ dat beginsel is later toegevoegd, toen allerwegen het streven naar *lifelong learning* opgeld deed

formaliteiten, abstracties en van de realiteit losgekoppelde technieken²². Voor de vroegere fasen van het voortgezet onderwijs, en ook voor het gehele VMBO, is er daarentegen veel te zeggen voor realistisch wiskundeonderwijs en daarmee voor constructivistische principes.

De (huidige) opvatting van de schrijver is, dat het (klassiek) constructivisme een goede leidraad is voor de inrichting en de vernieuwing van het onderwijs. Het is te beschouwen als een gestructureerde samenvatting van veel algemeen aanvaarde principes van goed onderwijs. Dat geldt in elk geval voor de natuurwetenschappen en de technische vakken en, met de reserve zoals hierboven verwoord, voor de wiskunde. Veel vernieuwing en nascholing bevat overigens al een flinke scheut constructivisme. Enkele ideeën van het sociaal constructivisme verdienen daarbij de aandacht. De grote uitdaging is, hoe dan docenten, leerlingen, schoolbesturen, ouders en politici er toe gebracht kunnen worden, het onderwijs volgens deze gezonde, algemeen aanvaarde principes in te richten. Het is bekend dat dit hier en daar weerstanden oproept, vooral van mensen die nog in het traditionele onderwijs zijn opgeleid. Het is ook bekend dat de onderwijsvernieuwing in enkele gevallen is doorgeschoten, wat argumenten oplevert voor de tegenstanders van vernieuwing. Er moet dus nogal wat gebeuren, niet alleen een nascholing van docenten maar ook massage van allerlei opinies bij andere betrokkenen. Eén van de redenen om nog niet onverkort voor sociaal constructivisme te kiezen is, dat dit nog veel meer weerstanden zal oproepen dan alleen de notie dat het individu zelf de kennis dient te construeren. De meerderheid van de docenten is er nog niet aan toe om 'alles in de groep te leggen'. Bovendien ontbreekt het nog aan wetenschappelijke gegevens over praktijksituaties, in schoolklassen, waar het sociaal constructivisme is toegepast.

Referenties

- Blom, S.V., D.J. Hoel & G.T.M. ten Dam (2007). Metacognitieve zelfregulatie, motivatie en perceptie van klassenklimate. Zijn er sociaal-culturele verschillen? *Pedagogische Studiën* 84, 20-36.
- Chin, C. & D.E. Brown (2000). Learning in Science: A Comparison of Deep and Surface Approaches. *Journal of Research in Science Teaching*, 37, 109-138.
- Cobb, P. (2006). Mathematics Learning as a Social Process. In J. Maasz & W. Schloeglman (Eds.), *New Mathematics Research in Practice*. Rotterdam: Sense Publishers.
- Crouch, C.H. & E. Mazur (2001) Peer Instruction: Ten years of experience and research. *American Journal of Physics*, 69, 970-976.
- Duit, R & D.F. Treagust (2003). Conceptual Change: a powerful framework for improving science teaching and learning. *International Journal of Science Education*, 25, 671-688,
- Ford, M.J. & Wargo, B.M. (2007) Routines, Roles and Responsibilities for Aligning Scientific and Classroom Practices. *Science Education*, 91, 133-157.
- Glaserfeld, E. von (1991). Introduction to E. von Glaserfeld, *Radical Constructivism in Mathematics Education*. Dordrecht, Kluwer.
- Hand, B., D.E. Treagust & K. Vance (1997). Student Perceptions of the Social Constructivist Classroom. *Science Education*, 81, 561-575.
- Hogan K. (1999) Relating Students' Personal Frameworks for Science Learning to Their Cognition in Collaborative Contexts. *Science Education*, 83, 1-32
- Klahr, D. & J. Li (2005). Cognitive Research and Elementary Science Instruction: From the Laboratory, to the Classroom and Back. *Journal of Science Education and Technology*, 14 (2), 217-238.
- Kirschner P.A., J. Sweller & R.E. Clark (2006): Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential and Inquiry-Based Learning. *Educational Researcher*, 41 (2) 75-86
- Manlove, S., A.W. Lazonder & T. de Jong (2006). Regulative support for collaborative scientific inquiry learning. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 87-98
- Matthews, M.R. (2002). Constructivism and Science Education: A Further Appraisal. *Journal of Science*

²² geldt wellicht niet voor het onderdeel statistiek

Education and Technology, 11, 121-134

- Mayer, R. (2004): Should there be a three strikes rule against pure discovery learning? The case for guided methods of instruction. *American Psychologist*, 59, 14-19
- Novak J.D. (2002) Meaningful Learning: The Essential Factor for Conceptual Change in Limited or Inappropriate Propositional Hierarchies Leading to Empowerment of Learners. *Science Education* 86, 548-571
- Palmer, D. (2005). A Motivational View of Constructivist-informed Teaching. *International Journal of Science Education*, 27, 1853-1881.
- Pintrich, P.R., R.W. Marx & R.A. Boyle (1993). Beyond Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63, 167-199.
- Sandoval, W.A. (2005) Understanding Students' Practical Epistemologies and Their Influence on Learning Through Inquiry. *Science Education* 89, 634-656
- Staver, J. (1998) Constructivism: Sound Theory for Explicating the Practice of Science and Science Teaching. *Journal of Research in Science Teaching*, 35, 501-520.
- Tao & Gunstone (1999). Conceptual Change in science through collaborative learning at the computer. *International Journal of Science Education*, 21, 39-57.
- Vries, G.H. de (1995). *De ontwikkeling van wetenschap: een inleiding in de wetenschapsfilosofie*, 3^e druk. Groningen: Wolters-Noordhoff
- Wallace, C.S. & J.S. Oliver (2003). Journaling During a School-Based Secondary Methods Course: Exploring a Route to Teaching Reflection. *Journal of Science Teacher Education*, 14, 161-176.
- Webb, P. & D.F. Treagust (2006). Using Exploratory Talk to Enhance Problem-solving and Reasoning Skills in Grade-7 Science Classrooms. *Research in Science Education*, 36, 381-401
- Windschnitl, M. (2002): Framing Constructivism in Practice as the Negotiation of Dilemmas: An Analysis of the Conceptual, Pedagogical, Cultural and Political Challenges Facing Teachers. *Review of Educational Research*, 72 (2) 131-175.

Appendix: Kenmerken van constructivistisch onderwijs

1. Basiskenmerken en -principes

- De leerling dient de kennis zelf op te bouwen aan de hand van ervaringen en door middel van reflectie. Dit is een iteratief proces: na een 'voorlopig' opgebouwd idee leiden nieuwe ervaringen (of feedback van anderen) tot bijstelling en verfijning van het beeld.
- Zinvolle kennis bestaat nooit uit losstaande feiten, maar uit structuren/netwerken van feiten of begrippen. Nieuwe kennis dient daarom nauwkeurig aan te sluiten bij de aanwezige kennis, die voor elke leerling verschilt. Het heeft geen zin dat de docent, of het boek, de structuur 'vooraf' bedenkt en die dan aan de leerling overbrengt in kant-en-klare vorm.
- De informatie, die de leerling krijgt, dient een antwoord te zijn op een vraag die bij de leerling leeft. Daarom dient eerst die vraag, of het bewust zijn van een probleem, bij de leerling te worden ontwikkeld. Vragen of problemen komen uit een voor de leerling herkenbare context. Dit bevordert mede dat de leerling, na het verwerven van kennis, deze ook kan toepassen.
- Het gewenste leerproces komt veelal tot stand door de leerling in een onderzoekende rol te plaatsen. Het 'bevragen van de wereld' is uitgangspunt. De leerling wordt opgevat als een *no-vice researcher*; voor die rol kan de échte onderzoeker nauwelijks model staan. Opdrachten staan niet zozeer in het perspectief van "de wereld ontrafelen" (alsof vaststaat wat je zult vinden) maar dienen "om een consistent beeld te ontwikkelen".
- De leerling dient in de gelegenheid te komen de opgebouwde beelden/structuren, ook en vooral als dat voorlopige ideeën zijn, met anderen (docent/medeleerlingen/anderen) te delen. Dit verscherpt het reflectieproces en het biedt de mogelijkheid feedback te krijgen.
- De docent komt meer in de rol van begeleider, ondersteuner en organisator en minder in die van uitlegger. Rollen die de docent zeker heeft, zijn
 - organisator: het bevorderen van het gewenste verloop van het proces, het creëren van een veilig klimaat in de klas waarin vruchtbare gedachtewisseling mogelijk is, het beschikbaar stellen van bronnen van informatie en andere materialen, het creëren van ervaringen
 - ondersteuner: het tonen van interesse in de gedachten van leerlingen, het helpen van leerlingen om tot zinvolle vragen te komen (ook: om met de leerling de voorkennis in beeld te krijgen), het verwijzen naar bronnen en ervaringen die antwoorden opleveren (incidenteel: zelf geven van zo'n antwoord), zelf een bevragende instelling laten zien.

2. Uitbreidingen

- Sociaal constructivistische benadering: de kennis moet gedeeld worden met anderen voordat het valide kennis is; de groep (en niet primair de docent) heeft de verantwoordelijkheid vast te stellen wat valide kennis is.
- Zelfverantwoordelijk leren: de leerling neemt steeds meer eigen verantwoordelijkheid voor hoe geleerd wordt, maakt eigen keuzen in het proces. Hiervoor zijn bepaalde metacognitieve vaardigheden vereist, die wellicht geleerd moeten worden.