

De bijdrage van Direct Manipulation Environments aan de ontwikkeling van technische geletterdheid in de basisschool

(paper ingediend ten behoeve van Onderwijs Research Dagen “Licht op Leren” 2008; symposium Stimuleren van techniek in het basisonderwijs)

Lou (L.A.M.P.) Slangen^{*}, Hanno (J.) van Keulen & Wim (W.M.G.) Jochems

Zowel voor mensen die kiezen voor een opleiding of beroep in wetenschap of techniek als voor diegenen die dat niet doen is het van belang te beschikken over een basis aan technische geletterdheid (TG). Immers het dagelijkse leven is doorspekt met het gebruik en toepassen van technologie. Een voortdurende confrontatie met wetenschap en techniek en de consequenties daarvan zijn onontkoombaar. Leven in zo een maatschappij vraagt daarom: een basaal inzicht en enige interesse in de rol en impact van W&T; een basisniveau aan gebruikskennis en vaardigheid in praktische toepassing daarvan; het mee kunnen denken en redeneren op globaal niveau over W&T. Onderwijs, al startend in het basisonderwijs, heeft allereerst de taak leerlingen te helpen bij de ontwikkeling van een positieve maar tevens kritische attitude ten aanzien van wetenschap en techniek (Dakers, 2006; Kuijpers & Walma van der Molen, 2007; Rogers & Portsmore, 2004). Ten tweede moet onderwijs leerlingen voldoende uitdagingen en kansen bieden om een fundament aan technische geletterdheid te ontwikkelen (Dugger & Gilberti, 2002). Om dergelijk doelen te bereiken kan tegenwoordig gebruik gemaakt worden van innovatieve leermiddelen de zogenaamde Direct Manipulation Environments (DME's), zoals TechnoLogica en Lego Mindstorms. Deze producten, gebaseerd op ICT (besturingstechnologie en PLC's of te wel Programmable Logic Controllers) en Mechatronica (beweegbare constructies gekoppeld aan actuatoren en sensoren) laten leerlingen op inspirerende wijze actief leren met, door en over hedendaagse technologie. Een veel gehoorde veronderstelling is dat dergelijke leermiddelen door goed gebruik in het onderwijs kunnen bijdragen aan de ontwikkeling van technische geletterdheid. Maar er zijn op dit gebied nog heel wat onderzoeksvragen te beantwoorden



Onderzoeksvragen

Onderzoek naar de bijdrage van DME's, via het educatief gebruik, aan de ontwikkeling van technische geletterdheid (TG) is een complex geheel. Het vraagt allereerst een nadere theoretische uitwerking van het begrip TG. Ten tweede vraagt het een antwoord op de bijdrages die het gebruik van DME's kan hebben aan de ontwikkeling van de samenstellende componenten van TG. Ten derde vraagt het een antwoord op kenmerken van een adequate leeromgeving met DME's. Denk aan de aard van de taken en de ondersteunende informatie en materialen. Ten vierde vraagt het onderzoek naar de rol van de leerkracht in dit geheel en tot slot naar retentie- en transfereffecten. Voor het onderzoek op dit gebied komen we voorlopig tot het volgende onderzoeksmodel dat gedurende onze studies verder verfijnd zal worden.

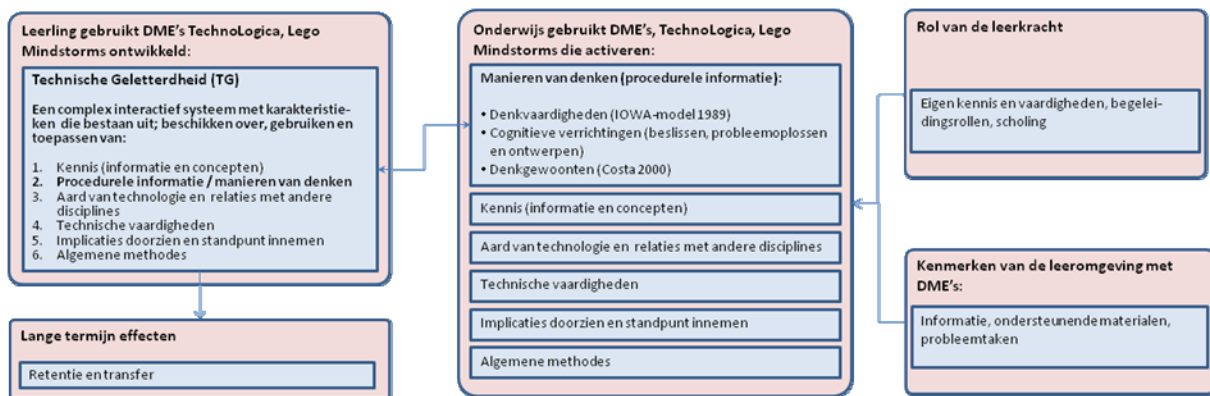
In deze publicatie gaan we in op twee vragen:

1. Wat is technische geletterdheid en hoe kunnen we komen tot een werkbare definitie?

^{*} Eerste auteur; correspondentie via l.slangen@fontys.nl

2. Draagt het werken met DME's bij aan het activeren van hogere-orde cognitief handelen dat we als een onderdeel van TG beschouwen?

We verduidelijken hoe leerlingen via dergelijke leermiddelen probleemoplossend kunnen manipuleren en discussiëren. Ze doen een intensief beroep op denkvaardigheden en denkhoudingen en ontwikkelen daardoor beter inzicht in moderne technologie. Tegelijkertijd worden ze vaardiger in het gebruik en toepassen van technologie. We specificeren de onderliggende concepten van Mindtools en Direct Manipulation Environments (DME's) en beschrijven twee toepassingen. Vervolgens wordt het begrip Technische Geletterdheid (TG) in relatie tot het gebruik van DME's beschouwd en wordt kort ingegaan op stand van het wetenschappelijk onderzoek op dit gebied. Vervolgens gaan we in op het gebruik van denkvaardigheden en denkhoudingen als een aspect van technische geletterdheid. We sluiten af met een beschrijving van een casestudie en enkele eerste onderzoeksresultaten en voornemens voor verder onderzoek.



Wat zijn Mindtools en DME's?

Mindtools zijn hulpmiddelen die leerlingen stimuleren om hogere-orde denkvaardigheden aan te spreken (Jonassen, 2000). In essentie helpen mindtools de lerende om een representatie te maken van wat deze weet of kan. De leerling construeert met behulp van de mindtool modellen (Jonassen, 2006) die vervolgens op verschillende manieren aan de werkelijkheid getoetst kunnen worden. De grondslag voor het toepassen van mindtools in het (basis)onderwijs sluit nauw aan bij de opvattingen over constructivistisch leren. Een mindtool zet de lerende namelijk uitdrukkelijk aan tot interpreteren van informatie en (re)organiseren van zijn kennis. In essentie vindt er bij de leerling steeds weer een conceptuele verandering plaats op basis van discrepanties tussen ervaringen en vigerende mentale concepten (Jonassen, 2006). Mindtools faciliteren en initiëren inhoudelijk redeneren en activeren het aanspreken van hoger-orde denkvaardigheden zoals causaal redeneren, analyseren, synthetiseren. Leerlingen gebruiken mindtools pas goed wanneer ze erdoor aangemoedigd worden om kritisch en creatief te denken over en met de inhoud die ze bestuderen. Dit betekent dat Mindtools het leren niet gemakkelijker maar wel beter maken (Slangen & Sloep, 2005).

Volgens Jonassen (2000, 2006) zijn vooral computerapplicaties geschikt om als mindtool te functioneren. Voorwaarde is dat de applicatie de leerling uitnodigt om op basis van specifieke karakteristieken van die software en de (probleemoplossende) taak al redenerend mentale modellen te bouwen. Dit impliceert dat ook andere leermiddelen al dan niet in combinatie met computertoepassingen als mindtool kunnen functioneren. Jonassen categoriseert ICT gebaseerde mindtools als volgt: concept mapping software, databases, spreadsheets, expert systemen, simulatie software, constructie software, hypermedia, visualisatie middelen en de Direct Manipulation Environments (DME). In onze studie richten we ons op de DME's.

In een DME bouwt een gebruiker op basis van een gesteld probleem een virtueel en/of materieel model rondom een specifiek fenomeen waarbij variabelen en direct te beïnvloeden parameters ingebracht worden. Door deze directe beïnvloeding kan de werking van het model meteen waargenomen worden. De DME's

TechnoLogica en Lego Mindstorms waar wij ons op richten zijn gebaseerd op een hybride omgeving die uit een virtueel als materieel deel bestaat. Met software wordt een virtueel besturingsmodel (het programma) gebouwd dat via een interface (de PLC) een materieel mechanisch model autonoom aanstuurt of daarmee interacteert. TechnoLogica heeft de PLC Leonardo gedoopt en Lego kent de RCX die onlangs opgevolgd is door de NXT. De PLC is verbonden met of maakt zelfs onderdeel uit van het materiële model. Afhankelijk van de taak worden dergelijke virtuele en/of materiële modellen door de leerlingen zelf ontworpen en geconstrueerd. De materiële modellen worden samengesteld uit allerlei bouwcomponenten (blokken, staven, tandwielen, verbindingdelen, motoren, sensoren enz.) van constructiespeelgoed zoals Lego Technic, Fisher Techniek of bijvoorbeeld K' nex. De PLC wordt geprogrammeerd met behulp van een computer en pictogram gebaseerde software, die bestaat uit representaties van de beïnvloedbare materiële objecten, parameters, beslisroutines, variabelen enz.

De TechnoLogica software bevat vier niveaus van complexiteit namelijk: de directe, automatische, interactieve en de samenwerking modus. Lego kent geen niveaus in de software maar heeft diverse software versies die met uitgebreide digitale handleidingen en instructies worden ondersteund. In beide producten maakt de software gebruik van pictogrammen die een fysiek object (motor, ultrasoon sensor, aan/uit schakelaar, een klok), een beslisregel (als dan keuze, een herhaal keuze, wacht tot) of een zelfgemaakt verkortingspictogram (met een stukje programma) representeren. De objecten zijn naar wens te combineren en in te stellen door parameters te veranderen. In principe biedt de software de zelfde mogelijkheden als tekst georiënteerde programmatuur. Maar het visuele karakter van de software helpt de leerlingen gemakkelijker een programma te maken (Lavonen, Meisalo, & Lattu, 2001). Het leren van de programmeeromgeving is niet het doel op zichzelf maar onderdeel van het leren over en met technologie. Het gaat om inzichten in ICT als techniek, om logisch redeneren, verkortingen leren gebruiken, opbouwen van beslisroutines, structureren enz.

In zo een hybride microwereld, kunnen de kinderen met de materiële middelen experimenteren en kennis en concepten van techniek en wetenschap opdoen, redeneringen opbouwen, de werkelijkheid onderzoeken enz. Het effect van interventies kan meteen geobserveerd worden en wijzigingen kunnen ter plekke doorgevoerd en getest worden. Dat roept bij veel leerlingen een hoge mate van betrokkenheid op[†]. Zowel het bouwen als het manipuleren van zo een werkend model (robot, machine) geeft een gevoel van realiteit. De veronderstelling is dat leerlingen door het actief manipuleren van deze DME's hun TG vergroten. Ze bevorderen het actieve denken van leerlingen door het manipuleren van een concrete wetenschappelijke en technische wereld, wat bijvoorbeeld leidt tot het leren van concepten uit de fysica. Verder leiden ze dan tot een toenemend inzicht in wetenschappelijke en technische concepten en zetten ze aan tot het logische denken binnen deze contexten. Ten derde worden vele kansen geboden om in de praktijk problemen op te oplossen en generieke denkvaardigheden te versterken.

Wat is Technische Geletterdheid, een aanzet met het oog op het gebruik van DME's?

De term Technische Geletterdheid (TG) verwijst naar hetgeen een niet-expert deelnemer in een samenleving zoal zou moeten weten en kunnen met betrekking tot techniek. Vanuit de wetenschap worden regelmatig bijdragen geleverd om beter grip te krijgen op de karakteristieken en definiëring van TG. We missen echter nog een voldoende uitgekristalliseerd en ook algemeen geaccepteerd kader om onderwijs op te baseren dat leidt tot meer en betere TG. Een dergelijk kader is hoogst noodzakelijk om onderwijs te kunnen realiseren dat leerlingen duidelijk maakt dat technologie meer is dan (de productie van) artefacten, maar dat het ook gebaseerd is op kennis en processen en een kritisch bewustzijn vraagt met betrekking tot de technologische wereld waarin we leven (Dakers, 2006). Een dergelijk kader is tevens nodig om de waarde van nieuwe educatieve methodes en middelen te kunnen onderzoeken en taxeren.

[†] De actieve deelname van leerlingen aan wedstrijden zoals de First Lego League, de RoboCup enz. zijn daar goede bewijzen van.

In de dagelijkse realiteit hebben we te maken met een continuüm met aan de ene zijde de niet-technici, die zich beperken tot het leven in de context van technische activiteiten en de wereld buiten de zwarte doos, en aan de andere zijde de technische experts, die zich vooral richten op de inhoud van de zwarte doos (Barnett, 1995). Participeren in een moderne technologische maatschappij vraagt echter meer dan slechts een betrokkenheid in de context van technologie. Van een technisch geletterde persoon mag verwacht worden dat deze beschikt over een soort volgroeid besef van technologie dat het mogelijk maakt actief te functioneren in een technologie afhankelijke maatschappij (Garmire & Pearson, 2006). Technisch geletterde personen beschikken over middelen (kennis, kritisch denken & beslissen en bekwaamheden) om intelligent en bedachtzaam te participeren in een technologische wereld om hen heen (Garmire & Pearson, 2006). Analoot aan deze opvattingen stellen wij dat een technisch geletterd individu kennis heeft over eenvoudige technologie en wel op zo een wijze dat deze die technologie kan begrijpen, gebruiken en daarmee tevens kan creëren. Dit standpunt impliceert dat TG zich niet beperkt tot alleen weten en begrijpen maar ook kunnen, gebruiken en toepassen vereist.



Hoewel technische geletterdheid en technisch competent zijn regelmatig als synoniem worden gebruikt beschouwen we deze twee begrippen niet als identiek. Technisch competent zijn verwijst eerder naar een specifiek van een persoon vereist niveau van expertise om succesvol doelgericht en adequaat technisch te kunnen handelen binnen een bepaalde situatie. Aanvankelijke technische geletterdheid kan door vergroten van inzichten en bekwaamheid steeds verder overgaan in technisch competent zijn.

Jones & Moreland (Jones & Moreland, 2004) omschrijven onderwijs gericht op ontwikkeling van TG als een uitgebreid gebied dat betrekking heeft op de exploratie en het oplossen van complexe en onderling samenhangende technische problemen, die meerdere conceptuele, procedurele, maatschappelijke en technische variabelen betreffen. We definiëren in het verlengde van Jones en Moreland (2004) en op grond van het voorgaande technische geletterdheid voorlopig als het geheel van de volgende zes onderling samenhangende componenten.

1. **Beschikken over en doen toenemen van kennis;** informatie verfijnen of uitbreiden (feiten, gegevens, observaties en ervaringen), concepten (theorieën, definities, axioma's, weten, principes en modellen) leren doorzien **en capabel zijn deze te gebruiken en toepassen.**
2. **Ontwikkelen en toepassen** van relevante **procedurele informatie** (strategieën met betrekking tot het weten hoe iets te doen, wat te doen en wanneer) en **manieren van denken** (cognitieve vaardigheden gebaseerd op kritisch denken en beslissingen nemen);
3. **De aard van technologie begrijpen** en haar (multidisciplinaire) **relatie** met wetenschap, mathematica, ICT en andere gerelateerde disciplines en **deze gebruiken en toepassen;**
4. **Ontwikkelen en verfijnen van technische vaardigheden** (manueel, praktisch) en **deze gebruiken en toepassen;**
5. **De implicaties en consequenties begrijpen** en **een gezichtspunt innemen** met het oog op de onderlinge relatie tussen technologie en mensen;
6. **Bewust zijn van algemene methodes** zoals ontwerpen en onderzoeken om technische problemen op te lossen en **deze kunnen gebruiken en toepassen.**

Technische geletterdheid zoals we die hiervoor hebben gezien bestaat uit diverse veelomvattende componenten. Garmire & Pearson (2006) onderscheiden drie overkoepelende dimensies. Ze noemen de kennis dimensie (inhoud zoals feiten, concepten, voorschriften), de vaardigheden dimensie (de praktijk zoals het handelen, het materiële, het doen en realiseren) en de dimensie kritisch denken en beslissen (waaronder denkvaardigheden en denkhoudingen gerekend kunnen worden).

Op grond van literatuuronderzoek (Slangen & Sloep, 2005) en een casestudie (Slangen, Fanchamps, & Kommers, 2008) vermoeden wij dat het educatief toepassen van DME's zoals Lego Mindstorms en TechnoLogica bruikbaar is om op de genoemde componenten of dimensies een bijdrage te leveren aan de ontwikkeling van technische geletterdheid. Er zijn echter nog weinig onderzoeksresultaten over de bijdrage van dergelijke tools aan de ontwikkeling van TG. Wat wel is onderzocht, is de meer algemene vraag welke educatieve bijdrage DME's kunnen leveren aan sommige componenten TG waaronder denkvaardigheden.

Onderzoek naar de bijdrage van DME's aan TG en de relatie met denkvaardigheden.

Krumholtz (1998) gebruikte bij leerlingen in de leeftijd van 8-14 jaar TechnoLogica software in combinatie met technisch constructiemateriaal en constateert een stijgend intuïtief en formeel inzicht bij leerlingen in concepten van fysica zoals snelheid, versnelling, zwaartekracht, wrijving, kracht en evenwicht. In diverse andere studies wordt het educatief gebruik van Lego Mindstorms beschreven. Bers e.a. (2002) tonen ons hoe Lego Mindstorms de ontwikkeling van technische vloeiendheid bij aankomende leerkrachten bevordert en hoe met Lego Mindstorms aan jonge kinderen moeilijke concepten zoals de levenscyclus kunnen worden onderwezen. Hierbij wordt gesteld dat ook principes van constructivisme gerealiseerd worden zoals: het leren door ontwerpen, manipuleren van objecten om mee te denken, exploreren van krachtige ideeën en zelfreflectie. Savage, Sánchez, O'Donnell, & Tagney (2003) beschrijven een ervaring met probleem gebaseerd Leren (PBL) bij het gebruik van robotica onder niet technische studenten. De conclusie is dat de combinatie van constructivisme, mindtools en discussie een hoog potentieel heeft om hoger-orde denkvaardigheden te bevorderen. Ook worden veelbelovende verwachtingen met betrekking tot het cognitieve, emotionele en sociale leren van leerlingen en leraren in primair onderwijs en scholen voor speciaal onderwijs worden gesignaleerd als resultaat van het manipuleren (construeren en programmeren) met Lego Mindstorms robots (Eronen, Sutinen, Vesisenaho, & Virnes, 2002; Kärnä-Lin, Pihlainen-Bednarik, Sutinen, & Virnes, 2006; Sutinen, Virmajoki-Tyrväinen, & Virnes, 2005).

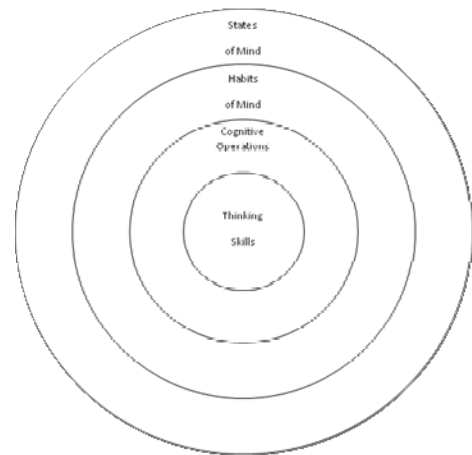
Andere onderzoeksresultaten zijn minder positief. Lavonen, Meisalo et al. (2001) bestudeerden 14 jaar oude leerlingen die open problemen met behulp van constructiemateriaal en het programma Empirica Control oplossen. Er werden geen effecten gevonden met betrekking tot het formele leren van probleemoplossend handelen die toegeschreven kunnen worden aan het effect van het programmeren met Empirica Control. De leerlingen toonden weinig planning, reflectief en creatief denken, en zij gebruikten vaak trial en error strategieën. Men constateerde ook dat wanneer software op pictogrammen gebaseerd is, het noodzakelijk is om sommige grondbeginselen voorafgaand aan een opdracht te leren en niet tijdens de uitvoering van de probleemtaak. Lindh & Holgersson (2006) onderzochten de gevolgen van een Lego training op de prestaties van leerlingen bij wiskunde en technische taken. De resultaten toonden een onduidelijk effect op het vermogen van leerlingen om logische problemen op te lossen. Er was geen (statistisch) bewijsmateriaal dat de gemiddelde groep het beter uitvoerde, maar er was wel enig bewijsmateriaal dat de subgroepen van gemiddeld goede leerlingen van de Lego trainingstaken profiteerden.

Denkhoudingen en denkvaardigheden als een component van technische geletterdheid.

Wetenschappers trachten denkprocessen nauwkeurig te bestuderen en deze te beschrijven in hanteerbare termen (Bransford, Brown, & Cocking, 2004). Het bereikte inzicht zou moeten helpen onderwijs te realiseren dat leerlingen stimuleert om beter en effectiever te denken. Dit impliceert overigens niet dat er een classificatiesysteem met prescriptieve onderwijsregels moet worden gebouwd. Resnick (1987) vermeldt dat er bewijzen zijn dat leren denken onderwijsbaar is, maar dat er geen bewijsmateriaal is dat de hoger-orde denkvaardigheden geleerd worden door specifieke componenten te verwerven en te oefenen. Als wij hoger-orde denken willen activeren kunnen we de leerlingen slechts activeren door ze met materialen, situaties of contexten te confronteren die zij nooit eerder hebben ervaren (Boostrom, 2005). Gebaseerd op theorieën van de neurobiologie en het brain-based leren beschrijft Kok (2003) dat rijke leeromgevingen realistisch en holistisch moeten zijn, waardoor ze intensieve leerervaringen opwekken. Voorgaande conclusies pleiten voor

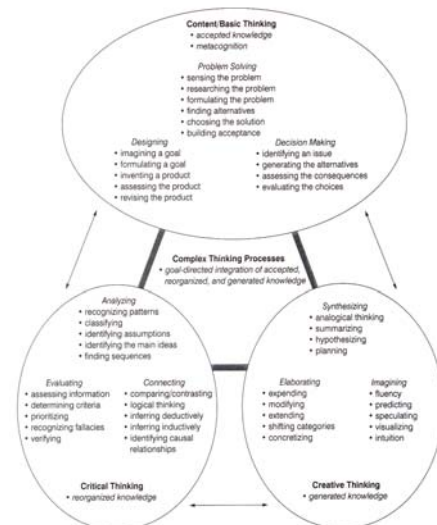
een aanbod van complexe en unieke taken die het denken bevorderen en een hoge graad van veiligheid, uitdaging, authenticiteit en actieve betrokkenheid hebben. Wij veronderstellen dat de kwaliteit van TG te verbeteren is door probleemoplossingstaken met DME's met TechnoLogica en Lego Mindstorms aan leerlingen voor te leggen. Deze taken bieden mogelijkheden om uitgaande van authenticiteit, betrokkenheid, probleemoplossend handelen het hoger-orde denken te activeren en intensiveren. Zoals we eerder hebben beschreven wordt het denken (manieren van denken, kritisch denken en beslissingen nemen) ook beschouwd als een aspect van TG. In een casestudy met TechnoLogica zijn we op zoek gegaan naar het zich voordoen van denken in de vorm van denkvaardigheden en denkhoudingen. We verduidelijken eerst het gebruikte theoretisch kader en gaan dan verder in op de studie en resultaten.

Costa (2000) heeft in een model met vier concentrische cirkels de samenhang tussen denkvaardigheden, cognitieve handelingen, denkgewoonten en gemoedstoestanden beschreven (Figuur 1). In het centrum staan de denkvaardigheden (vergelijken, classificeren enz.). De tweede cirkel die de vorige twee omvat bevat 16 denkgewoonten (flexibel zijn, streven naar nauwkeurigheid enz.), die kenmerken van intelligent acteren zijn. De derde cirkel bevat de gemoedstoestanden (motivatie, stabiliteit enz.).



Figuur 1: denkmodel van Costa (2000)

Het IOWA Integrated Thinking Model (Burklund, Garvin, Lawrence, & Yoder, 1989) (figuur 2) biedt een gedetailleerdere uitwerking van de componenten van de twee binnencirkels die Costa als denkvaardigheden en cognitieve verrichtingen aanduidt. Cognitieve verrichtingen (complexe denkprocessen) zoals oplossen van problemen, het ontwerpen en besluitvorming, vereisen denkvaardigheden zoals, kritisch denken (analyseren, evalueren, verbinden enz.) en creatief denken (synthetiseren, verbreden, veronderstellen enz.). Deze hoger-orde denkvaardigheden verwijzen opeenvolgend naar reorganiseren van kennis en genereren van nieuwe kennis. Deze denkvaardigheden vereisen een op inhoud gebaseerd denken waarbij het gaat over feiten, regels, vaardigheden, concepten, principes uit dat inhoudelijke domein.



Figuur 2 IOWA Integrated Thinking Model

Beide benaderingen hebben gemeenschappelijk de veronderstelling dat het intelligente denken een complex interactief systeem is en geen verzameling is van afzonderlijke vaardigheden, houdingen, strategieën enz. Het actief inzetten van denkvaardigheden en denkhoudingen, bij het nemen van beslissingen en oplossen van technische problemen zijn belangrijk voor de mate van succes.

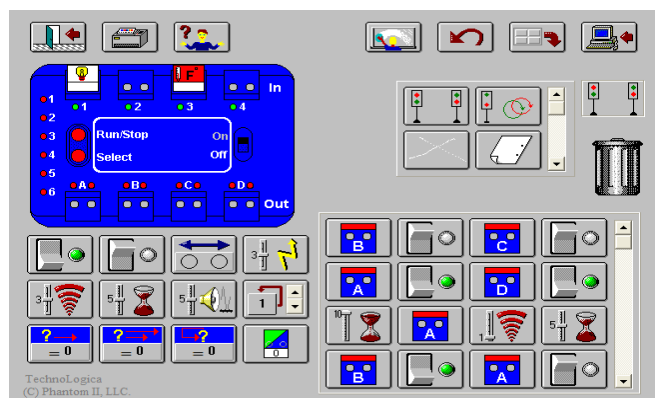
Tijdens onderwijsmomenten waarin we leerlingen in tweetallen lieten werken met Lego Mindstorms NXT om problemen op te lossen constateerden we dat leerlingen, zowel in situaties met instructie van de leerkracht als in situaties zonder instructie, onderling intensieve en diepgaande discussies voerden over de aanpak van de taak. In beide situaties kwamen de meeste leerlingen tot oplossing van het probleem.

TechnoLogica als leermiddel voor het ontwikkelen van technische geletterdheid

In een pilotstudie is het hoger-orde denken (component 2) onderzocht aan de hand van de discussies tussen leerlingen bij het oplossen van probleemtaken met de DME TechnoLogica. We beschrijven hier de opzet van het onderzoek en de eerste resultaten. Op een systematische wijze zijn de uitingen van denkvaardigheden en denkhoudingen tijdens het uitvoeren van probleemoplossingstaken met TechnoLogica in beeld gebracht. Hiervoor gebruikten we een werkboekje met instructies en twee opdrachten, het PLC interface Leonardo, voorwerpen (lampjes, motoren, grondplan van een wegversmalling, verkeerslichten en een reuzenrad met motor en sensor gebouwd met K'nex) en een computer met de TechnoLogica software. De handleiding is zelfinstruerend en geeft voor de eerste drie van de vier niveaus uitleg over de werking van het programma. Aan het einde van de instructie van het tweede en derde niveau (automatische, interactieve mode) is een open, authentieke en contextrijke taak opgenomen. De bij de taken horende materiële modellen zijn vooraf geconstrueerd, maar uitdagend genoeg om de leerlingen aan te zetten tot het zelfstandig bedenken en programmeren van een oplossing. Op niveau twee, was de taak het ontwerpen van een werkend programma om verkeerslichten bij een wegversmalling goed te laten functioneren. Op dit niveau, gebruikten de leerlingen de automatische mode en vier outputpoorten voor de verkeerslichten. Het probleem van het reuzenrad op niveau 3 (interactieve mode) was een vooraf beschreven wijze waarop het reuzenrad zou moeten draaien en de sierverlichting moest reageren. Om deze taak op te lossen, moesten de leerlingen twee outputpoorten (een voor de lampjes en een voor de motor) en één input poort (magnetische sensor) gebruiken. De magnetische sensor telt het aantal omwentelingen op grond waarvan de leerlingen beslissingen in het programma kunnen laten uitvoeren. Er wordt gesteld dat de taak van het reuzenrad voor de leerlingen complexer is dan de taak met het verkeerslicht. De reuzenradtaak is moeilijker omdat hier sprake is van interactie tussen de virtuele en materiële wereld van het model en er gebruik moeten worden van variabele inputgegevens. Bij de taak van het verkeerslicht is er slechts sprake van eenrichtingscommunicatie een rechtstreekse besturing van de virtuele wereld naar het materiële model.



Figuur 3 Interface Leonardo en verkeerslicht



Figuur 4 Schermafbeelding van de besturingssoftware TechnoLogica

Het onderzoek werd uitgevoerd bij 24 leerlingen van groep 8 uit een basisschool. De leerlingen hadden voordien nooit TechnoLogica of een vergelijkbaar product gebruikt. De leraar had willekeurig tweetallen samengesteld. De tweetallen werkten zelfstandig en de rol van de begeleider was vooral coachend (frustratie vermijden, indirecte vragen stellen, hints geven enz.). Er was tijdens het uitvoeren van de taak een begeleider aanwezig die zich echter zo weinig mogelijk mengde in de aanpak van de oplossing. Door de instructies uit het werkboekje te volgen verwerven de leerlingen voldoende kennis van de werking van de software (Figuur 3 en 4) om vervolgens een oplossing voor een echt nieuw en concreet probleem te bedenken en programmeren.

Het manipuleren van deze hybride microwereld veronderstelt dat leerlingen een echt denkproces activeren en een model ontwikkelen dat vervolgens in concrete programmeerstappen wordt vertaald en door het materiële model te testen wordt geverifieerd. De kwesties (de verkeerslichten en het reuzenrad) zijn niet gemakkelijk op

te lossen. Daarom ontstaat er een intense mondelinge talige interactie met als doel het samen oplossen van een probleem. Het denken van de leerlingen wordt via het talig gedrag waarneembaar. De interactie is doelgericht en leidt tot ontwikkeling van nieuwe kennis (Slangen en Sloep, 2005) en strategieën. Via deze steeds voortgaande discussies (Bereiter, 1994), onderzoeken de deelnemers constant ideeën, doen veronderstellingen, onderzoeken alternatieven en verklaringen, die bijdragen aan voortgang in het oplossen van het probleem.

Tijdens het oplossen van de probleemtaken zijn van ieder tweetal video-opnames gemaakt. Met behulp van twee zelfontwikkelde gestructureerde observatie-instrumenten zijn de talige interacties gescoord. De scoringscategorieën zijn gebaseerd op de denkhoudingen (lijst 1) Van Costa (2000) en denkvaardigheden (lijst 2) Burklund e.a. (1989).

Denkhoudingen (Costa 2000)	Denkvaardigheden (selectie uit IOWA model)	
1. doorzettingsvermogen 2. impulsiviteit beheersen 3. luisteren met begrip en empathie 4. flexibel denken 5. denken over denken (Metacognitie) 6. streven naar nauwkeurigheid 7. vragen stellen en problemen opperen 8. oude kennis toepassen in nieuwe situaties 9. helder en precies denken en communiceren 10. gegevens verzamelen door alle zintuigen te gebruiken 11. creëren, innoveren en fantaseren 12. reageren met verwondering 13. verantwoorde risico's nemen 14. gebruik humor 15. denken in samenhang 16. openstaan voor levenslang leren	Analyseren	Evalueren
	• Patronen herkennen • Classificeren • Veronderstellingen herkennen/doen • Hoofd ideeën herkennen • Volgordes ontdekken	• Informatie toetsen/vaststellen • Criteria achterhalen • Prioriteiten stellen • Misvattingen herkennen • Verifiëren
	Samenhangen	Synthetiseren
	• Vergelijken en contrasteren • Toepassen van algemene regels • Formuleren van algemene regels • Oorzaak gevolg redeneren	• Denken in analogieën • Opsommen • Hypotheses formuleren • Plannen

Omdat we aannemen dat leren voortkomt uit het deelnemen aan een sociale context, is de interactieve dialoog tussen leerlingen, en tussen leraar en leerlingen van groot belang. Slangen en Sloep (2005) benadrukken dat het belangrijk is dat het denken wordt omgezet in woorden die dat denken tot een expliciet gebeuren maken. Daardoor kan een andere leerling of leraar hierop reageren. Van de te scoren taaluitingen zijn per categorie denkvaardigheid en denkgewoonte korte omschrijvingen gemaakt van kenmerkende aspecten waarop de talige uiting geïnterpreteerd kan worden. Elke minuut zijn de mondelinge en daarmee gepaard gaande non-verbale interacties geïnterpreteerd. De vier opvallendste denkgewoonten en denkvaardigheden zijn gescoord. De scoring is gebaseerd op het vaststellen van de frequentie van voorkomen van de veronderstelde denkuitingen. Zeven tweetallen hebben beide probleemtaken (niveau twee en drie) uitgevoerd, drie tweetallen alleen de problemtaak van niveau twee en twee tweetallen alleen de problemtaak van niveau drie.

De eerste resultaten en een vooruitblik met het oog op technische geletterdheid

Door middel van een beschrijving van de waarnemingen en een analyse van de data zijn drie vragen beantwoord wij refereren hiervoor aan onze eerdere casestudy (Slangen et al., 2008).

1. Is TechnoLogica een bruikbare Mindtool om leerkracht onafhankelijk probleemoplossend leren te realiseren?

Uit de uitvoering van de taak blijkt dat er sprake is van echt probleemoplossend leren. De taken zijn uitdagend en de leerlingen worden volledig geabsorbeerd. De meeste leerlingen blijven gemotiveerd ook als er een tijd geen vooruitgang lijkt te zijn in het oplossen van het probleem. De leerlingen zijn enthousiast en hunkeren naar

het oplossen van de taak. Het instructieboekje is voldoende leerkrachtonafhankelijk, maar we constateerden dat de fysieke nabijheid van de begeleider er toe leidde dat sommige leerlingen snel om hulp vroegen en soms is de begeleider dan niet terughoudend genoeg. De taak bleek niet gemakkelijk op te lossen en soms raakten leerlingen in een impasse. Nu en dan moest de begeleider een doorbraak of ondersteuning realiseren. Wij troffen dan begeleidingsgedrag aan zoals: korte wenken geven, open vragen stellen, motiverende commentaren geven en positief terugkoppelen. Het gebruiken van dit soort taken in het dagelijkse onderwijs lijkt mogelijk maar vereist een flexibele leraar die in staat is een of meer kleine groepen te begeleiden terwijl de hele groep wordt onderwezen. De rol van de leraar en zijn mogelijkheden in de groep en het klaslokaal moet bestudeerd worden.

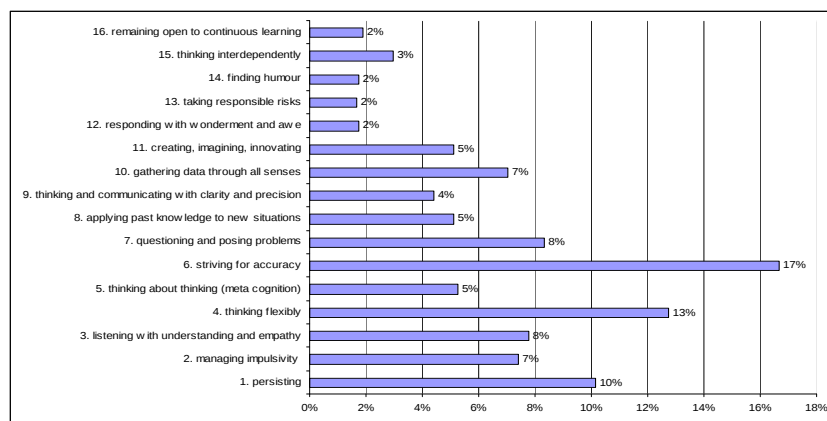
2. *Is actief hoger-orde denken gebaseerd op denkgewoonten en denkvaardigheden in de leeromgeving met TechnoLogica waar te nemen?*

Het antwoord op deze vraag is met ja te beantwoorden. In het totaal werd tijdens 19 sessies (10 sessies met het verkeerslicht en 9 reuzenradsessies) 8 scores per minuut (4 denkgewoonten en 4 denkvaardigheden) gemaakt, wat in ongeveer 9.000 scores resulteerde. Tijdens het oplossen van de probleemtaak, merkten wij een intensieve discussie met veel verwijzingen naar actief denken en continue reflectie op het handelen. Door hun programma's te testen, worden de leerlingen geleid naar het herhaald reflectief denken, ze bespreken steeds opnieuw (tussen)oplossingen, verifiëren uitkomsten, enz. Norman (1993) maakt onderscheid tussen het empirisch denken en reflectieve denken. Beide soorten denken worden verondersteld aanwezig tijdens het oplossen van probleemtaken. Het empirisch denken wordt nauwkeuriger tijdens de zelfstudie en neemt toe als effect van het leerproces tijdens probleem oplossen.

3. *De laatste en centrale vraag die we beantwoorden is welk types hoger-orde denken volgens de indeling van denkgewoontes (Costa, 2000) en elementen uit het IOWA model (Burklund et al., 1989) kunnen we onderscheiden?*

Met de observatie-instrumenten en de beschrijving van de categorieën is het mogelijk een eerste analyse te maken van de tijdens de taakuitvoering getoonde denkvaardigheden en denkgewoonten.

Er zijn aanzienlijke verschillen tussen de frequenties van de verscheidene categorieën van denkgewoonten (Figuur 5). Meest gebruikt zijn streven naar nauwkeurigheid (17%), flexibel denken (13%), volharding (10%), vragen en problemen stellen (8%), luisteren met begrip en empathie (8%). Het minst gebruikt zijn antwoorden met



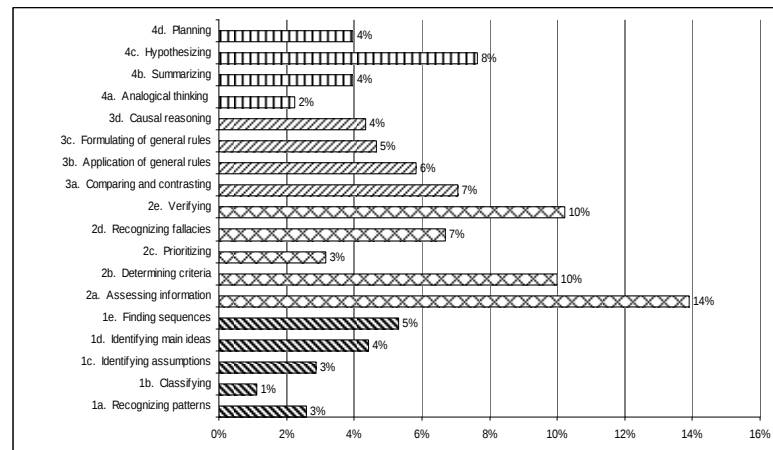
Figuur 5 Frequenties van de denkgewoonten

verwondering en ontzag (2%), verantwoordelijkheid en risico's nemen (2%), humor hanteren (2%), onafhankelijk denken (3%) en blijven openstaan voor permanent leren (2%). Wij veronderstellen dat de diversiteit in frequenties tussen de categorieën het resultaat is van de soort mindtool en het type probleemtaak. Vergelijkbare resultaten zien we ook bij het onderdeel denkvaardigheden.

Technologica en de opzet van de probleemtaken biedt de leerlingen mogelijkheden om het programma zo vaak te testen als gewenst. Elke testsessie geeft een terugkoppeling op de kwaliteit van de laatste wijzigingen. Dit

testgedrag zou als trial en error leren kunnen worden geïnterpreteerd. Wij verklaren het als expliciete acties om de oplossing van het probleem te bereiken. Leerlingen benutten feedback informatie uit de testsessies en leren van hun correcte of verkeerde redeneringen door het verzamelen en het interpreteren van die gegevens. De categorie “risico’s nemen” scoort dan ook laag. Het is de vraag wat de score zou zijn als er een vastgesteld maximum aantal testsessies en een concurrentie-element ingebouwd was? Zouden leerlingen dan zorgvuldiger en langer overwegen alvorens ze een situatie zouden testen? Wij verwachten dat er expliciet meer redeneren en abstract verifiëren zou zijn alvorens de leerlingen het concrete model testen.

We constateren ruime frequentieverschillen tussen de verschillende hoofdcategorieën van denkvaardigheden. (Figuur 6). De hoogste frequentie (44%) werd aangetroffen in de categorie “Evalueren”. Een lagere (22%) maar niettemin toch nog ruime score werd gevonden in de categorie “Samenhangen”. De categorie “Synthetiseren” (18%) en “Analyseren” (16%). We concluderen



Figuur 6 Scores op denkvaardigheden 1-Analyseren 16%, 2-evalueren 44%, 3-samenhangen (22%), 4-synthetiseren (18%)

dat de DME voornamelijk evaluerende denkvaardigheden activeert. De meeste gebruikte evaluerende vaardigheden zijn het: informatie beoordelen (13%), criteria vaststellen (10%), verifiëren (10%) en herkennen van misvattingen (7%). Prioriteiten stellen scoort het laagst (3%). We signaleren ook opmerkelijke uitersten binnen eenzelfde hoofdcategorie, zoals bij “Synthetiseren” een hypothese opstellen (8%) en het denken in analogieën (2%). In de categorie “Evalueren” is groot verschil tussen informatie beoordelen (13%) en het prioriteiten stellen (3%). De verklaring voor de resultaten lijkt te vinden in kenmerken van de probleemtaak en de aard van de DME. Zo leidt het voortdurend testen van een programma tot evalueren van het denkproces. En de leerlingen hadden een onbeperkt de mogelijkheid om het programma en het model te testen en daarvan te leren.

Ten aanzien van de bijdrage van DME’s aan ontwikkeling van TG zijn er veel onbeantwoorde vragen. Zo is het de vraag hoe de denkvaardigheden en denkhoudingen zich binnen het geheel van TG verhouden tot andere aspecten daarvan zoals procedurele informatie, kennis, of de aard van technologie. De vraag is of het mogelijk is om met DME’s verschillende typen probleemtaken te realiseren die verschillende denkvaardigheden bevorderen? Ook is het de vraag hoe de meer generieke denkvaardigheden en denkhoudingen aan te merken zijn als componenten van TG?

Wij stellen dat het flexibel kunnen hanteren van diverse sets van denkvaardigheden in verschillende probleemsituaties belangrijke kwaliteiten zijn van goede probleemoplossers. Het is daarmee de vraag of er in deze casestudy aanwijzingen zijn voor verschillen tussen de taak met het verkeerslicht (mode 2) en reuzenrad (mode 3). Het zijn dezelfde soort taken met meer complexiteit in het probleem en de programmeerwijze. Vooral het interactieve aspect van de reuzenradtaak, het werken met een variabele (de sensorinput) en het daarop juiste acties formuleren is voor de leerlingen moeilijk.

Wij hebben echter de tijd die nodig was om de twee problemen op te lossen gemeten. De oplossing van het eerste probleem (verkeerslicht) bleek voor enkele tweetallen erg moeilijk. Wij bemerkten wel een grote spreiding (96 min) tussen het snelste tweetal (24 min) en langzaamste tweetal op (120 min). Met betrekking tot het complexere tweede probleem constateren we in tegenstelling tot onze verwachting een lagere spreiding

van de tijd (78 min) tussen het snelste tweetal (46 min) en langzaamste tweetal (124 min). Wij veronderstellen dat de leerlingen door het gebruik van de DME leren om efficiënter en sneller volgende problemen op te lossen. Ondanks het kleine aantal tweetallen lijkt deze conclusie ook door een dalende SD van 29 (verkeerslicht) naar 24 (reuzenrad) te worden ondersteund.

Beschouwen we de gemiddelde scores van de zeven tweetallen die beide problemetaken hebben uitgevoerd zien we bij de hoofdcategorie "Evalueren" dat ze bij beide taken 45% van hun denkacties daaraan besteden. De scores op categorie "Synthetiseren" toont een licht stijgend patroon van 16% naar 18% respectievelijk voor verkeerslicht en reuzenrad. Maar de categorie "Samenhang" toont een wezenlijk stijgend patroon van 18% naar 23% respectievelijk voor verkeerslicht en reuzenrad. Echter daalt de categorie "Analyseren" van 21% naar 14%. Hoe verklaren we dergelijke verschillen het zijn nog meer vragen dan antwoorden? Is de eerste taak het verkeerslicht misschien verwarrender dan het reuzenrad en gebruiken de leerlingen daarom verschillende strategieën en denkvaardigheden? Hebben de leerlingen een efficiëntere strategie geleerd om het reuzenrad probleem aan te pakken? Hebben de leerlingen inhoudelijke kennis van de software en het model opgebouwd? Snappen ze beter de aard van het soort technologie? Wij denken het aannemelijk is dat de geleerde kennis, strategieën, inzicht in aard van technologie hebben geleid tot meer inzicht en kennis over het computerprogramma, het type taak, en de relevante inhoud van het concrete technische domein. Daarom is er minder noodzaak om voor analyserende acties. Dit impliceert ook dat de complexere reuzenradtaak niet meer maar minder analyse gedrag vraagt. Het toenemen van de categorie "Samenhangen" en "Synthetiseren" is wellicht het resultaat van een efficiëntere manier om van geleerde kennis gebruik te maken en nieuwe problemen op te lossen. Dit lijkt in overeenstemming met de constatering dat ondanks de ingewikkeldheid van de reuzenradtaak er gemiddeld minder tijd nodig was om dit probleem op te lossen.

Conclusies

Voorstanders van het gebruik van DME's zoals TechnoLogica en Lego Mindstorms wijzen op het feit dat leerlingen veel leren op het gebied van technologie. De instrumenten en leertaken lijken didactisch zeer bruikbaar vanwege de contextrijke en uitdagende aard die de leerlingen aanzetten tot hoge activiteit en hun TG doet toenemen. Er is sprake van veel voortgaande en constructieve dialoog tussen leerlingen die wijst op een op ontwikkeling en doelgericht denken. We constateren dat de aard van de probleemtaak en gebruikte DME leiden tot het divers inzetten van bepaalde denkvaardigheden en denkhoudingen. Op dit punt van onze studie weten wij niet hoe deze diversiteit samenhangt met het oplossen van de probleemtaak en met de ontwikkeling van technische geletterdheid. Een voorlopige conclusie mag wel zijn dat de gebruikte DME en probleemtaken geschikt lijken om hoger-orde denken (kritisch denken en beslissingen nemen) dat in ieder geval aangemerkt wordt als een aspect TG te activeren en vooral op het punt van de evaluatieve denkvaardigheden.

Ons toekomstig plan is de fenomenen van TG verder te bestuderen. We zouden graag beter zicht krijgen op de veronderstelde educatieve kracht van DME's. Daarvoor willen we weten in relatie tot de gebruikte DME's welke componenten naast het hoger orde denken er daadwerkelijk toe doen om TG van leerlingen te vergroten. We zouden graag willen weten hoe een leeromgeving met DME's (leermiddelen en begeleiding) er uit zou moeten zien en welke langdurigere effecten van de inzet van deze middelen verwacht mag worden.

Een kernvraagstuk is nu: Hoe laat TG zich met betrekking tot de gebruikte DME's het beste operationaliseren zodat effecten van de inzet van DME's betrouwbaar en valide meetbaar kunnen worden gemaakt?

Literatuur:

Barnett, M. (1995). Literacy, Technology and 'Technological Literacy'. *International Journal of Technology and Design Education*, 5(2), 119-137.

- Bereiter, C. (1994). Implications of postmodernism for science, or, science as progressive discourse. *Educational Psychologist*, 29(1), 3-12.
- Bers, M. U., Ponte, I., Juelich, C., Viera, A., & Schenker, J. (2002). Teachers as designers: Integrating robotics in early childhood education. *Information Technology in Childhood Education Annual*, 1(2002), 123-145.
- Boostrom, R. (2005). *Thinking, The Foundation of Critical and Creative Learning in the Classroom*. New York: Teachers College Press.
- Bransford, J. D., Brown, A. L., & Cocking, R. R. (2004). *How People Learn, Brain, Mind, Experience and School*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Burklund, C., Garvin, K., Lawrence, N., & Yoder, J. (1989). *A Guide to Developing Higher Order Thinking across the Curriculum*. Des Moines: Iowa department of Education
- Costa, A. L. (2000). Describing the Habits of Mind. In A. L. Costa & B. Kallick (Eds.), *Discovering & Exploring Habits of Mind* (Vol. 1, pp. 21-41). Alexandria, Virginia: ASCD.
- Dakers, J. R. (2006). Introduction: Defining Technological Literacy. In J. R. Dakers (Ed.), *Defining Technological Literacy; Towards an Epistemological Framework*. New York: Palgrave Macmillan.
- Dugger, W. E., & Gilberti, A. F. (2002). *Standards for technological literacy: content for the study of technology*. Virginia: International Technology Education Association (ITEA).
- Eronen, P. J., Sutinen, R., Vesisenaho, M., & Virnes, M. (2002). Kids' Club as an ICT-Based Learning Laboratory *Informatics in Education*, 1, 61-72.
- Garmire, E., & Pearson, G. (Eds.). (2006). *Tech Tally; Approaches to Assessing Technological Literacy*. Washington D.C. : National Academic Press.
- Jonassen, D. H. (2000). *Computers as Mindtools for schools: Engaging critical thinking*. Columbus, Ohio: Prentice Hall.
- Jonassen, D. H. (2006). *Modeling with technology, Mindtools for conceptual change* (3 ed.). Columbus, Ohio: Pearson Prentice Hall.
- Jones, A., & Moreland, J. (2004). Enhancing Practicing Primary School Teachers' Pedagogical Content Knowledge in Technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 14(2), 121-140.
- Kärnä-Lin, E., Pihlainen-Bednarik, K., Sutinen, E., & Virnes, M. (2006). *Can Robots Teach? Preliminary Results on Educational Robotics in Special Education*. Paper presented at the ICALT 2006, Kerkrade.
- Kok, J. J. M. (2003). *Talenten transformereren: Over het nieuwe leren en nieuwe leerarrangementen*. Eindhoven: Fontys Hogescholen.
- Krumholtz, N. (1998). *Techno-logic: A Micro-world for Constructivist Science and Technology learning*. Paper presented at the ICCE98, Beijing.
- Kuijpers, J., & Walma van der Molen, J. (2007). *Wetenschap en techniek een rijke leeromgeving, professionalisering wetenschap en techniek in het basisonderwijs*. . Den Haag: Programma VTB & VTB-Pro.
- Lavonen, J. M., Meisalo, V. P., & Lattu, M. (2001). Problem Solving with an Icon Oriented Programming Tool: A CaseStudy in Technology Education [Electronic Version]. *Journal of Technology Education, Digital Library and Archives*, 12,
- Lindh, J., & Holgersson, T. (2006). Does lego training stimulate pupils' ability to solve logical problems?
- Norman, D. A. (1993). *Things that make us smart: Defending human attributes in the age of the machine*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Resnick, L. B. (1987). *Education and learning to think*. Washington D.C.: National Academy Press.
- Rogers, C., & Portsmore, M. (2004). Bringing Engineering to Elementary School. *Journal of STEM Education* 5(3&4), 17-28.
- Savage, T., Sánchez, I. A., O'Donnell, F., & Tagney, B. (2003). *Using Robotic Technology as a Constructionist Mindtool in Knowledge Construction*. Paper presented at the ICALT'03
- Slangen, L. A. M. P., Fanchamps, L. J. A., & Kommers, P. A. M. (2008). A case study about supporting the development of thinking by means of ICT and concretization tools *Int. J. Cont. Engineering Education and Lifelong Learning*, 18(3), 18.
- Slangen, L. A. M. P., & Sloep, P. B. (2005). Mind tools contributing to an ICT-rich learning environment for technology education in primaryschools. *Int. J. Cont. Engineering Education and Lifelong Learning*, 15(3-6), 225-239.
- Sutinen, E., Virtajoki-Tyrväinen, M., & Virnes, M. (2005). Physical learning objects improve social skills in special education. In A. Antikainen (Ed.), *Transforming a learning society; The case of Finland*. Bern: Peter Lang.