



De Toekomst Telt

SLO • nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling

slo

VERVERS
foundation
evolution in education



De Toekomst Telt

SLO • nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling

Colofon

© 2011 Ververs Foundation & SLO (nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling),
Enschede

Alle rechten voorbehouden. Mits de bron wordt vermeld is het toegestaan om zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave geheel of gedeeltelijk te kopiëren dan wel op andere wijze te verveelvoudigen.

Auteurs:

drs. N. Boswinkel, leerplanontwikkelaar SLO

dr. E. Schram, leerplanontwikkelaar SLO

Met medewerking van de projectgroep:

prof. dr. T. Plomp (voorzitter), emeritus hoogleraar Onderwijskunde, Universiteit Twente

dr. P. Drijvers, universitair hoofddocent Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht

prof. dr. K.P.E. Gravemeijer, hoogleraar science en techniek educatie, Eindhoven School of Education, Technische Universiteit Eindhoven

prof. dr. G. Koole, hoogleraar optimalisatie van bedrijfsprocessen, Faculteit Exacte Wetenschappen, Afdeling Wiskunde, Vrije Universiteit Amsterdam

Met inbreng van:

dr. L.K.J. Baartman, postdoc onderzoeker, Eindhoven School of Education, Technische Universiteit Eindhoven

dr. M. van Graft, leerplanontwikkelaar SLO

Fotografie:

Jan Schartman en Shutterstock

Fotografie is mede tot stand gekomen met medewerking van CSG Het Noordik, Almelo en SVO | PL, Heerlen

Informatie en extra exemplaren:

SLO

Postbus 2041, 7500 CA Enschede

Tel. (053) 4840 206

Internet: www.slo.nl

E-mail: r.benamirouche@slo.nl

AN 9.0000.444

ISBN 978 90 329 2332 7

Inhoudsopgave

Voorwoord	6
1. Inleiding	10
1.1 Vraagstelling	11
1.2 Een dynamische kenniseconomie	13
1.3 Gevolgen voor het onderwijs	14
1.4 Totstandkoming en opbouw van de verkenning	16
2. Generieke vaardigheden voor de 21e eeuw	18
2.1 Inleiding	19
2.2 21st Century skills	19
2.3 KSAVE-model van ATCS	21
2.4 Conclusie	34
3. 21st Century skills in beroepspraktijken	40
3.1 Inleiding	41
3.2 Benodigde kennis en vaardigheden voor de kennissamenleving	42
3.3 Wat moeten werknemers kennen en kunnen volgens kenniscentra en bedrijven?	43
3.4 Enkele conclusies uit de interviews met kenniscentra en bedrijfsleven	51
3.5 Wat moeten werknemers kennen en kunnen volgens onderzoekers?	55
3.6 Onderzoek van Hoyles, Noss, Kent en Bakker	62
3.7 Enkele conclusies naar aanleiding van de interviews met onderzoekers en onderzoek van Hoyles, Noss, Kent en Bakker	64
4. Specifieke reken-wiskundevaardigheden voor de 21e eeuw	66
4.1 Inleiding	67
4.2 De invloed van technologie op benodigde reken-wiskundekennis en -vaardigheden	69
4.3 Ontwikkelingen in het reken- en wiskundeonderwijs	77
4.4 Enkele conclusies voor het reken- en wiskundeonderwijs	82
4.5 Tot slot	88
5. De Toekomst Telt: Conclusies en aanbevelingen	90
Samenvatting	96

Literatuur	102	
Bijlage 1	Lijst met afkortingen	113
Bijlage 2	21st Century Skills – KSAVE Model	115
Bijlage 3	Interviewvragen bedrijven, kenniscentra en onderzoekers	133
Bijlage 4	Samenvatting ‘Improving mathematics at work’	141

Voorwoord

Rekenen en wiskunde zijn kernvakken in het Nederlandse onderwijs. Het overheidsbeleid voor de komende jaren is gericht op een verhoging van de prestaties op het gebied van rekenen en wiskunde en op de versterking van doorlopende leerlijnen. Of we precies weten op welk type prestaties deze ontwikkeling zich moet richten, is echter de vraag. De doelen en inhouden van rekenen en wiskunde zijn immers niet statisch. De maatschappij verandert, net als de arbeidsmarkt: banen verdwijnen of veranderen. Ook het dagelijks leven is ingrijpend veranderd: we betalen met onze bankpas, gebruiken een spreadsheet voor berekeningen en een navigatiesysteem neemt het kaartlezen over. Om als burger en werknemer in de informatiesamenleving te kunnen functioneren, zijn nu en in de toekomst andere vaardigheden op het gebied van rekenen en wiskunde nodig dan tien jaar of langer geleden. Enerzijds kan technologie bepaalde (reken)taken overnemen. Anderzijds vraagt de samenleving om mensen die (kwantitatieve) gegevens kunnen analyseren en interpreteren, die complexe problemen kunnen oplossen en daarbij op inzichtelijke wijze gebruik weten te maken van geavanceerde technologie.

De Ververs Foundation (VF) denkt dat de verdere ontwikkeling van het reken- en wiskundeonderwijs is gebaat bij een systematische *toekomstgerichte verkenning* van de wenselijke inhouden van het reken- en wiskundeonderwijs. Daarom heeft de VF het initiatief genomen tot de studie 'De Toekomst Telt'. SLO onderschreef dit initiatief en heeft de verkenning vervolgens uitgevoerd, resulterend in het voorliggende rapport dat onder gezamenlijke verantwoordelijkheid van VF en SLO tot stand is gekomen. De studie is toegespitst op het funderend onderwijs (leerlingen van 4 tot 14/15 jaar), dat wil zeggen het basisonderwijs en de eerste fase van het voortgezet onderwijs. Deze toekomstverkenning plaatst de doelen van het reken-wiskundeonderwijs in de brede context van een samenleving die is doortrokken van informatie- en communicatietechnologie, waarin sociale en communicatieve vaardigheden essentieel zijn voor een volwaardige participatie en waarin natuurwetenschappen en technologie speerpunten van beleid zijn.

De vraag die in dit rapport centraal staat is wat relevante, toekomstgerichte reken- en wiskundedoelen zijn voor leerlingen in het funderend onderwijs. Welke reken- en wiskundebagage moeten leerlingen in deze fase verwerven, als bijdrage aan de voorbereiding op hun toekomstige beroep en op hun rol als burger in een informatiesamenleving? De eisen die het vervolgonderwijs stelt en het aspect van 'wiskunde om de wiskunde' zijn grotendeels buiten beschouwing gelaten. Niet omdat dat niet belangrijk is, maar omdat het noodzakelijk is om eerst te kijken naar wat de toekomst vraagt, om daarna de discussie te kunnen starten over wat dit betekent voor een herschikking en eventueel herziening van onderwijsdoelen.

Uitgangspunt bij het schrijven van dit rapport is geweest dat ieder hoofdstuk los van het voorgaande gelezen kan worden.

Zowel de Ververs Foundation als SLO hopen dat dit rapport bijdraagt aan een toekomstgerichte discussie over het reken- en wiskundeonderwijs in de 21e eeuw.

Jan van den Akker
algemeen directeur SLO

Tjeerd Plomp
voorzitter projectgroep

1. Inleiding



1.1 Vraagstelling

We leven in een samenleving die snel verandert en steeds complexer wordt. Technologische ontwikkelingen gaan snel, de hoeveelheid beschikbare informatie groeit explosief en is binnen seconden beschikbaar (Binkley, Erstad, Herman, Raizen, Ripley & Rumble, 2010). Deze ontwikkelingen werken door in allerlei gebieden van het maatschappelijk leven en de beroepspraktijk. De arbeidsmarkt is aan grote en snelle veranderingen onderhevig. Productieprocessen, maar ook processen van dienstverlening veranderen. Denk bijvoorbeeld aan de inrichting van *call centers* voor klantondersteuning, de invloed van e-mail op de postbezorging of de rol van websites zoals Marktplaats voor de uitwisseling van (gebruikte) goederen. Mensen regelen hun bankzaken *online* en netwerken via sociale media. De *smartphone* maakt dat dit op elk moment en overal kan plaatsvinden. Ook de wijze waarop politiek en democratie functioneren - denk aan twitteren, Wikileaks of Facebook voor het mobiliseren van demonstranten - verandert als gevolg van technologische mogelijkheden. De ontwikkelingen gaan zeer snel en zijn niet altijd goed te voorzien. De impact ervan is soms moeilijk in te schatten.

Het onderwijs zal moeten inspelen op deze dynamiek in de samenleving en staat daarbij voor de lastige taak om jongeren voor te bereiden op participatie in een maatschappij, op vervolgopleidingen en op beroepen die we nu soms nog niet kennen. Het is moeilijk te voorspellen welke nieuwe technologieën, vaardigheden en kennis nodig zullen zijn in toekomstige beroepen. Wel ontstaat wereldwijd steeds meer overeenstemming over de generieke vaardigheden die jongeren nodig hebben om te kunnen functioneren in de informatiesamenleving en waaraan het onderwijs kan bijdragen (Anderson, 2008; Binkley et al., 2010; Law, Pelgrum & Plomp, 2008; OECD, 2004; Unesco, 2008; Voogt & Pareja Roblin, 2010).

Het is echter niet eenvoudig om de vertaalslag te maken van generieke vaardigheden naar de huidige curricula in het onderwijs. Deze curricula kennen een lange geschiedenis en aanpassingen gaan doorgaans niet zonder slag of stoot. Er komen wel meer voorbeelden beschikbaar van werkvormen die het aanleren van generieke vaardigheden, al dan niet binnen bestaande vakken, kunnen ondersteunen. Daarbij valt te denken aan probleemgeoriënteerd onderwijs, samenwerkend leren of onderzoekend leren. De vraag is wel wat generieke vaardigheden betekenen voor de huidige doelen en inhouden van de bestaande vakken. Gaat het om het verleggen van accenten of moeten 'oude' onderdelen worden vervangen?

Deze vragen worden in deze verkenning toegespitst op de curricula voor rekenen en wiskunde. In verschillende landen en in internationale rapporten staan de doelen en inhouden van het huidige curriculum voor het reken- en wiskundeonderwijs ter discussie (Gravemeijer, 2009; Kaput & Schorr, 2007; Lagerwaard & Limpens, 2006, Wolfram, 2010). Lovász, voorzitter van *The International Mathematical Union*, stelt dat het wiskundeonderwijs in Europa voor belangrijke nieuwe uitdagingen staat, waaronder nieuwe toepassingsgebieden en de toepassing van wiskundige tools als gevolg van technologische ontwikkelingen (Lovász, 2007). Deze verkenning bouwt voort op deze internationale studies en debatten over de noodzaak van *21st century skills* (Voogt & Pareja Roblin, 2010). Het is van belang dat ook in Nederland het debat hierover breder wordt gevoerd. Met deze studie willen de Ververs Foundation en SLO een bijdrage leveren aan dit debat, zowel onder beleidsmakers als betrokkenen in het onderwijs.

De hoofdvraag van de verkenning luidt:

Welke relevante kennis, vaardigheden en houdingen binnen het reken- en wiskundeonderwijs moeten worden nagestreefd om leerlingen goed voor te bereiden op beroepen en burgerschap in een snel veranderende informatiesamenleving?

Deze vraag wordt met name verkend ten aanzien van het reken- en wiskundeonderwijs voor leerlingen van 4 tot ± 14/15 jaar. In deze periode van funderend onderwijs worden gemeenschappelijke kerndoelen bij rekenen en wiskunde nagestreefd die van belang worden geacht voor *alle* leerlingen. Doelen en inhouden van het reken-wiskundeonderwijs die aan de orde komen in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs en die de grondslag vormen voor (al dan niet wiskundige) vervolgopleidingen, krijgen in deze verkenning weinig nadruk.

Het doel van de verkenning is het stimuleren van een toekomstgerichte discussie over doelen en inhouden van het curriculum voor rekenen en wiskunde in het funderend onderwijs. In recente beleidsvoornemens, zoals het *Actieplan Beter Presteren*, klinkt de noodzaak door tot een doordenking van (de kern van) het curriculum. Met deze verkenning wordt bepleit om deze discussie toekomstgericht te voeren. Met name de impact van technologische ontwikkelingen die zich in de samenleving voltrekken op het curriculum moeten worden doordacht.

In de volgende paragraaf (1.2) worden de genoemde veranderingen in de samenleving toegelicht. Paragraaf 1.3 gaat in op de gevolgen voor het onderwijs. In paragraaf 1.4 lichten we de totstandkoming en opbouw van het rapport toe.

1.2 Een dynamische kenniseconomie

Wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen hebben grote invloed op alle sectoren van de samenleving. De beschikbaarheid van informatie- en communicatietechnologie is ongekend. De relatief statische industriële samenleving met een dominerende 'maakindustrie' en standaardproducten is aan het verdwijnen. De huidige samenleving kent een dynamische kenniseconomie. Standaardproducten zijn vervangen door een diversiteit aan producten die aan uiteenlopende eisen moeten voldoen (Diepstraten, 2006). Er is op een groot aantal terreinen (voedsel, voertuigen, apparatuur, telefonie, medische zorg) een enorme variatie aan producten en diensten beschikbaar die steeds sneller worden vernieuwd en uitgebreid. Standaardproducten werden gemaakt door mensen met een vaste functieomschrijving en een relatief beperkt handelingsrepertoire. Moderne producten worden gemaakt door werknemers met een brede, flexibele taakomschrijving en het vermogen zich snel aan te passen aan nieuwe beroepsrollen. In een maatschappij die gedomineerd wordt door wetenschap en techniek betekent dit dat (toekomstige) werknemers in elk geval op een flexibele en creatieve manier om moeten kunnen gaan met ICT (Van Galen & Gravemeijer, 2010). Reich signaleerde al in 1992 dat in de kennissamenleving een verschuiving zal optreden in het soort banen waarnaar vraag is op de arbeidsmarkt (Reich, 1992). Reich wees in dit verband op een toenemende behoefte aan 'kenniswerkers' en 'mensenwerkers' en een afnemende behoefte aan routinematige functies, zoals productiewerk. Fransen (2007) stelt dat de veranderende samenleving vraagt om mensen die in staat zijn bij te dragen aan oplossingen voor complexe problemen en die samen met anderen de daarvoor benodigde kennis kunnen ontwikkelen. Toekomstige werknemers zullen in staat moeten zijn om werk uit te voeren dat niet routinematig is, werk dat vraagt om creativiteit en flexibiliteit. Dat geldt niet alleen op het niveau van de individuele werknemer, maar ook op het niveau van ondernemingen als geheel. Uit een recente studie van Ernst & Young (2010) onder 1400 ondernemers en managers wereldwijd komt naar voren dat succesvolle bedrijven getypeerd worden door snelheid in werken, flexibiliteit en innovatie en intensieve samenwerking, zowel intern als extern.

Taken die gebaseerd zijn op algoritmen kunnen uitgevoerd worden door computers, maar dat geldt niet voor taken waarvoor het nodig is complexe patronen te interpreteren. Deze meer complexe taken, waarvoor geen (volledige) algoritmes beschikbaar zijn en die vragen om probleemoplossende vaardigheden en creativiteit, kunnen worden gevonden in vele banen. Denk aan de helpdeskmedewerker die zijn/haar werk deels op basis van vaste protocollen kan uitvoeren, maar ook met emoties van de klant moet kunnen omgaan. In dit type banen, waarbij het vooral gaat om het interpreteren van informatie, kunnen mensen niet zomaar worden vervangen door computers.

Naast technologisering en informatisering speelt de globalisering een grote rol. Dit leidt onder andere tot uitbesteding van zowel eenvoudig productiewerk als van (hoog) gekwalificeerd werk als boekhouden, programmeren of analyseren (bijvoorbeeld van röntgenfoto's). Volgens de Amerikaanse economen Levy en Murnane (2006) is het effect van informatisering en globalisering dat taken die kunnen worden opgedeeld in routines uit de westerse economieën zullen verdwijnen. Voor zover die taken niet worden overgedragen aan computers, gaan ze naar werknemers in lagelonenlanden. Ook Goos en Manning (2003, p.213) kwamen tot deze conclusie op basis van onderzoek naar ontwikkelingen op de Britse arbeidsmarkt in de afgelopen decennia.

“In sum, between the 1970s and late 1990s we have seen rapid employment growth in lovely jobs (mainly in professional and managerial occupations in finance and business services), some growth in lousy jobs (mainly in low-paying service occupations) and a decline in the numbers of middling jobs (mainly clerical jobs and skilled manual jobs in manufacturing).”

Het zijn vooral de *routine jobs* in het middensegment die verdwijnen. Aan de andere kant groeit de vraag naar zowel laag betaalde *lousy jobs* als goed betaalde *lovely jobs*, waarin een beroep wordt gedaan op niet-routinematige cognitieve of fysieke handelingen. Gevolg van het verdwijnen van het middensegment is ook dat steeds meer mensen zijn aangewezen op banen die weinig opleiding vragen en een lage honorering kennen.

1.3 Gevolgen voor het onderwijs

De ontwikkelingen op het gebied van technologisering, informatisering en globalisering leiden ertoe dat landen als de Verenigde Staten en Groot-Brittannië de vaardigheden die noodzakelijk zijn om in de samenleving te functioneren, opnieuw definiëren en nagaan wat de implicaties daarvan zijn voor het onderwijs. Het gaat dan niet alleen om het economische perspectief. De ontwikkelingen zorgen voor omvangrijke economische en sociale veranderingen die niet alleen het werk maar de gehele leefomgeving van mensen beïnvloeden. Het onderwijs bereidt jongeren voor op het functioneren in de samenleving in brede zin, niet alleen als lerende, maar ook als werknemer en als burger. De vraag is welke kennis en vaardigheden jongeren minimaal moeten beheersen om te kunnen functioneren in de maatschappij en als basis voor verdere ontwikkeling in de toekomst.

Vrijwel iedereen zal het standpunt van Wagner (2008) onderschrijven, die stelt dat basisvaardigheden op het gebied van taal en rekenen en wiskunde belangrijk zijn en

blijven. Maar deze basisvaardigheden alleen zijn niet meer genoeg om te functioneren in een complexe en snel veranderende maatschappij. Bijna elke baan, ongeacht het niveau, vraagt naast kennis ook om vaardigheden op het gebied van (technisch of intellectueel) probleemoplossen. Vrijwel elke burger en werknemer wordt geconfronteerd met grote hoeveelheden informatie, nieuwe technologieën en ingewikkelde maatschappelijke vraagstukken. Probleemoplossen, kritisch denken, effectief communiceren en informatie verkrijgen en analyseren zijn daarmee belangrijke hedendaagse vaardigheden. Deze kunnen echter alleen maar worden gerealiseerd in combinatie met domeinkennis.

“Thus work, learning and citizenship in the twenty-first century demand that we all know how to think – to reason, analyze, weigh evidence, problem-solve – and to communicate effectively. These are no longer skills that only the elites in a society must master; they are essential survival skills for all of us.” (Wagner, 2008, p. xxiii).

In verschillende internationale onderzoeksprojecten is gezocht naar een antwoord op de vraag wat de school van de 21e eeuw jongeren moet leren. Er zijn onderzoeken uitgevoerd door de Europese Unie, Unesco, OESO. Ook is er een aantal internationale projecten, zoals Assessment and Teaching of 21st century skills (ATCS), EnGauge, National Educational Technology Standards (NETS/ISTE) en Partnership for 21st century skills (P21). Al deze studies wijzen op het toenemende belang van conceptuele en metacognitieve kennis en vaardigheden op het gebied van communicatie, samenwerking, en sociaal/cultureel bewustzijn en ICT-vaardigheden (Voogt & Pareja Roblin, 2010).

Wat dit precies betekent is minder duidelijk. Wat moeten leerlingen (later) kunnen? En wat kunnen ze nu al, deze *digital natives*? Hoe en waar leren ze eigenlijk? Palfrey en Gasser (2008) stellen dat het leren van jongeren de afgelopen dertig jaar een transformatie heeft ondergaan. Met name het internet heeft de wijze waarop leerlingen en studenten informatie verzamelen en verwerken in alle aspecten van hun leven veranderd. Deze auteurs wijzen op het toegenomen collectieve oplossingsvermogen als gevolg van digitale technologieën. Ook Dede (2008) wijst op verschuivingen in de wijze waarop we kennis definiëren, hoe we met kennis omgaan en hoe we leren en doceren.

“In the Classical perspective, ‘knowledge’ consists of accurate interrelationships among facts, based on unbiased research that produces compelling evidence about systemic causes. (-) In contrast, the Web 2.0 definition of ‘knowledge’ is collective agreement about a description that may combine facts with other dimensions of human experience, such as opinions, values, and spiritual beliefs.” (Dede, 2008, p. 80)

Web 2.0¹ zorgt volgens Dede voor een herdefiniëring van wat, hoe en met wie jongeren leren. Op Wikipedia komt kennis bijvoorbeeld tot stand op basis van onderhandelen en compromissen tussen verschillende standpunten. Dat stelt het onderwijs voor de taak jongeren de verschillen te leren begrijpen tussen feiten, meningen en waarden en hen te leren omgaan met en bij te dragen aan de constructie van kennis. Carr (2010) stelt dat jongeren, door het gebruik van internet, leren om snel te switchen van aandacht, verschillende dingen tegelijk te doen en kort en krachtig te communiceren. Tegelijkertijd vreest hij ook dat zij niet langer leren om met volle aandacht met één activiteit bezig te zijn. Ook Wagner (2008) wijst op de invloed van internet en sociale media op de wijze waarop jongeren leren en zich verhouden tot elkaar en tot de wereld.

Kortom, de huidige en toekomstige ontwikkelingen in de informatiesamenleving vragen om een heroverweging van de kennis en vaardigheden die in het onderwijs ontwikkeld moeten en kunnen worden. Deze heroverweging vraagt ook om reflectie op de wijze waarop en de (schoolse of buitenschoolse) context waarin deze vaardigheden geleerd kunnen worden. In deze verkenning gaat het primair om de *wat-vraag*. Wat zijn binnen rekenen en wiskunde de relevante kennis, vaardigheden en houdingen voor de 21e eeuw? Hoe realiseren we daarbij een evenwicht tussen doelen en inhouden die van oudsher belangrijk worden gevonden en nieuwe of andere accenten? De *hoe- en waar-vragen* verdienen ook aandacht, maar blijven in deze verkenning grotendeels buiten beschouwing. Naarmate er meer duidelijkheid ontstaat over de doelen en inhouden, zal in de toekomst de focus kunnen verschuiven naar deze vragen.

1.4 Totstandkoming en opbouw van de verkenning

Deze verkenning is tot stand gekomen op initiatief van de Ververs Foundation (VF) en uitgevoerd door SLO onder gezamenlijke verantwoordelijkheid van de VF en SLO. Op voorstel van de VF is een projectgroep samengesteld, bestaande uit leden van de Ververs Foundation, experts op het gebied van rekenen en wiskunde en medewerkers van SLO. Onder leiding van de projectgroep is een internationaal literatuuronderzoek uitgevoerd. Daarnaast zijn interviews met sleutelfiguren in het bedrijfsleven en met onderzoekers gehouden. Voor de interviews is samengewerkt met de Eindhoven School of Education, waar een parallelle verkenning onder leiding van L. Baartman wordt uitgevoerd voor natuurwetenschappen en techniek². De interviews met onderzoekers

¹ De term 'Web 2.0' verwijst naar de tweede fase in de ontwikkeling van het World Wide Web. Het gaat dan vooral om de verandering van een verzameling websites naar een platform voor interactieve webapplicaties, zoals sociale netwerksites.

² Vanuit de Technische Universiteit Eindhoven / Eindhoven School of Education onderzoekt Baartman wat werknemers van de toekomst nodig hebben aan natuurwetenschappen (natuurkunde, scheikunde, biologie) en techniek om adequaat te functioneren in beroep en maatschappij. Het betreffende onderzoek ligt sterk in het verlengde van De Toekomst Telt, en daarom is samenwerking gezocht op punten waar dat mogelijk was.

zijn zowel op het vakgebied science als het vakgebied wiskunde gericht. In onderhavig rapport wordt met name verslag gedaan van de bevindingen voor het domein van rekenen en wiskunde, terwijl in de parallelle studie van Baartman de nadruk meer ligt op wetenschap en techniek (Baartman & Gravemeijer, in druk).

De bevindingen zijn besproken in de projectgroep en binnen SLO en uiteindelijk vastgesteld door het bestuur van de Ververs Foundation en door SLO.

In het volgende hoofdstuk wordt beschreven wat internationaal bekend is over de kennis, vaardigheden en attitudes die mensen nodig hebben om te kunnen functioneren in de kennismaatschappij van de 21e eeuw. Dit wordt geïllustreerd aan de hand van het KSAVE- model³. Ook de vraag welke betekenis deze nieuwe generieke vaardigheden hebben voor het onderwijs komt in hoofdstuk 2 aan bod. In hoofdstuk 3 gaan we na of en hoe deze generieke vaardigheden aanwijsbaar zijn in hedendaagse beroepscontexten. In dit hoofdstuk komen betrokkenen uit het werkveld en onderzoekers aan het woord. Eerder gaven we aan dat het gaat om generieke en om reken-wiskundevaardigheden die nodig zijn om te functioneren in de samenleving in werksituaties, vervolgopleiding en burgerschap. Hoewel deze drie domeinen even belangrijk zijn, heeft onderhavige studie een focus op beroepscontexten en in iets mindere mate op burgerschap. De reden hiervoor is dat een redenering over de doelen van rekenen en wiskunde in het funderend onderwijs vanuit het perspectief van vervolgonderwijs redelijk gangbaar is, maar dat een reflectie over de impact van veranderende beroepen en een veranderende samenleving voor dit onderwijs niet gebruikelijk is.

Vandaar dat in hoofdstuk 3 bedrijfsleiders, betrokkenen bij kenniscentra en werknemers uit die bedrijfssectoren aan het woord komen, waar veel veranderingen hebben plaatsgevonden onder invloed van de toenemende technologisering. Wat zijn volgens hen belangrijke vaardigheden om nu en in de toekomst goed te kunnen functioneren in een bepaalde bedrijfstak en hoe denken onderzoekers daarover?

Hoofdstuk 4 verkent een mogelijke vertaalslag van generieke vaardigheden voor de 21e eeuw naar specifieke reken- en wiskundedoelen. De reken- en wiskundedoelen die nationaal en internationaal op dit moment worden onderschreven vormen daarbij het vertrekpunt. We verkennen de vraag hoe de veranderingen in de samenleving onder invloed van de technologie een serieuze plaats in deze doelen (en in het verlengde daarvan in het curriculum) kunnen krijgen. Hoofdstuk 5 bevat tenslotte een aantal conclusies en aanbevelingen.

³ Het KSAVE-model (*Knowledge, Skills, and Attitudes, Values and Ethics*) is ontwikkeld door een internationale groep onderzoekers van het ATCS (Binkley et al., 2010). In hoofdstuk 2 van dit rapport wordt het KSAVE-model uitvoerig toegelicht.

2. Generieke vaardigheden voor de 21e eeuw



2.1 Inleiding

In verschillende landen, waaronder de VS en Groot-Brittannië, worden de vaardigheden die noodzakelijk zijn om in de dynamische kennissamenleving te functioneren opnieuw gedefinieerd (Baartman & Gravemeijer, 2010). In diverse studies zijn vaardigheden benoemd die van belang zijn voor een goede voorbereiding op de maatschappij van de toekomst (Anderson, 2008; UNESCO, 2008; Voogt & Pareja Roblin, 2010). Terwijl in de industriële samenleving het onderwijs vooral de ontwikkeling van feitelijke en procedurele kennis tot taak had, gaat het in de kennissamenleving om een ander type kennis en vaardigheden (Ten Brummelhuis & Plomp, 2007). De studies wijzen op het toenemende belang van conceptuele en meta-cognitieve kennis. Ook is men het erover eens dat kennis en vaardigheden op het gebied van informatietechnologie een belangrijke rol spelen. Leerlingen zullen flexibel en creatief met computers en andere vormen van digitale technologie moeten kunnen omgaan (Van Galen & Gravemeijer, 2010).

Bij een discussie over vaardigheden en onderwijs voor de 21e eeuw is het van belang niet alleen naar de kwalificerende functie van het onderwijs te kijken. Het onderwijs bereidt jongeren voor op het functioneren in de samenleving in brede zin. De jongere ontwikkelt zich, al lerende, als persoon, als werknemer en als burger. In elk van deze rollen heeft hij of zij te maken met de invloed van technologische ontwikkelingen. Als we willen dat jongeren actief zullen en kunnen participeren in verschillende domeinen in de samenleving en bijdragen aan de verdere ontwikkeling ervan, dan moet worden doordacht welke vaardigheden dit vraagt en hoe het onderwijs de ontwikkeling hiervan kan stimuleren.

In de volgende paragraaf gaan we na wat bekend is over de kennis, vaardigheden en attitudes die mensen nodig hebben om te kunnen functioneren in de kennismaatschappij van de 21e eeuw. We illustreren dit in paragraaf 2.3 aan de hand van het KSAVE-model. De vraag welke betekenis deze nieuwe vaardigheden hebben voor het onderwijs komt aan bod in paragraaf 2.4.

2.2 21st Century skills

Vanuit een internationaal perspectief zijn er verschillende initiatieven gaande om in kaart te brengen welke vaardigheden van belang worden geacht voor de 21e eeuw. Voor deze vaardigheden worden begrippen als *21st century skills* (Binkley, Erstad, Herman, Raizen, Ripley & Rumble, 2010) gebruikt, maar ook *life long learning competencies* (Law, Pelgrum & Plomp, 2008) en *key skills* (EU, 2002). In de Nederlandse context komen we ook begrippen tegen als 'sleutelvaardigheden' (Van Zolingen, 1995) en 'kerncompetenties' (Onderwijsraad, 2000). In dit rapport hanteren we zowel het begrip *21st century skills* als het begrip generieke

vaardigheden. We verstaan hieronder: vaardigheden en daaraan te koppelen kennis, inzicht en houdingen die nodig zijn om te kunnen functioneren in en bij te dragen aan de kennis-samenleving. Voogt en Pareja Roblin (2010) hebben een literatuurstudie uitgevoerd naar beschikbare modellen voor *21st century skills*. Zij vergelijken vijf modellen, te weten:

- *P21 (Partnership for 21st century skills)*: ontwikkeld in de Verenigde Staten, met als doel *21st century skills* te positioneren in het basis- en voortgezet onderwijs;
- *EnGauge*: ontwikkeld in de Verenigde Staten met als doel *21st century skills* te bevorderen bij leerlingen, studenten, docenten en schoolleiders in verschillende onderwijssectoren;
- *ATCS (Assessment and Teaching of 21st century skills)*: onderdeel van een internationaal project met als doel de ontwikkeling van operationele definities van *21st century skills* en het ontwerp van geschikte beoordelingstaken voor gebruik in de klas;
- *NETS (National Educational Technology Standards)*: ontwikkeld door de *International Society for Technology in Education* met als doel standaarden te ontwikkelen voor datgene wat leerlingen, docenten en schoolleiders moeten kennen en kunnen op het terrein van ICT in het onderwijs;
- *NAEP (Technological Literacy Framework for the 2012 National Assessment of Educational Progress)*: ontwikkeld in de Verenigde Staten, met als doel onder andere vast te stellen wat leerlingen in groep 6 van het basisonderwijs, en klas 2 en 4 van het voortgezet onderwijs, moeten kennen en kunnen op het terrein van ICT.

Naast deze modellen bespreken Voogt en Pareja Roblin (2010) onderzoek en aanbevelingen van de Europese Unie (2006), de OESO (2004) en UNESCO.

Deze modellen zijn in verschillende contexten ontwikkeld met verschillende kaders en doelstellingen. Zij hebben verschillende aandachtsgebieden binnen het overkoepelende geheel van vaardigheden. Daardoor varieert het belang dat in de verschillende modellen wordt toegekend aan de diverse *21st century skills*. Zo zijn de modellen NETS en NAEP specifiek gericht op het domein van ICT, terwijl de andere modellen een bredere focus hebben. Ook zijn er verschillen in terminologie om de generieke vaardigheden te categoriseren. Expliciete verwijzingen naar een opleidingsniveau (basisonderwijs, voortgezet, beroeps- of hoger onderwijs) of een onderwijssetting (formeel of informeel) ontbreken vaak. Toch constateren Voogt en Pareja Roblin grote overeenkomsten tussen de modellen met betrekking tot de inhoud van *21st century skills*.

Generieke vaardigheden die *in alle modellen* worden genoemd liggen op het gebied van:

- samenwerking
- communicatie

- ICT-gebruik
- sociaal en/of cultureel bewustzijn (inclusief burgerschap).

Daarnaast worden vaardigheden *in drie of vier modellen* op de volgende gebieden genoemd:

- creativiteit
- kritisch denken
- probleemoplossende vaardigheden
- het vermogen om producten te ontwikkelen van hoge kwaliteit.

Dan zijn er nog vaardigheden die *in twee van de vijf modellen* worden genoemd:

- leren om te leren (ATCS, EU)
- zelfsturing (P21, EnGauge OESO)
- plannen (EnGauge, OESO)
- flexibiliteit en aanpassingsvermogen (P21, Engauge).

Om een concreter beeld te geven van wat de genoemde vaardigheden in kunnen houden, bespreken we één model hier uitgebreider, namelijk het model dat is ontwikkeld door een werkgroep van het ATCS, het *KSAVE-model (Knowledge, Skills, and Attitudes, Values and Ethics)* (Binkley, et al., 2010)¹⁰.

De keuze voor dit model heeft te maken met het feit dat het KSAVE-model een brede focus heeft. Het is gericht op verschillende maatschappelijke domeinen met inbegrip van burgerschap en beperkt zich niet tot ICT-vaardigheden. Daarbij kent het een heldere en aansprekende ordening in vier categorieën: *Ways of thinking, Ways of working, Tools for working en Living in the world*. Er wordt bij elke generieke vaardigheid expliciet onderscheid gemaakt tussen kennis, vaardigheden en houdingen (*attitudes/values/ethics*).

Het KSAVE-model wordt bovendien gepresenteerd in een rapport waarin de *skills* worden geïllustreerd met voorbeelden van praktische toepassingen in de praktijk. Deze voorbeelden zijn toegespitst op de wijze waarop de vaardigheden in het onderwijs kunnen worden beoordeeld met behulp van toetsen en vormen van assessment.

2.3 KSAVE-model van ATCS

Het KSAVE-model noemt tien generieke vaardigheden, verdeeld over vier categorieën die in het onderwijs aan de orde moeten komen omdat ze essentieel zijn voor beroepen en, meer algemeen, het functioneren in de huidige informatiemaatschappij.

¹⁰ Een internationale groep onderzoekers werkte aanvankelijk onder leiding van prof. Barry McGaw (University of Melbourne, voormalig directeur van OECD's *Center for Educational Research and Improvement, CERl*); de huidige projectleider is prof. Patrick Griffin van dezelfde universiteit. Ook de OECD en de IEA (*International Association for the Evaluation of Educational Achievement*) participeren. Het onderzoek wordt gesponsord door een drietal bedrijven (Cisco, Intel en Microsoft).

Tabel 1: Vier categorieën uit het KSAVE-model

A Manieren van denken	
1	Creatief en innovatief denken
2	Kritisch denken, probleemoplosvaardigheden, beslissingen nemen
3	Leren leren (metacognitie)
B Manieren van werken	
4	Communiceren
5	Samenwerken (teamwerk)
C Instrumenten (benodigdheden om te kunnen werken)	
6	Informatievaardigheden
7	ICT-vaardigheden
D Wereldburgerschap	
8	Burgerschap (lokaal en wereldwijd)
9	Leven en werken (loopbaan)
10	Persoonlijke en sociale verantwoordelijkheid (inclusief cultureel bewustzijn en culturele competentie).

Elke generieke vaardigheid wordt uitgewerkt in subvaardigheden waarbij de benodigde *knowledge, skills and attitudes/values/ethics* worden beschreven.

We lichten de tien generieke vaardigheden hier kort en voorbeeldmatig toe. Alleen voor de eerste vaardigheid *creatief en innovatief denken* staat, ter illustratie van het KSAVE-model, de volledige uitwerking opgenomen (tabel 2). De volledige uitwerkingen van de andere vaardigheden zijn te vinden in het rapport van Binkley, Erstad, Herman, Raizen, Ripley & Rumble (2010) en zijn tevens als bijlage bij dit rapport opgenomen (bijlage 2).

A Manieren van denken (*ways of thinking*)

Deze generieke vaardigheid bestaat uit (1) creatief en innovatief denken, (2) kritisch denken, probleemoplosvaardigheden en beslissingen nemen en (3) leren leren. Bij deze categorie gaat het vooral om conceptualisering, om een versterking van *the upper end of thinking skills*, mogelijk in samenhang met een afzwakking van vaardigheden als inprenten.

1 Creatief en innovatief denken

Bij creatief en innovatief denken wordt onderscheid gemaakt in drie vaardigheden, namelijk creatief denken (nieuwe ideeën bedenken en deze kunnen uitwerken en analyseren), creatief samenwerken met anderen (waaronder bijvoorbeeld effectief communiceren over

nieuwe ideeën) en het implementeren van innovatieve en creatieve ideeën. Daarbij zijn kennisaspecten aan de orde zoals het kennen van creatieve technieken (brainstorming en dergelijke), het kennen van weerstanden tegen vernieuwingen en weten hoe je daarmee om kunt gaan en het begrijpen van de impact van bepaalde vernieuwingen. Een open houding ten opzichte van nieuwe ideeën en het zien van fouten als leermogelijkheden vormen onder andere belangrijke houdingen voor deze generieke vaardigheid.

Tabel 2: Een voorbeeld van een onderdeel van het KSAVE-model

<p>Knowledge</p>	<p>Think and work creatively and with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Know a wide range of idea creation techniques (such as brainstorming) • Be aware of invention, creativity and innovation from the past within and across national boundaries and cultures • Know the real world limits to adopting new ideas and how to present them in more acceptable forms • Know how to recognize failures and differentiate between terminal failure and difficulties to overcome <p>Implement innovations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Be aware of and understand where and how innovation will impact and the field in which the innovation will occur • Be aware of the historical and cultural barriers to innovation and creativity
<p>Skills</p>	<p>Think creatively</p> <ul style="list-style-type: none"> • Create new and worthwhile ideas (both incremental and radical concepts) • Be able to elaborate, refine, analyze and evaluate one's own ideas in order to improve and maximize creative efforts <p>Work creatively with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Develop, implement and communicate new ideas to others effectively • Be sensitive to the historical and cultural barriers to innovation and creativity <p>Implement Innovations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Develop innovative and creative ideas into forms that have impact and be adopted

Attitudes/Values/
Ethics

Think creatively

- Be open to new and worthwhile ideas (both incremental and radical concepts)

Work creatively with others

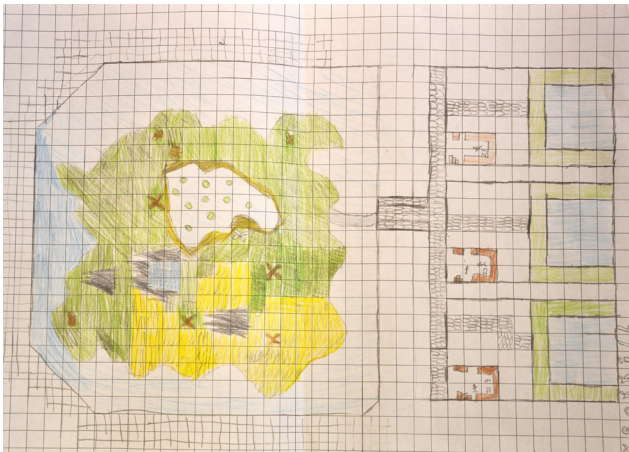
- Be open and responsive to new and diverse perspectives; incorporate group input and feedback into the work
- View failure as an opportunity to learn; understand that creativity and innovation is a long-term, cyclical process of small successes and frequent mistakes

Implement Innovations

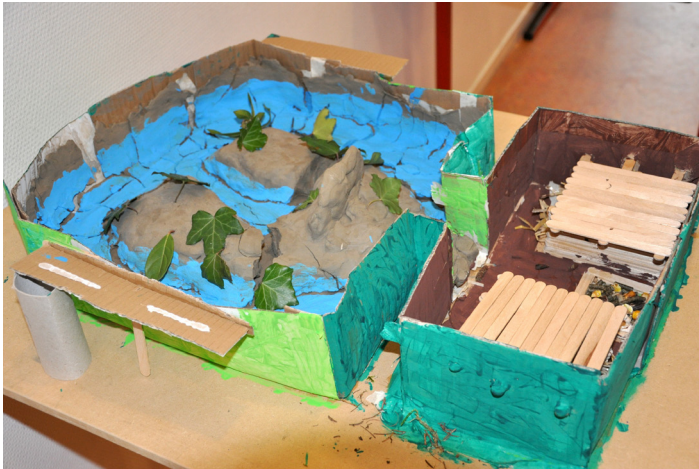
- Show persistence in presenting and promoting new ideas

Enkele voorbeelden ter illustratie:

- Een voorbeeld van de wijze waarop de vaardigheid 'creatief en innovatief' denken in het onderwijs aan bod kan komen is het keuzevak *Design and Technology* in Engeland, waarbij 16-jarige leerlingen in 100 uur een ontwerpproject uitvoeren en beschrijven.
- In Nederland is op basis van de didactiek 'onderzoekend en ontwerpend leren' (Van Graft & Kemmers, 2007) een lessenserie ontwikkeld voor groep 7/8 van het basisonderwijs binnen het vak Natuur en Techniek waarbij de leerlingen een diertuin ontwerpen (Van Graft, Klein Tank & Verheijen, 2011; zie voorbeelden hieronder).



Een plattegrond van een krokodillenverblijf



Een maquette gemaakt op basis van de plattegrond

- Een ander Nederlands voorbeeld van een vak waarin deze vaardigheid aandacht krijgt, is het keuzevak 'wetenschapsoriëntatie' dat sommige vwo-scholen aanbieden. Dit project van het Platform Wetenschapsoriëntatie Nederland richt zich op de ontwikkeling van een onderzoekende houding, op openstaan voor nieuwe, afwijkende ideeën en op vertrouwd raken met wetenschappelijk onderzoek en dergelijke¹¹.

Ook in bestaande vakdomeinen als Creatief Schrijven of Kunst & Culturele Vorming kunnen onderdelen van deze vaardigheid aan bod komen. De digitale camera en diverse digitale *tools* kunnen worden ingezet om leerlingen hun werk te laten zien en erop te reflecteren. Bij de beoordeling kan bijvoorbeeld gebruik gemaakt worden van multimedia portfolio's.

2 Kritisch denken, probleemoplosvaardigheden, beslissingen nemen

Deze generieke vaardigheid is uitgewerkt in *deelvaardigheden* als effectief kunnen redeneren, het interpreteren, analyseren en synthetiseren van informatie, het trekken van conclusies en het nemen van beargumenteerde beslissingen. Hierbij gaat het bijvoorbeeld om *kennis* van strategieën om met onbekende problemen om te gaan. Ook moet iemand in staat zijn om hiaten in eigen kennis te constateren. Er zijn veel *houdingsaspecten* in het geding bij deze vaardigheid. Het gaat dan bijvoorbeeld om het beschouwen van alternatieve standpunten, het kritisch reflecteren op eigen leerervaringen en leerprocessen, het openstaan voor non-conventionele oplossingen, het stellen van betekenisvolle vragen en om flexibiliteit.

¹¹ Kraaijeveld en Weusten (2010) betogen dat denken eerder een bijproduct is van het Nederlandse onderwijs dan een doel of vak op zich. Ongemerkt leren we redeneren bij taal en rekenen. Volgens hen zijn metacognitieve vaardigheden als besluitvaardigheid, rationele afwegingen maken en van perspectief kunnen wisselen goed te leren. Zij benadrukken daarom de noodzaak van 'helder denken' als nieuw vak op school. Slechts enkele scholen hebben een dergelijk vak, meestal filosofie, argumentatieleer of logica, op het rooster staan.

Hoewel de overeenstemming over de genoemde elementen van deze generieke vaardigheid groot is, zijn deze niet eenvoudig terug te vinden in gangbare onderwijspraktijken of toetsen (Wagner, 2008). De aspecten kritisch denken en probleemoplossend denken komen enigszins terug in internationale toetsen (zoals PISA) van vakken als lezen, wiskunde en science. Deze toetsen bevatten items die een beroep doen op het analyseren, beoordelen en synthetiseren van argumenten, het leggen van verbanden tussen informatie en argumenten en het analyseren en beoordelen van alternatieve zienswijzen.

Binkley et.al (2010) geven ook voorbeelden van het toepassen van authentieke, open taken, met behulp van simulaties en *scenario-based assessments*.

Ook zijn er in Engeland *computer based tests* ontwikkeld voor het beoordelen van probleemoplosvaardigheden in de vakken wiskunde, *science* en 'ontwerp en technologie'.

Uit Canadees onderzoek (Qing Li, 2010) blijkt dat het leren bouwen van digitale *games* goed kan bijdragen aan vaardigheden op het gebied van probleemoplossen en kritisch denken bij leerlingen in de basisschoolleeftijd. Het onderzoek laat zien dat *games* bouwen zowel het leren van generieke vaardigheden als domeingebonden vaardigheden in met name wiskunde en *science* bevordert.

In het Nederlandse onderwijs zijn slechts enkele onderdelen van deze vaardigheid aanwijsbaar in de wettelijke doelen voor verschillende vak- en vormingsgebieden. Zo vinden we in de onderbouw vo kerndoelen gericht op wiskundig redeneren (wiskunde) en op meningsvorming (mens en maatschappij). Het is de vraag hoeveel aandacht deze generieke vaardigheid in de praktijk van het onderwijs krijgt.

3 Leren leren en metacognitie

Onder deze categorie vallen *vaardigheden* op het gebied van effectief *selfmanagement* van het leren, om zelfstandigheid, concentratie, volharding en om reflectie op het doel van leren. Wat *kennis* betreft gaat het bijvoorbeeld om het kennen van de eigen leerstijl(en), kwaliteiten en zwaktes. Deze generieke vaardigheid vraagt om *houdingen* zoals leermotivatie, bereidheid om te veranderen en vertrouwen in de eigen mogelijkheden om succesvol te zijn. Nieuwe technologische toepassingen kunnen processen van zelf-assessment en zelf-regulatie bij het leren ondersteunen. Binkley et.al (2010) verwijzen in dit verband naar het eVIVA-project in Engeland. Hierbij wordt gebruik gemaakt van de mobiele telefoon en *web-based* formatieve *assessment tools*. Het laatste houdt in dat leerlingen zichzelf en elkaar in dialoog met elkaar en met de leraar beoordelen, waarbij gebruik wordt gemaakt van een elektronisch portfolio (een zogenaamd e-portfolio). Hierin leggen de leerlingen hun cruciale leermomenten vast en voorzien deze van een onderbouwing ('bewijzen').

Het belang van 'leren leren' als onderwijsdoel wordt in Nederland breed onderkend. Het vormt bijvoorbeeld één van de zes thema's in de preambule van de examenprogramma's van het vmbo. Dat wil echter nog niet zeggen dat dit thema ook altijd een uitwerking krijgt

in de praktijk. Bovendien krijgen lang niet alle aspecten die door Binkley et al. (2010) worden genoemd binnen dit thema aandacht. Dit geldt onder andere voor de reflectie op het doel van leren en het kennen van de eigen favoriete leerstijl.

B Manieren van werken (*ways of working*)

Deze generieke vaardigheid bestaat uit (4) communiceren en (5) samenwerken. De manier waarop mensen werken, is sterk veranderd. Zo komt het voor dat teams van mensen op verschillende locaties (zelfs verschillende landen) via teleconferenties en incidentele 'sprint sessies' tot de gezamenlijke conclusies moeten komen (bijvoorbeeld over ontwikkeling van een prototype). Ook grootschalige, internationale studies als PISA of TIMSS laten zien hoe in verschillende landen teams van onderzoekers samenwerken aan de ontwikkeling van assessments. Dergelijke ontwikkelingen vragen om een aanscherping van vaardigheden op het gebied van communiceren en samenwerken.

4 Communiceren

De vaardigheid om in de moedertaal en andere talen te kunnen communiceren, zowel mondeling als schriftelijk, staat hier centraal. Het overbrengen en begrijpen van verschillende soorten boodschappen is essentieel. *Vaardigheden* betreffen het omgaan met verschillende communicatieve situaties, het lezen, schrijven en begrijpen van verschillende typen teksten en het hanteren van verschillende strategieën daarbij. *Kennisaspecten* die hierbij aan de orde kunnen zijn, betreffen de kennis van de taal (woordenschat, grammatica, stijlen e.d.), maar ook kennis van verschillende typen interacties, zoals interviews, gesprekken of debatten en kennis van sociale conventies. Bij *houdingsaspecten* wordt bijvoorbeeld gedacht aan het vertrouwen om in het openbaar te spreken of het ontwikkelen van affiniteit met literatuur en sensitiviteit voor culturele verschillen en weerstand tegen stereotypering. Binkley et al. (2010) wijzen op het belang van nieuwe vormen van communicatie. De toepassing van PowerPointpresentaties is wijdverbreid, maar ook het communiceren via video, SMS, Twitter of Facebook groeit wereldwijd razendsnel. Deze nieuwe toepassingen beïnvloeden zowel de wijze waarop gecommuniceerd wordt als de inhoud van de boodschappen. Zo lijken er andere eisen te gelden op het gebied van grammatica en spelling voor Twitter-berichten. Het succes van YouTube maakt duidelijk hoe effectief nieuwe vormen van communicatie voor het overbrengen van een boodschap kunnen zijn. Online video's spelen een steeds grotere rol in met name het hoger onderwijs. Yale, Harvard, Colombia en Oxford University, maar ook vrijwel alle Nederlandse universiteiten zetten colleges online.

Een ander voorbeeld is de TED (Technology, Entertainment, Design) website waar honderden toespraken van wetenschappers politici en schrijvers staan – <http://www.ted.com/>

5 Samenwerken (teamwerk)

Deze generieke vaardigheid sluit nauw aan bij de voorgaande: samenwerken is niet mogelijk zonder communiceren. Waar bij *communiceren* de nadruk meer ligt op het effectief communiceren met anderen (je bewust zijn van je publiek en communicatiedoel) en op zorgvuldig luisteren, gaat het bij de generieke vaardigheid *samenwerken* vooral om het omgaan met sociale en culturele verschillen bij het samenwerken in diverse teams, het managen van projecten en het begeleiden van anderen. Daarbij hoort *kennis* van gesprekstechnieken en van projectmatig werken. *Houdingsaspecten* betreffen het professioneel met anderen omgaan, respect tonen voor culturele verschillen, open staan voor andere ideeën en waarden en verantwoordelijk handelen.

Binkley et al. (2010) wijzen op de moeilijkheid om vaardigheden op het gebied van samenwerken te beoordelen. De meeste schoolassessments zijn gericht op de beoordeling van individuele prestaties. Bij het beoordelen van groepswork gaat het erom de bijdrage van elk lid van de groep te waarderen, rekening houdend met verschillen tussen groepen die de bijdrage van een groepslid kunnen beïnvloeden. Bij de beoordeling moet ook rekening worden gehouden met culturele verschillen.

Er zijn wel voorbeelden van interessante (onderzoeks)projecten op dit gebied. Zo laten Cakir e.a. (2009, in Binkley et al., 2010) zien hoe een groep deelnemers aan het onderwerp 'mathematische modellen' hun activiteiten zodanig moeten organiseren dat zij goed gebruik kunnen maken van elkaars inzichten en bijdragen om effectief samen te werken. De groep heeft een gemeenschappelijke (digitale) werkomgeving waar verschillende modaliteiten (grafisch, narratief, symbolisch) bij elkaar komen en bijdragen aan de gezamenlijke oplossing van de gestelde problemen. Het stimuleert de groepsleden om te werken met meervoudige realisaties van mathematische artefacten en leidt volgens de onderzoekers tot *deep learning of mathematics*.

Een voorbeeld van teamwerk bij wiskunde vormt de Wiskunde A-Olympiade. Deze wedstrijd is bedoeld voor leerlingen uit 5-havo of 5/6-vwo met wiskunde A in hun pakket/profiel, die in teamverband (drie of vier leerlingen) een uitdagend open probleem aanpakken. De teams moeten een weg afleggen van probleemstelling via strategiebepaling, oplossing en argumentatie naar presentatie van de gevonden oplossing.

C Instrumenten (*tools for working*)

Deze generieke vaardigheid bestaat uit (6) informatievaardigheden en (7) ICT-vaardigheden. Deze categorie staat voor een verandering in de samenleving die volgens Binkley et al. (2010) te vergelijken is met de uitvinding van de boekdrukkunst. De introductie van de *personal computer*, de uitvinding van de *browser* door Netscape, de ontwikkeling van transmissieprotocollen voor communicatie tussen computers en tussen software en de mogelijkheden voor het up- en downloaden van bestanden/programma's zijn voorbeelden van ont-

wikkelingen die het grote belang illustreren van informatie- en communicatietechnologie (ICT) in onze huidige samenleving. ICT maakt het mogelijk om als individu deel te nemen aan en samen te werken in internationale verbanden en (voor het bedrijfsleven) te concurreren op internationale markten. Internet biedt de mogelijkheid om snel te beschikken over informatie. Palfrey en Gasser (2008) wijzen op het toegenomen collectieve probleemoplossend vermogen als gevolg van digitale technologieën. Hoyles en Noss (2010) maken duidelijk wat de grote impact is van *tools for working* op wiskundige activiteiten in werksituaties (zie verder hoofdstuk 3).

6 Informatievaardigheden (onderzoeken, bewijzen)

Deze generieke vaardigheid betreft de *vaardigheden* om informatie op een efficiënte en effectieve manier te vinden, kritisch en deskundig te evalueren en nauwkeurig en creatief te gebruiken. We treffen in dit verband ook wel het begrip ‘mediawijsheid’ aan (Raad voor Cultuur, 2005). *Kennisaspecten* gaan bijvoorbeeld over het kennen van strategieën om grote hoeveelheden informatie te hanteren, het (basaal) begrijpen van gegevens over de validiteit en betrouwbaarheid van informatie of het kennen van ethische aspecten rond de beschikbaarheid en het gebruik van informatie. Deze generieke vaardigheid vraagt onder andere om een kritische en reflectieve *houding* bij het beoordelen van informatie en om een positieve houding ten opzichte van veilig en verantwoordelijk gebruik van internet en social media. Daarbij valt ook te denken aan het behoedzaam omgaan met betalingen en financiële diensten via internet.

Het internet heeft de wijze waarop leerlingen en studenten informatie verzamelen en verwerken in alle aspecten van hun leven, ingrijpend veranderd. Er zijn nog veel vragen als het gaat om de veranderingen die internet heeft voor de informatievaardigheden van jongeren.

“Does reading websites, instead of books and broadsheet-style newspapers, actually change the way people process information in the short and long terms? Do kids end up remembering the information that they gather online more or less effectively than they remember material that they read on a printed page?” (Palfrey & Gasser, 2008, p. 239).

Uit onderzoek van Van den Berg (2010) blijkt in elk geval dat zowel jongeren als hun ouders zichzelf mediavaardiger inschatten (op basis van eigen perceptie) dan ze daadwerkelijk blijken te zijn (op basis van eigen kennis of gedrag). Zo geeft een ruime meerderheid van de respondenten aan te weten hoe ze betrouwbare informatie op internet moeten vinden, maar een veel kleiner deel gaat daadwerkelijk de bron of datum van de informatie na. Vooral jongeren overschatten hun vaardigheden.

Wanneer aan leerlingen tijdens medialessen 'Surfplank voor kinderen' wordt gevraagd of ze een gevonden website begrijpelijk, betrouwbaar en bruikbaar vinden, geven ze veelal een positief antwoord. Leerlingen van de basisschool kijken vooral naar de lay-out van de pagina en of de tekst betrouwbaar lijkt. Dit bepalen sommige leerlingen door de hoeveelheid moeilijke woorden, maar ook door de herkomst van een site. Een site van een museum wordt bijvoorbeeld als betrouwbaar gezien. "Nou er staan zoveel moeilijke woorden op die kloppen dat het wel uit een mond van een professor moet komen". Opvallend is dat leerlingen Wikipedia vaak als niet begrijpelijk en onbetrouwbaar bestempelen. De moeilijke woorden worden niet altijd uitgelegd en ze weten dat iedereen de teksten zou kunnen bewerken. (Van den Berg, 2010, p. 25).

7 ICT-vaardigheden

Bij ICT-vaardigheden of ICT-geletterdheid gaat het om een effectief en efficiënt (instrumenteel) gebruik van informatie- en communicatietechnologie. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om accuraat en creatief toepassen van ICT voor een bepaald doel, het zelf creëren van mediaproducten met behulp van geschikte *tools* en het kunnen omgaan met modellen of simulaties. Belangrijke aspecten bij deze vaardigheid zijn het gebruiken van ICT als middel om informatie te zoeken, organiseren, evalueren en communiceren. Ook het op een passende manier gebruik maken van sociale netwerken om succesvol in de kenniseconomie te functioneren, hoort daarbij. Het gaat hierbij onder andere om *kennis* van de voornaamste computertoepassingen en bekendheid met de mogelijkheden van internet en communicatie via elektronische media (e-mail, video-conferencing, netwerktools), alsook de *vaardigheid* deze te kunnen toepassen. Bij *houdingen* gaat het een *open mind* ten opzichte van nieuwe ideeën, informatie, *tools* en manieren van werken, maar ook om het kritisch en competent evalueren van informatie. Een ander voorbeeld van een houdingsaspect bij deze generieke vaardigheid, is het respectvol omgaan met vertrouwelijke informatie, rekening houdend met de privacy en het intellectueel eigendom van anderen.

Wat opvalt, is dat in het KSAVE-model niet apart aandacht wordt besteed aan vaardigheden op het gebied van technologische geletterdheid. De meeste modellen voor *21st century skills* onderscheiden drie typen ICT-gerelateerde vaardigheden:

- informatievaardigheden
- ICT-geletterdheid
- technologische geletterdheid.

Informatievaardigheid (zie ook hierboven, onder 6) betreft de capaciteit om informatie op een efficiënte en effectieve manier te vinden, te evalueren en te gebruiken. Bij ICT-geletterdheid gaat het vooral om een effectief en efficiënt *gebruik van technologie*. Op deze vorm van ICT-gerelateerde vaardigheden ligt in het KSAVE-model de nadruk. Bij technologische geletterdheid ligt de nadruk op *inzicht in technologische principes en de samenwerking tussen technologie en samenleving*. Technologische geletterdheid kan worden gedefinieerd als het

vermogen om technologie te gebruiken, te begrijpen en te evalueren, alsmede om technologische principes en strategieën te begrijpen die nodig zijn om oplossingen te ontwikkelen en doelen te realiseren (NAEP, 2010, in Voogt & Pareja Roblin, 2010).

Binkley et al. (2010) geven onder andere een voorbeeld van een *tool*, ontwikkeld in Australië, waarmee de progressie in ICT-geletterdheid van leerlingen in het primair en secundair onderwijs kan worden gevolgd. Daarbij wordt onderscheid gemaakt tussen werken met informatie, creëren en delen van informatie en verantwoordelijk ICT-gebruik.

Uit een rapport van het *European Schoolnet*, gebaseerd op een analyse van 17 studies (tussen 2002 en 2006) blijkt dat de impact van ICT in het onderwijs tot uitdrukking komt in onder andere:

- een positief effect op de onderwijsprestaties in het basisonderwijs;
- een positieve correlatie tussen de duur van het gebruik van ICT en de prestaties van de leerling;
- een bijdrage van ICT aan de motivatie en schoolprestaties van leerlingen;
- ondersteuning bij zelfstandig leren en samenwerking (Ten Brummelhuis & Plomp, 2007).

Verder blijkt uit dit rapport dat ICT effectief is voor zowel goed presterende leerlingen als voor leerlingen die speciale ondersteuning nodig hebben.

Fransen (2007) stelt dat het onderwijs meer moet kijken naar de ICT-vaardigheden, waarover de *digital natives* (kinderen geboren in het digitale tijdperk en opgegroeid met ICT) al beschikken. Wanneer de school serieus neemt wat kinderen buiten de school aan ICT-kennis en ervaring opdoen, dan vraagt dat om nieuwe verbindingen tussen informeel en formeel leren. Het startpunt van het onderwijs zou naar zijn idee in sommige gevallen moeten liggen bij de meer informele leerpraktijken.

De populariteit van *games* onder jongeren past binnen de trend dat jongeren zich naast consumenten ook steeds meer gaan opstellen als producenten van kennis en informatie. Zij zoeken op een andere manier naar kennis en informatie dan volwassenen gewend zijn te doen en selecteren daaruit wat ze kunnen gebruiken. Ze zijn behalve consument ook producent en bouwen bijvoorbeeld in het kader van *gaming*, samen met anderen, in een proces van uitwisseling en discussie, aan nieuwe '*mods*' (*modifications*) van programma's. In die zin zijn ze co-producenten van kennis. Je ziet dat bijvoorbeeld aan de sterke groei in weblogs en websites die jongeren inrichten en aan de *communities* op internet waarin ze actief zijn (Fransen, 2007, p. 9).

D Wereldburgerschap (*Living in the world*)

Deze generieke vaardigheid bestaat uit (8) burgerschap, (9) leven en werken en (10) persoonlijke en sociale verantwoordelijkheid. Mensen veranderen veel vaker van baan dan vroeger.

Veel werknemers voelen zich niet langer onderdeel van een lokale of regionale arbeidsmarkt, maar van een wereldwijde markt, fysiek of via het web. Dat geldt volgens Wagner (2008) niet langer alleen voor een deel van de bevolking (bijvoorbeeld de hoogopgeleiden), maar voor iedereen. Dit heeft consequenties voor diverse aspecten van burgerschap.

8 Burgerschap (lokaal en wereldwijd)

Burgerschap als onderwijskundig doel bestaat al lang en kende altijd een focus op kennis van democratische processen. In het voortgezet onderwijs komt burgerschap als onderdeel van maatschappijleer aan bod. Burgerschap als competentie is minder oud en hangt mede samen met ontwikkelingen van globalisering en sterk toenemende mobiliteit op de arbeidsmarkt. Burgerschap houdt onder meer in dat mensen leren om te leven in de hele wereld (*global world*) en niet alleen in de stad of het land, waar ze zijn opgegroeid. Deze generieke vaardigheid betreft *vaardigheden* gericht op het participeren in gemeenschaps- en buurtactiviteiten, op het verantwoordelijk kunnen stemmen en op het meewerken aan oplossingen voor problemen in de lokale of bredere gemeenschap. Daarbij hoort in elk geval *kennis* over burgerrechten, de grondwet en het politieke systeem van het land waar men woont. Ook kennis van rollen en verantwoordelijkheden van (politieke) instituties op lokaal, regionaal en landelijk niveau is relevant. Bij de *houdingsaspecten* gaat het bijvoorbeeld om het gevoel bij een bepaalde gemeenschap te horen, om de bereidheid te participeren in democratische besluitvormingsprocessen op diverse niveaus, maar ook om het respecteren van de waarden en privacy van anderen en het weerstand bieden tegen asociaal gedrag. Uit een grootschalig internationaal onderzoek naar burgerschap, the *International Civic and Citizenship Educational Study (ICCS)*¹², blijkt dat Nederlandse leerlingen minder over politiek weten dan hun leeftijdgenoten elders in de wereld. Ze denken bovendien negatiever over immigranten¹³. Maslowski, coördinator van het Nederlandse deel van dit onderzoek, is kritisch over de wijze waarop burgerschap wordt ingevuld in veel Nederlandse scholen. De aandacht voor burgerschap hoeft volgens Maslowski niet per se tot uiting te komen in een apart vak of meer uren. Een land als Finland kent bijvoorbeeld ook geen apart vak burgerschap, maar komt wel heel goed naar voren in het ICCS-onderzoek. Het gaat vooral om een andere, beter gefocuste invulling van burgerschap (Maslowski, 2010).

Ten Dam, Geijssels, Reumerman en Ledoux (2010) wijzen er op dat veel internationale studies zich voornamelijk richten op kennis en cognitieve vaardigheden van leerlingen op het gebied van burgerschap en op hun democratische attitude. De studies geven geen inzicht in het vermogen van jongeren om te handelen in betekenisvolle sociale situaties.

9 Leven en werken (carrière)

Bij deze generieke vaardigheid gaat het om de *vaardigheden* die iemand nodig heeft om zijn leven en loopbaan te plannen en zich blijvend te ontwikkelen. Een essentiële vaardigheid bij

¹² Dit onderzoek is uitgevoerd door de IEA

¹³ Het Nederlandse deel van dit onderzoek is te downloaden via www.rug.nl/gion

deze generieke vaardigheid vormt het vermogen om met verandering om te gaan. Juist in de 21e eeuw is het belangrijk om verschillende rollen en verantwoordelijkheden te kunnen hanteren en in diverse banen en contexten te kunnen functioneren. Flexibel zijn, kunnen omgaan met feedback en leren onderhandelen aan de hand van argumenten maken daar ook deel van uit. Het goed kunnen omgaan met veranderingen is een generieke vaardigheid die voor veel banen voorwaardelijk is. Overigens, ARBO-diensten geven cursussen op dit gebied¹⁴.

Kennisaspecten betreffen bijvoorbeeld kennis van modellen voor lange en korte termijn planning en van tactische (korte termijn) en strategische (lange termijn) doelen. Bij *houdingen* gaat het bijvoorbeeld om het kunnen omgaan met onzekerheden en het kritisch reflecteren op ervaringen om ervan te leren voor de toekomst.

Er bestaat in het onderwijs een lange traditie van tests voor het meten van de belangstelling en voorkeuren voor opleidingen en beroepen als onderdeel van activiteiten op het gebied van loopbaanbegeleiding. Dit is in mindere mate het geval voor het meten van vaardigheden op het gebied van *managing life and career*. Voor loopbaanontwikkeling en -begeleiding is wel een groeiende belangstelling. De laatste tijd verschijnen er regelmatig publicaties op dit gebied, zowel nationaal als internationaal (zie Admiraal-Hilgeman, 2009). In toenemende mate lijkt de mening post te vatten dat, als gevolg van *boundaryless careers*, mensen zelf verantwoordelijkheid moeten nemen voor hun loopbaan en loopbaanontwikkeling. *Carrier counselors*, loopbaanbegeleiders en verandercoaches ondersteunen de zelfreflectie van mensen en denken mee bij het uitzetten van een loopbaanpad.

10 Persoonlijke en sociale verantwoordelijkheid (inclusief cultureel bewustzijn en culturele competentie)

Deze generieke vaardigheid heeft betrekking op *vaardigheden*, zoals het constructief communiceren in verschillende sociale situaties met respect voor andere visies, uitingen en gedragingen en daarbij bewust te zijn van de eigen individuele en collectieve verantwoordelijkheid. Het gaat ook om het vermogen om bij anderen vertrouwen en empathie te stimuleren en om eigen frustraties gekanaliseerd en constructief te uiten. Ook het kunnen scheiden van werk en privéleven is belangrijk. Deze generieke vaardigheid betreft daarnaast het cultureel bewustzijn. Het gaat er dan bijvoorbeeld om dat je je bewust bent van een nationale culturele identiteit en andere identiteiten, zoals een Europese culturele identiteit.

Kennisaspecten betreffen het kennen van gedragscodes en weten hoe je je in verschillende sociale situatie en samenlevingen hoort te gedragen. Het gaat ook om kennis over hoe je kunt zorgen voor een gezonde leefstijl, hygiëne en voeding. Bij *houdingen* gaat het bijvoorbeeld om het tonen van belangstelling voor anderen, de bereidheid om over vooroordelen heen te stappen en om eigenschappen als integriteit en assertiviteit te tonen.

Binkley et al. (2010) geven geen verwijzingen naar voorbeelden van toepassingen in het

¹⁴ Zie bijvoorbeeld: http://www.dsm.com/le/nl_NL/arbodienst/html/Cursus_veranderen.htm

onderwijs van deze generieke vaardigheid. Zij stellen dat er op dit punt geen sprake is van een *body of measurement literature*.

Voor de Nederlandse situatie is in elk geval de invoering van de maatschappelijke stage in het voortgezet onderwijs relevant. Met ingang van het schooljaar 2011-2012 volgen alle leerlingen in het voortgezet onderwijs een maatschappelijke stage van minimaal 30 uur. Deze stage kan bijvoorbeeld bestaan uit vrijwilligerswerk bij een vrijwilligersorganisatie, vereniging, instelling of maatschappelijke organisatie. Soms vindt de stage ook buiten een georganiseerd verband plaats, bijvoorbeeld door boodschappen te doen voor een oude buurvrouw of een gezin te helpen dat tijdelijk hulp nodig heeft. De maatschappelijke stage draagt, volgens de website van het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap, bij aan de sociale samenhang, omdat er nieuwe samenwerkingsverbanden kunnen ontstaan tussen bijvoorbeeld leerlingen, scholen, vrijwilligerscentrales en stagebieders. Het brengt mensen met elkaar in contact die anders misschien langs elkaar heen zouden leven. Leerlingen krijgen te zien hoe de ander denkt, doet en zich voelt, wat wederzijds begrip en respect kan bevorderen¹⁵.

2.4 Conclusie

Er bestaat internationaal redelijke overeenstemming over de (globale) inhoud van *21st century skills*. In het Nederlandse onderwijs zijn de meeste *21st century skills* nog niet duidelijk herkenbaar. Zo zijn creatief/innovatief en kritisch denken geen expliciete onderwijsdoelen in het funderend onderwijs. Communiceren krijgt wel aandacht, maar daarbij wordt nog weinig gekeken naar nieuwe vormen van communicatie en de toepassing van moderne communicatiemiddelen. Ook ICT-vaardigheden krijgen in het algemeen een veel beperktere invulling dan in het KSAVE-model noodzakelijk wordt geacht. Er lijkt sprake van een *mismatch* tussen de vaardigheden die jongeren elke dag buiten school leren en hanteren en het onderwijs in de school. Vaardigheden met betrekking tot samenwerken en 'leven en werken' zijn wel goed terug te vinden in het middelbaar beroepsonderwijs, maar veel minder in het funderend onderwijs¹⁶.

Onderwijsvormen die deze vaardigheden kunnen ondersteunen, zoals het werken aan authentieke taken en probleemgestuurd leren, zijn nog weinig gangbaar. De bevordering van actief burgerschap en sociale integratie is vastgelegd in de wetten voor het primair en voortgezet onderwijs. Of deze vaardigheden in voldoende mate aan de orde komen in de praktijk van het Nederlandse onderwijs is echter de vraag.

¹⁵ <http://www.maatschappelijkstage.nl/>

¹⁶ In het middelbaar beroepsonderwijs vinden we veel *21st century skills* terug in het KBB-competentiemodel. Dit model is een samenhangend geheel van 25 competenties die worden gebruikt bij het beschrijven van competenties in de kwalificatiedossiers. Het KBB-competentiemodel is voor de kenniscentra gemaakt door SHL, een internationaal werkende HRM-organisatie.

Een belangrijke vraag is of we rustig kunnen afwachten tot de *21st century skills* hun weg zullen vinden in het onderwijs. Op dit moment lijken de *21st century skills* nog nauwelijks een rol te spelen in het maatschappelijke debat over de inhoud van het onderwijs. Het politieke debat wordt gedomineerd door de versterking van kennis en vaardigheden in taal en rekenen-wiskunde in het licht van de verbetering van de internationale positie van Nederland als kenniseconomie op deze domeinen. Het lijkt daarbij vooral om kennis en vaardigheden te gaan die van oudsher belangrijk worden gevonden. De grote impact van technologische veranderingen op wat men moeten kennen en kunnen speelt geen grote rol in deze discussie.

Het is dringend gewenst dat het debat over doelen voor goed onderwijs in een informatie-maatschappij gevoerd gaat worden, zowel binnen als buiten het onderwijs, onder beleids-makers en iedereen die zich betrokken voelt bij het onderwijs. Bij de *21st century skills* gaat het om veel meer dan een toevoeging of vervanging van enkele onderwijsdoelen. Het gaat om een ander type doelen en daarmee ook andere vormen van leren en onderwijzen en ook om andere typen toetsing.

Het KSAVE-model laat zien hoe generieke vaardigheden globaal kunnen worden uitgewerkt in vaardigheden, kennis en houdingen. De uitwerkingen worden beschreven op een redelijk hoog abstractieniveau. We gaan in deze verkenning niet in op de wijze waarop de *21st century skills* in het onderwijs (kunnen) worden geconcretiseerd, maar hiervoor komen steeds meer goede voorbeelden beschikbaar (zie Anderson, 2008, Binkley et al., 2010 en Voogt & Pareja Roblin, 2010). In de discussie over concretisering van *21st century skills* is het nodig dat de relaties tussen zogenaamde 'nieuwe' en 'oude' kennis en vaardigheden verder wordt verhelderd. Daarbij gaat het ook om de onderlinge verhouding tussen kennis, vaardigheden en houdingen. Vereist de 21e eeuw een andere verhouding of juist niet? Hoe verhouden het opdoen van kennis en vaardigheden en het leren gebruiken ervan zich tot elkaar? Niet onbelangrijk is ook de vraag wat eventueel moet worden weggelaten in het huidige curriculum om ruimte te maken voor *21st century skills*.

Het is essentieel dat er meer duidelijkheid komt over de opbrengsten die bij de beschreven generieke vaardigheden in het funderend onderwijs zouden moeten worden nagestreefd. Scholen kunnen weliswaar zelf inhoudelijke keuzes maken in het curriculum, maar zij worden in hun ontwikkeling, keuzes en prioriteiten sterk beïnvloed door verwachtingen van buitenaf. Zij worden enerzijds ingekaderd door wet- en regelgeving en anderzijds beïnvloed door verwachtingen en eisen van ouders, inspectie en andere betrokkenen. Voor de scholen zijn de inhouden van landelijke toetsen (denk aan de Cito-eindtoets en de examens) in het onderwijs heel richtinggevend¹⁷. Immers, met toetsen worden niet alleen de vorderingen van leerlingen, maar ook de prestaties van de school beoordeeld. Scholen stemmen hun onderwijs dan ook in belangrijke mate af op de inhoud van toetsen. Zolang de *21st century*

¹⁷ Ook in het primair onderwijs zal centrale toetsing wettelijk worden verankerd. Zie de voorgenomen Wetswijziging WPO, WEC en Wet CvE in verband met toetsing en leerlingvolgsystemen; voorstel versie februari 2010

skills weinig herkenbaar zijn in eindtermen en toetsen, zijn er voor scholen noch individuele leraren weinig prikkels om zich daarop te gaan richten. Een dergelijke prikkel ontstaat pas wanneer *21st century skills* onderdeel gaan uitmaken van de eindtermen voor het funderend onderwijs en in het verlengde daarvan in het toetsinstrumentarium in scholen. Het gaat vooral om de betekenis die aan de resultaten op toetsen - en dus aan de onderliggende eindtermen - gehecht wordt. Worden zij bijvoorbeeld belangrijk gevonden door vervolgonderwijs, ouders en inspectie? Er kunnen pas veranderingen in het onderwijs worden verwacht wanneer er een breed draagvlak voor is.

De vraag die centraal staat in deze studie is dan ook hoe de *21st century skills* een betere inbedding kunnen krijgen in het funderend onderwijs. Uitdagingen liggen in elk geval op vier terreinen.

1 Bewustzijn vergroten

Er is een *maatschappelijk debat* nodig over het belang van de *21st century skills*. Beleidsmakers, (onderwijs)deskundigen, leraren, leerlingen en ouders moeten zich bewust worden van de noodzaak van deze vaardigheden. Daarnaast moet de impact van de generieke vaardigheden op de huidige doelen, werkvormen en beoordelingsinstrumenten in het onderwijs worden doordacht.

De sleutelrol van docenten en schoolleiders bij de implementatie van curriculuminnovaties is algemeen erkend. Attitudes, overtuigingen, vaardigheden en routines van docenten zijn bepalende factoren in de realisatie van veranderingen in onderwijzen en leren. Het is dus nodig dat schoolleiders en docenten het belang van *21st century skills* gaan inzien. Scholen bevinden zich echter niet op een eiland, maar worden beïnvloed door maatschappelijke verwachtingen van de school. Het debat zal dus mede buiten het onderwijs moeten worden gevoerd, zodat er een breed draagvlak voor het belang van deze vaardigheden kan ontstaan. Naast een breed debat is het noodzakelijk om na te gaan hoe de *21st century skills* tot uitdrukking kunnen komen in landelijke eindtermen en toetsen. Pas wanneer de *21st century skills* een herkenbare plaats krijgen in eindtermen en toetsen die ertoe doen in het onderwijs, is er een kans dat scholen aandacht zullen geven aan deze vaardigheden.

2 Informeren en enthousiasmeren

Betrokkenen in scholen, zoals schoolleiding, docenten, ouders en leerlingen, zouden in staat moeten worden gesteld om kennis te nemen van goede praktijkvoorbeelden en die kennis te delen in kennisgemeenschappen. Er zijn initiatieven nodig om betrokkenen te *informeren en enthousiasmeren* - daarvoor is een integraal curriculumraamwerk met voorbeelduitwerkingen nodig.

Het is niet realistisch om van scholen te verwachten dat zij de *21st century skills* van het ene op het andere moment kunnen integreren in het curriculum. Het is meer realistisch dat

scholen die het onderwijs willen afstemmen op de informatiemaatschappij een *procesbenadering* volgen. “Daarbij past een werkwijze van stap voor stap nieuwe elementen in het curriculum te introduceren en nieuwe didactische werkwijzen te beproeven, waarvan het onderwijsteam overtuigd is dat ze bijdragen aan de bekwaamheden die leerlingen in een informatiemaatschappij nodig hebben.” (Ten Brummelhuis & Plomp, 2007, p. 5). Dit proces kan worden ondersteund door het faciliteren van kleinschalige projecten en het stimuleren van samenwerking en netwerken, die zorgvuldig worden geëvalueerd en waar nodig worden bijgesteld opdat er goed onderbouwde, dat wil zeggen *evidence-based* voorbeelden komen. Ontwerponderzoek kan hierbij een geschikte onderzoeksbenadering zijn (zie Plomp & Nieveen, 2009).

3 Vanuit bestaande curricula nadenken over versterking van 21st century skills

De modellen die Voogt en Pareja Roblin (2010) vergelijken, doen in de meeste gevallen geen uitspraken over de wijze waarop de nieuwe vaardigheden kunnen worden geïmplementeerd in het onderwijs. Er lijkt wel een voorkeur te bestaan voor het integreren van de nieuwe vaardigheden in bestaande curricula. De vaardigheden kunnen gedeeltelijk worden uitgewerkt in *nieuwe vakken* of als *nieuwe inhoud* binnen bestaande vakken. Ook achten sommigen de optie om de vaardigheden *vakoverstijgend* te integreren en nadruk te leggen op de verwerving van bredere, generieke vaardigheden kansrijk.

Scardamalia, Bransford, Kozma en Quellmalz (2010) wijzen erop dat het nastreven van doelen op het gebied van *21st century skills*, niet alleen een kwestie moet zijn van het formuleren van doelen en subdoelen en het uitstippelen van een route om deze doelen te bereiken. Een dergelijke strategie, die zij aanduiden met *working backward from goals* is vooral bruikbaar en effectief bij ‘harde’ *skills* (bijvoorbeeld de vaardigheid om een algebraïsche bewerking uit te voeren) en wanneer doelen vooraf helder zijn. Wanneer het gaat om *soft skills*, met minder vastomlijnde doelen met een meer subjectief karakter, is een *emergence approach* geschikter. Deze aanpak maakt het mogelijk om gaandeweg op het spoor te komen hoe nieuwe doelen in het onderwijs kunnen worden gerealiseerd.

“An emergence approach, when closely tied to educational experimentation, allows for the identification of new goals based on the discovered capabilities of learners. The observation that, in advance of any instruction in rational numbers, children possess an intuitive grasp of proportionality in some contexts, led to formulation of a new goal (rational number sense) and development of a new teaching approach that reversed the traditional sequence of topics.” (Moss, 2005, in Scardamalia, Bransford, Kozma & Quellmalz, 2010).

4 Betekenisvolle contexten, didactische benaderingen en werkvormen

Nieuwe vaardigheden vragen niet alleen om een herbezinning op de doelen en inhoud van het onderwijs, maar ook om reflectie op andere curriculumaspecten zoals de organisatie, de plaats van leren, beoordelingswijzen, didactiek, het gebruik van contexten en werkvormen.

Voogt en Pareja Roblin (2010) stellen dat de integratie van *21st century skills* belangrijke veranderingen binnen het curriculum en de schoolcultuur met zich mee zal brengen. Het vraagt om een interdisciplinaire visie die verder gaat dan de traditionele scheiding tussen vakken. Om dit te kunnen bereiken zullen volgens hen nieuwe didactische benaderingen, een samenwerkingscultuur en structuren voor kennisdeling op schoolniveau moeten worden ontwikkeld. Probleemgestuurd leren, samenwerkend leren, onderzoekend leren en gebruik van formatieve beoordelingsprocessen kunnen volgens deze auteurs bijdragen aan de verwerving van *21st century skills*. Daarnaast kan het gebruik van ICT het leerproces en de beheersing van *21st century skills* bevorderen. Dede (2008) geeft aan dat het gebruik van Web 2.0 tools, zoals simulaties op basis van *Multi User Virtual Environments* (MUVEs), de samenwerking tussen lerenden bij het oplossen van problemen en het kritisch denken kan ondersteunen.

In het volgende hoofdstuk gaan we na of en zo ja, hoe de generieke *21st century skills* en specifieke reken-wiskunde *skills* aanwijsbaar zijn in hedendaagse beroepscontexten. Worden deze generieke vaardigheden herkend door werknemers en leidinggevenden in verschillende bedrijfssectoren? Welke reken-wiskundige kennis en vaardigheden worden door deze betrokkenen belangrijk gevonden? Ook onderzoekers in (bedrijfs)wiskunde en wiskunde didactiek en natuurkunde en natuurkundededidactiek geven aan wat (toekomstige) werknemers volgens hen zouden moeten kennen en kunnen.

3. 21st century skills in beroepspraktijken



3.1 Inleiding

Het vorige hoofdstuk betrof een verkenning van literatuur over generieke *21st century skills*. Er bestaat redelijke duidelijkheid over de globale kennis en vaardigheden, waarover toekomstige burgers/werknemers moeten beschikken om goed te kunnen functioneren in hun beroep en in de maatschappij. In dit hoofdstuk gaan we na of en zo ja, hoe deze competenties aanwijsbaar zijn in beroepscontexten. Wat moeten werknemers van de toekomst kunnen om daar goed te functioneren? Om hierop een antwoord te vinden, zijn in aanvulling op een literatuurstudie interviews gehouden met bedrijfsleiders, kenniscentra en werknemers uit die bedrijfssectoren waar veel veranderingen hebben plaatsgevonden onder invloed van de toenemende technologisering. Wat zijn volgens hen belangrijke vaardigheden om nu en in de toekomst goed te kunnen functioneren in beroepen, waarbij een mbo-achtergrond vereist is? Specifieker gaat het om de vraag welke reken-wiskundige kennis en vaardigheden belangrijk worden gevonden. Ook zijn interviews gehouden met onderzoekers op het gebied van rekenen-wiskunde, natuurwetenschappen en techniek.

Het hoofdstuk begint met het bespreken van een aantal belangrijke aandachtspunten die uit de literatuur naar voren komen, als een nadere concretisering van de in het vorige hoofdstuk besproken generieke vaardigheden, maar nu vanuit de beroepscontext. Deze aandachtspunten zijn een leidraad geweest voor de samenstelling van vragenlijsten voor de interviews. In een volgende paragraaf lichten we de selectie van branches en geïnterviewden toe, gevolgd door een samenvatting van de interviews met betrokkenen uit de geselecteerde branches. In de interviews komen vaak terloops belangrijke uitspraken naar voren over gewenste reken-wiskunde kennis en vaardigheden. Deze uitspraken zijn cursief gedrukt en komen in een volgende paragraaf nogmaals terug, maar dan gekoppeld aan de *21st century skills* en geordend naar reken-wiskundecategorieën. Tot slot worden enkele conclusies getrokken ten aanzien van belangrijke vaardigheden volgens bedrijven en kenniscentra die mensen in hun beroepen moeten beheersen. In een volgende paragraaf wordt verslag gedaan van de interviews met de onderzoekers, waarbij een koppeling wordt gelegd met relevante literatuur. Vervolgens worden enkele bevindingen van de Britse onderzoeksgroep van Hoyles en Noss beschreven omdat deze onderzoeksgroep - voorzover ons bekend als enige - zich specifiek richt op de vraag wat belangrijke reken-wiskundevaardigheden zijn van werknemers en hun ervaringen daarom zeer relevant zijn voor deze studie. In de slotparagraaf komen enkele conclusies naar aanleiding van de interviews met onderzoekers Hoyles, Noss, Kent en Bakker aan bod.

3.2 Benodigde kennis en vaardigheden voor de kennissamenleving

In de twee vorige hoofdstukken kwam al naar voren, dat technologische ontwikkelingen in combinatie met onder andere de globalisering en de vrijmarkteconomie leiden tot veranderingen in het bedrijfsleven.

De belangrijkste verandering in de laatste 25 jaar is de integratie van informatietechnologie, meestal in de vorm van computers en gecomputeriseerde machines in bedrijfsprocessen en beroepspraktijken. Informatie- en communicatietechnologie speelt op verschillende manieren een rol in het bedrijfsleven. Het kan menselijk handelen vervangen, maar ook aanvullen of informeren (Gravemeijer, 2007; Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010). In het bedrijfsleven is snel en efficiënt handelen doorgaans van groot belang, onder andere in verband met het handhaven van de concurrentiepositie. ICT kan leiden tot verhogen van de efficiëntie van de productie en tot het verbeteren van de kwaliteit van producten. Het steeds sneller ter beschikking hebben van informatie via ICT vraagt van bedrijven echter ook om continu alert te zijn op veranderingen en ontwikkelingen. In veel bedrijven moeten op alle niveaus snel beslissingen worden genomen, veelal op basis van abstracte informatie verkregen via grafieken of tabellen. Om dit te kunnen, moet de werknemer betekenis kunnen geven aan de waarden die in een grafiek of tabel staan weergegeven, zoals bijvoorbeeld gemiddelde, standaardafwijking, trends, en dergelijke. De uitwerking van het werk van een planner in een logistiek bedrijf in de volgende paragraaf is daar een sprekend voorbeeld van.

Diverse onderzoekers maken onderscheid in routinetaken en niet-routinetaken (Levy & Murnane, 2003; Gravemeijer 2007, 2009). Routinetaken zijn op te delen in stappen en kunnen zonder veel variatie herhaald worden. Levy en Murnane noemen een taak een routine als die expliciet geformuleerde regels volgt die geprogrammeerd kunnen worden, met andere woorden door een machine kan worden uitgevoerd. Zij wijzen erop dat routinetaken in beroepen steeds vaker worden overgenomen door computers of uitbesteed aan lagelonenlanden. Steeds meer van deze routinematige beroepen zullen dan ook verdwijnen uit de westerse economie en de aard van de beroepen die blijven, zal veranderen. Dit leidt echter niet noodzakelijkerwijs tot minder, maar tot andere benodigde kennis bij de werknemer. Immers, in plaats van het gespecialiseerde handwerk van vroeger, moeten werknemers van nu in staat zijn om apparatuur te bedienen en te controleren, om zo het productieproces op gang te kunnen houden. Hiervoor is juist een abstracter vaardigheidsniveau vereist dan voorheen (Gravemeijer, 2007; Van der Kooij, 2010). Tegelijkertijd krijgt de werknemer door de toenemende automatisering te maken met grote informatiestromen die hij moet kunnen analyseren en interpreteren.

Deze ontwikkelingen leiden er toe dat niet-routinetaken als flexibiliteit, creativiteit, probleemoplosvaardigheden en complexe communicatievragen steeds belangrijker worden op alle niveaus in het bedrijfsleven (Gravemeijer, 2007). Juist dat zijn de vaardigheden die in

het vorige hoofdstuk zijn benoemd als *21st century skills*.

Diverse onderzoekers wijzen op een discrepantie die dreigt te ontstaan tussen wat toekomstige werknemers kunnen en wat de werkvloer vraagt aan vaardigheden, als het onderwijs niet mee verandert (Hoyles & Noss, 2006, Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010, Rosen, Weil en Zastrow, 2003). Volgens deze onderzoekers bereidt het onderwijs de leerlingen te weinig voor op de ontwikkelingen in en het dynamische karakter van hun toekomstige beroepen.

Van veel apparaten en software die we dagelijks gebruiken weten we niet of nauwelijks hoe ze werken, we weten alleen hoe we ze moeten gebruiken. Voorbeelden hiervan zijn de elektronica die ons omringt en de websites die we dagelijks bezoeken. Dit geldt in de regel voor producten die in grote hoeveelheden worden gemaakt en waarbij de wijze waarop ze worden gebruikt vastligt en gedocumenteerd is. Dit worden de zogenaamde *black boxes* genoemd. In diverse onderzoeken duikt de vraag op of de werknemer alleen maar in staat hoeft te zijn een apparaat te bedienen en te controleren of dat hij ook enig inzicht moet hebben in de werking van het apparaat, dus van de *black boxes* (Van der Kooij, 2010; Gravemeijer 2007, 2009). Vaak zijn werknemers van nu weliswaar in staat de juiste handelingen uit te voeren, maar blijken zij niet te weten wat te doen wanneer er iets mis gaat (Noss, 1997). Het is de vraag of het de taak van de wiskunde is, om lerenden *grey box experiences* te geven voor *a black box world* (Kennelly, 2000). Een andere optie is 'just in time onderwijs', dat wil zeggen dat de werknemer of leerling de benodigde kennis op doet op het moment dat het nodig is. Dat kan bijvoorbeeld zijn in het beroepsonderwijs, maar ook in de beroepsuitoefening. In de interviews met zowel de bedrijven en kenniscentra als de onderzoekers, is expliciet de vraag gesteld of men vindt dat werknemers¹⁸ inzicht in de *black box* moet hebben.

3.3 Wat moeten werknemers kennen en kunnen volgens kenniscentra en bedrijven?

Er zijn interviews gehouden met kenniscentra en met mensen uit enkele bedrijven (bijlage 2). Er zijn 23 kenniscentra in Nederland die meer of minder interessant zijn in verband met de centrale vraag van deze studie. In verband met de kleinschaligheid van deze studie, was het nodig een aantal branches te selecteren. Bij de selectie zijn twee criteria leidend geweest: 1) de toename van de hoeveelheid benodigde kennis van rekenen-wiskunde, en/of 2) de vraag of er inhoudelijke veranderingen hebben plaatsgevonden. Een branche moest steeds aan minimaal een van de twee criteria voldoen om geselecteerd te worden. Deze richtlijnen hebben geleid tot de keuze voor de volgende branches:

- mobiliteitsbranche (kenniscentrum en werkgever)
- grafische sector, communicatie en presentatie (kenniscentrum en werkgever)
- zorg, welzijn en sport (kenniscentrum, werkgever en docent)

¹⁸ Met werknemers bedoelen we beroepsbeoefenaren in brede zin; daar horen dus ook werkgevers bij.

- logistiek (werkgever)
- land- en tuinbouw, veehouderij (kenniscentrum)
- economisch-administratieve sector (kenniscentrum).

In totaal zijn er twaalf interviews gehouden, verdeeld over deze zes branches. Uit iedere branche zijn twee personen geïnterviewd, meestal een bedrijfsleider en een opleider of een hoofd van een kenniscentrum. De bevindingen uit de interviews kunnen beschouwd worden als illustraties vanuit de beroepspraktijk bij de vaardigheden die in hoofdstuk 2 op basis van literatuurstudie zijn beschreven.

Ten behoeve van de interviews zijn twee vragenlijsten gemaakt, een voor de bedrijven en een voor de kenniscentra (zie bijlagen 3a en 3 b). Een derde vragenlijst is ontwikkeld voor onderzoekers die zich bezighouden met rekenen-wiskunde of *sciences* in relatie tot technologie (bijlage 3c). In de vragenlijsten is stelselmatig gevraagd naar het belang van *21st century skills* als flexibiliteit en creativiteit, naar inzicht in de *black boxes* en naar veranderingen in benodigde kennis op het gebied van rekenen-wiskunde in de bedrijfstak. Hieronder worden de bevindingen uit de geselecteerde branches een voor een samengevat.

Mobiliteitsbranche

De mobiliteitsbranche omvat bedrijven die actief zijn met verkoop, verhuur, onderhoud en reparatie van personenauto's, caravans, vouwwagens en kampeerauto's, tweewielers (fietsen, scooters, motor- en bromfietsen) en aanhangwagens. Ook takel- en bergingsbedrijven, tankstations en autowasbedrijven behoren tot deze branche.

In de mobiliteitsbranche is een aantal ontwikkelingen gaande dat mogelijk leidt tot hogere eisen op het gebied van rekenen-wiskunde, techniek en natuurwetenschappen. Enkele voorbeelden zijn de opmars van alternatieve brandstoffen, efficiëntere verbrandingsmotoren en de ontwikkeling rond elektronische motortechniek. Dit heeft consequenties voor technische beroepen (de monteurs van zowel auto's als tweewielers) maar ook voor de niet-technische beroepen (bijvoorbeeld verkoop en bedrijfsmanagement).

De toename van het gebruik van elektronica, zowel in het bedrijf zelf als in de auto's is een van de grootste veranderingen van de laatste decennia. Een van de veranderingen in de laatste vijf jaar is bijvoorbeeld de levering van auto's met een *Intelligent Parking Assist* (IPA). Het betreft een systeem waarmee de auto zichzelf kan inparkeren (zie foto).



Intelligent Parking Assist. Bron: www.autowereld.com

Geïnterviewden uit de mobiliteitsbranche geven aan dat rekenen in de traditionele zin niet zo vaak nodig is. Wel moeten werknemers kunnen omgaan met getallen en kunnen *inschatten* of een getal reëel is, bijvoorbeeld bij meten of bij het lezen van een factuur. Daarnaast is het kunnen *lezen en interpreteren* van schema's en tabellen een belangrijke taak. Het is bijvoorbeeld noodzakelijk dat een werknemer kan aangeven of een waarneming aan gestelde normen voldoet.

Een voorbeeld: een monteur die moet kunnen garanderen dat een remschijf dik genoeg is, moet de remschijf kunnen opmeten en de waarde kunnen vergelijken met de toegestane norm. Op basis daarvan moet hij een advies kunnen geven.

Tot op zekere hoogte moet de werknemer wel creatief en flexibel kunnen omgaan met de informatie die hij krijgt. Elke auto bevat een computer die processen stuurt en bewaakt. De computer bevat ook alle informatie over wat er mis kan zijn met een auto. De computer wordt uitgelezen en levert een storingscode bestaande uit een letter en/of een cijfer op. Die storingscode geeft wel een richting aan waarin het mankement gezocht moet worden (bijvoorbeeld er is iets mis met het ontstekingsmechanisme van de cilinder), maar om achter de oorzaak te komen moet de werknemer *gegevens combineren*. Een monteur moet verschillende mogelijkheden in zijn hoofd hebben en door visuele controle (kijken of er iets zichtbaar kapot is), eventueel doormeten en combineren van gegevens uitzoeken waar het mankement zit.

Grafische sector

De grafische sector richt zich bijvoorbeeld op reclame, presentatie en communicatie.

In deze sector constateert men een verandering aan kennis en vaardigheden die in de opleiding moet worden verworven. Iemand uit de grafische bedrijfsvoering lichtte het als volgt toe: werknemers hebben niet meer zoveel 'vaste' kennis nodig omdat er veel andere *tools* voorhanden zijn, zoals computers met bijbehorende softwarepakketten. Het is belangrijker dat ze *flexibel* kunnen omgaan met deze tools en dat ze de kennis die zij hebben in verschillende situaties kunnen toepassen.

Een grafisch vormgever moet kunnen *omrekenen* en kunnen rekenen met *verhoudingen*. Bijvoorbeeld: de meeste animaties en plaatjes moeten worden aangeleverd in een verhouding van 3:4 (9:16) *pixels*. Als het basisplaatje de verhouding 1:1 (in cm) heeft moet de student snel kunnen schakelen/omrekenen van cm naar *pixels*. Tevens is het belangrijk dat studenten een aantal zaken gemakkelijk kunnen *combineren*. Puzzelen kan een goede oefening zijn om deze competentie te ontwikkelen en dit wordt op de opleiding toegepast.

Een grote verandering binnen de grafische wereld in de afgelopen tien jaar is de verschuiving van het aanleveren van informatie of producten met pen en papier, naar driedimensionale informatie (3D). Hiervoor is een goed *ruimtelijk inzicht* nodig. Een werknemer moet zich kunnen voorstellen hoe een tweedimensionale tekening (2D) er driedimensionaal (3D) zal uitzien en andersom. Bij het maken van bijvoorbeeld animaties moet hij zich kunnen voor-

stellen hoe een figuur eruitziet als je het draait, hij moet *vlakberekeningen* kunnen maken, *hoeken* kunnen berekenen en *aanzichten* kunnen doorgronden.

Andere competenties die belangrijker zijn geworden in de grafische sector zijn het kunnen omgaan met *grafieken en vectoren* en het kunnen *plannen* en verfijnen van stappen in een proces.

Uit een gesprek met een kenniscentrum bleek dat ook binnen de grafische sector *maatvoering* van groot belang is. Vooral voor het relatief nieuwe beroep *signmaker* is kunnen meten erg belangrijk. Een *signmaker* houdt zich bijvoorbeeld bezig met het maken van reclameaffiches, posters, naam bordjes in de trein, en dergelijke. Dat beroep is sterk aan veranderingen onderhevig door de grotere technische mogelijkheden.

Zorg en Welzijn

Deze sector omvat de gezondheidszorg en de wijze waarop zorg geleverd wordt en betreft beroepen als verpleegkundigen, tandartsassistentes, sportcoaches, opticiens en audiciens. Net als de vorige beschreven branches ondergaat ook de gezondheidszorg ingrijpende veranderingen. De belangrijkste redenen zijn de vergaande invoering van ICT en de toenemende marktwerking. Een andere belangrijke maatschappelijke trend die op andere sectoren een grote invloed heeft, globalisering, heeft op de zorg nog een relatief bescheiden impact. Wel zien we dat fysieke nabijheid ook in de zorg een steeds minder belangrijke rol gaat spelen (wat blijkt uit ontwikkelingen als *telemedicine* of *e-mental health*, waar cliënten *online* therapie volgen).

Uit de interviews komt sterk naar voren dat het ambacht (werken met de handen) steeds meer verdwijnt en computers het werk overnemen. Een voorbeeld van een beroep waarin hoge eisen worden gesteld aan vakmanschap is de audicien die mensen helpt die niet goed kunnen horen. Hij moet gehoortesten kunnen afnemen en de klant een gehoortoestel of ander hulpmiddel op maat kunnen aanmeten.

Audiciens hoeven, onder andere door de toenemende computerisering van de hoortoestellen, niet vaak ingewikkelde berekeningen te maken. De huidige toestellen worden aangepast met behulp van computerprogramma's. Deze programma's berekenen in grote mate zelf hoe het hoortoestel moet worden ingesteld.

Vrijwel alle aanpasprogramma's bevatten een wizard waarin de problemen van de klant kunnen worden ingevoerd. Vervolgens geeft het programma aan wat er dient te worden aangepast. De trend lijkt te zijn dat er steeds minder directe kennis vereist is om hoortoestellen te kunnen aanpassen. Zonder enige kennis van de materie is, met hulp van alle in aanpasprogramma's ingebouwde kennis, toch wel een redelijk resultaat te verkrijgen. De aanpasprogramma's geven aan wat de audicien moet doen.

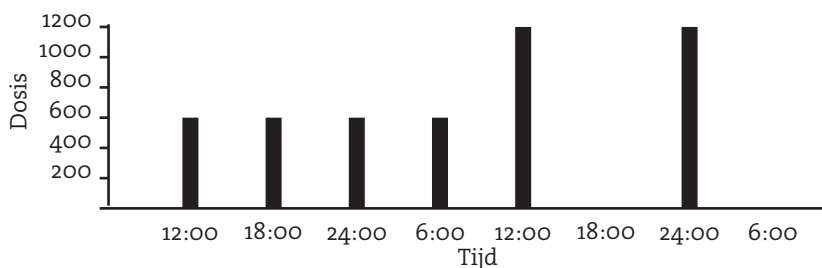
Het instellen van hoortoestellen is al heel lang een technische bezigheid die veel inzicht vereist. Nieuwe toestellen en nieuwe meettechnieken, zoals bijvoorbeeld *Visual Speech*

Mapping, lijken het wellicht makkelijker te maken. Echter, adequaat gebruik van de software vereist juist nog meer inzicht, aldus een geïnterviewde.

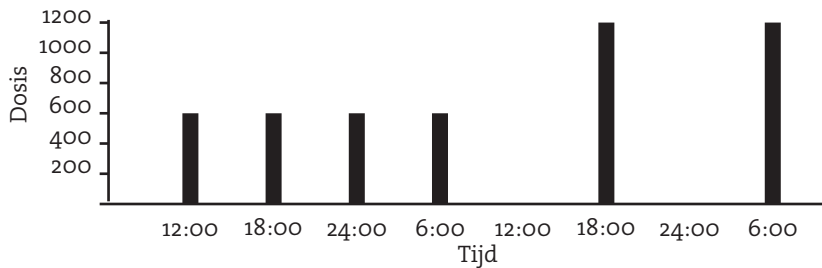
Volgens een respondent is “aanleg voor wiskunde wel de basiskwaliteit die het mogelijk maakt om elektronische schakelingen (niet in detail) te kunnen doorgronden, om blok-schematisch te kunnen denken, om stapsgewijs fouten te kunnen zoeken, om grafieken te begrijpen en interpreteren en op grond daarvan een andere beslissing te kunnen nemen”. Zo lijkt er relatief weinig kennis nodig voor de toepassing van *tools*, maar relatief veel voor het begrijpen, analyseren en beslissen op basis van bevindingen.

Een belangrijk gevolg van de invoering van ICT is dat de zorg steeds meetbaarder wordt. Dit geldt zowel voor de zorg zelf als voor de organisatie ervan. Voor de zorg zelf uit zich dit bijvoorbeeld in *evidence-based medicine*, waarbij een arts zich in zijn of haar beslissingen steeds minder baseert op ervaring en steeds meer op statistisch bewijs. In de organisatie van de zorg vinden we de gevolgen bijvoorbeeld terug in websites waarop wachttijden voor behandelingen vermeld staan, uitgesplitst per instelling (zie bijvoorbeeld <http://www.kiesbeter.nl/algemeen>). De relatie met marktwerking is evident: instellingen die geen kwalitatief hoogwaardige, klantvriendelijke zorg aanbieden riskeren een lager aantal patiënten en uiteindelijk verlies van autonomie of faillissement.

Noss (in Gravemeijer, 2009) geeft een voorbeeld van een probleem, waar verpleegkundigen mee geconfronteerd worden als een arts de voorgeschreven dosis van een antibioticum verandert van 4 keer per dag 600 mg naar 2 keer per dag 1200 mg. Te weinig van het antibioticum in het bloed betekent dat het medicijn zijn werk niet kan doen, te veel kan doofheid tot gevolg hebben. Vraag: wanneer moet je met de nieuwe dosering beginnen? Hoe lang moet je wachten na het toedienen van de laatste lage dosis, voor je die nieuwe, hoge, dosis kunt toedienen? Zes uur (figuur 1), of twaalf uur (figuur 2), of iets er tussenin?



Figuur 1: Snelle start met nieuwe dosering.



Figuur 2: Uitgestelde start nieuwe dosering.

Om hierover een uitspraak te kunnen doen, maken de verpleegkundigen gebruik van een (mathematisch) model van de situatie. Ze denken in termen van een grafiek die de hoogte van het medicijnniveau in het bloed beschrijft als functie van de tijd. Ze gebruiken dus (im- of expliciet) wiskundige middelen als getallen, grafieken, variabelen en functies om het probleem te modelleren. Voor het modelleren is reken-wiskundige kennis en inzicht nodig.

Logistiek

Binnen deze sector gaat het om bedrijven die de schakel zijn tussen producent en consument. In bedrijven met een logistieke functie heeft de planner een belangrijke rol. Dit is degene die de capaciteitsplanning doet voor de volgende dag en week. De planner baseert zich op verwachtingen van een klant over het aantal producten dat hij denkt te verkopen en op de capaciteit van het bedrijf. Hij moet op basis van die gegevens berekenen hoe laat het leveringsproces moet starten, hoeveel tijd een onderdeel uit het proces zal kosten, hoeveel mensen en hoeveel uren er nodig zijn, wat de kosten zijn et cetera. De planner moet dus goed kunnen *anticiperen* en kunnen *inschatten* hoe lang iets duurt.

In de keten van producent tot consument is het *snel* en *efficiënt* kunnen werken een grotere verandering dan de inhoud. Het streven is dat een aanzienlijk percentage van de opdrachten (tot zelfs 99,98%) op tijd wordt verwerkt. Niet op tijd zijn, kan dramatische financiële gevolgen hebben. Als er ergens in de keten iets wordt aangepast, moet dat onmiddellijk worden doorberekend naar implicaties voor de rest van de keten. Een werknemer moet dan bijvoorbeeld niet alleen Excel kennen, maar er ook snel mee kunnen werken: een opdracht moet (bijvoorbeeld) binnen een uur klaar zijn en niet pas na drie dagen.

Naast de planner zijn er diverse andere belangrijke schakels in de keten, zoals de mensen die de dozen inpakken, heftruckwerkers, mensen die de etiketten en postzegels plakken en pakketten versturen, mensen die pallets laden en mensen die de vrachtwagens laden. Bij het laden van vrachtwagens is meetkundig inzicht belangrijk: hoe hoog moet je de dozen op de pallet stapelen? Hoeveel pallets passen in een vrachtwagen? Bij een andere maat pallet kunnen er meer of minder in de vrachtwagen. Ook moeten werknemers van te voren inschatten hoeveel pallets in de vrachtwagen kunnen. Dat gaat nog weleens mis. Bijvoor-

beeld: volgens de order moeten er twaalf pallets in de vrachtwagen, maar er passen er maar tien in en hoe ga je dat oplossen? De vrachtwagen moet dan weer helemaal leeggehaald worden, omdat de hele order van twaalf pallets in een keer uitgevoerd moet worden. Het komt ook wel voor dat werknemers dozen in de verkeerde vrachtwagen laden, met als gevolg dat de lading op de verkeerde plek terecht komt. Oorzaak: de pallet komt niet overeen met de informatie op papier. Ze moeten dus wel eerst controleren of de lading klopt met de nummers op de vrachtbrief.

Een andere belangrijke vaardigheid naast tijdsplannen is het *procentrekenen*. Leidinggeven-den moeten dat kunnen, maar kunnen het niet altijd. Het kunnen rekenen met procenten is een basale vaardigheid en ook daarvoor geldt dat de werknemer het snel en goed moet kunnen, om het productieproces geen vertraging te laten oplopen.

Bij logistiek werk is belangrijk dat de werknemer weet wat de impact van een actie is op degene die na hem in de keten komt. Als een label niet goed is geprint, waardoor de streep-jescode niet goed leesbaar is, dan kan de volgende schakel in de keten (bijvoorbeeld het transportbedrijf) het niet scannen en kan het pakket niet verstuurd worden. Het leggen van verbanden, en *oorzaak-gevolg* redeneringen kunnen opzetten is hier een overkoepelende vaardigheid.

Werknemers moeten conclusies trekken op basis van data en niet op basis van gevoel, aldus de geïnterviewde. Als uit verzamelde data bijvoorbeeld blijkt dat er altijd op maandagochtend iets mis gaat, moet je een goede data-analyse kunnen uitvoeren en op basis daarvan actie kunnen ondernemen. Het gaat dan dus om *data verzamelen, data analyseren* en *conclusies trekken*.

Verder moeten werknemers kunnen *redeneren met variabelen*. Ze moeten grafieken en tabellen kunnen maken, en daarbij ook kunnen beredeneren wanneer iets structureel is en wanneer niet: hoeveel data heb je nodig alvorens een uitspraak te kunnen doen? Van een dag? Een jaar? Tien jaar? Welke variabelen moet en kun je met elkaar in verband brengen en wanneer zegt het iets?

Land- en tuinbouw, veehouderij

Binnen deze sectoren hebben de grootste veranderingen plaatsgevonden in de tuinbouw. Met name in de kassen is veel techniek binnengebracht die de productie eenvoudiger en efficiënter maakt waardoor de kosten verminderen. Reden van veranderingen zijn optimalisatie van processen en verhogen van de productie.

Werknemers uit deze sector hebben steeds meer kennis nodig van energiebeheer, waterbeheer en pure techniek. Een voorbeeld hiervan vormen kassen waarbij energie steeds beter wordt opgeslagen in bijvoorbeeld zonnecellen of aardwarmte.

Net als binnen andere sectoren speelt ICT een grote rol bij de veranderingen. Zo is de landbouwer van nu steeds vaker de man achter de computer. Hij houdt bijvoorbeeld op de computer bij of de grond nat genoeg is en of er genoeg voedingsstoffen zijn. Via de computer houdt hij zicht op de input en de output en kan hij die optimaliseren. Ook in de melkveehouderij spelen de computer en geavanceerde technieken een steeds grotere rol. Bijvoorbeeld, koeien worden gemolken met behulp van een robot en op de computer wordt bijgehouden of alle koeien voldoende hebben gegeten, wat de opbrengst is, et cetera. Hoveniers houden zich bezig met het ontwerpen van tuinen en maken daarbij gebruik van computerprogramma's. Hoveniers krijgen veel met rekenen-wiskunde te maken. Ze moeten bijvoorbeeld uitrekenen hoeveel stenen en zand nodig zijn om een straatje te leggen en hoeveel dat gaat kosten.

Veel werknemers uit deze sectoren veranderen vaak van werkplek. Een werknemer moet dan de kennis die hij heeft opgedaan in het ene bedrijf flexibel kunnen inzetten in het andere bedrijf. In bepaalde branches wordt men hier goed voor toegerust, in andere minder. Het hebben van inzicht in *black boxes* is veel gevraagd binnen deze sector. In veel gevallen gaat het alleen om gebruik van machines, omdat het doorzien ervan te ingewikkeld is. Een beperkt deel van de opleiding van bijvoorbeeld een loonwerker wordt besteed aan techniek. Bijvoorbeeld bij startproblemen van een landbouwmachine moet een werknemer een onderzoekje kunnen doen om te kijken of hij het probleem kan oplossen.

Economisch-administratieve sector, ICT en beveiliging

Beroepen binnen de economisch-administratieve sector zijn bijvoorbeeld secretariael medewerkers, medewerkers in bank- en verzekeringswezen en juridisch medewerkers. In veel van deze beroepen komt rekenen-wiskunde impliciet naar voren, bijvoorbeeld bij het maken van offertes. Voor studenten in bank- en verzekeringswezen is steeds belangrijker dat zij inzicht ontwikkelen in (formuleringen van) producten. De ICT-er moet ook inzicht hebben in wat er binnen een softwareprogramma gebeurt aan reken-wiskundehandelingen (*black box*). Verder wijst de geïnterviewde op het toenemende belang van communicatieve vaardigheden, zoals het kunnen toelichten van producten aan cliënten en het kunnen verantwoorden van handelingen (bijvoorbeeld bij het opstellen van begrotingen). Dit laatste is onder andere het gevolg van automatisering die rekenkundige handelingen ten dele overneemt. Anderzijds is sinds 3-4 jaar de Wet op het Financieel Toezicht operationeel, waardoor de nadruk op rekenkundige handelingen is toegenomen omdat die in certificaten zijn opgenomen.

Bij de secretariële opleidingen is een verschuiving gaande naar meer zelfstandigheid in de werkzaamheden. Secretaresses krijgen meer dan voorheen te maken met bijvoorbeeld het *bewaken van budgetten* en *prijs/kwaliteitverhoudingen*. Bij informatiebeheer wordt de aandacht voor rekenen-wiskunde minder, omdat het ordenen steeds meer gedigitaliseerd plaatsvindt.

Bij beveiligingsopleidingen is een verschuiving gaande van de realiteit (zoals surveilleren in een auto) naar het *aflezen en interpreteren van informatie* die via beeldschermen wordt verkregen en het kunnen koppelen van die gegevens aan de realiteit.

De tendens is binnen deze sector van puur handmatige activiteiten verschoven naar kennis over software waarmee wordt gewerkt en uitleg aan collega's en cliënten.

3.4 Enkele conclusies uit de interviews met kenniscentra en bedrijfsleven

De geïnterviewden uit de bedrijven en de kenniscentra geven een aantal belangrijke reken-wiskundeinhouden aan, waarvan zij vinden dat werknemers er kennis van moeten hebben. De informatie uit de interviews wordt in deze paragraaf geordend naar drie hoofdpunten die in de vorige paragraaf zijn genoemd, namelijk de *21st century skills*, inzicht in *black boxes* en benodigde reken-wiskundevaardigheden.

Generieke *21st century skills*

In hoofdstuk 2 zijn de volgende categorieën voor de *21st century skills* gedefinieerd:

- A Manieren van denken: creatief en innovatief denken, kritisch denken, probleemoplossend denken, beslissingen nemen, leren leren (metacognitie).
- B Manieren van werken: communiceren, samenwerken (teamwerk).
- C Instrumenten: informatievaardigheden, ICT-vaardigheden.
- D Burgerschap: leven en werken, persoonlijke en sociale verantwoordelijkheid.

In de interviews kwamen van deze generieke competenties vooral de categorieën

A. Manieren van denken, B. Manieren van werken en C. Instrumenten naar voren. Over burgerschap zijn geen opmerkingen gemaakt die voor dit rapport van belang zijn.

A Manieren van denken

De meeste sectoren geven aan dat creativiteit en flexibiliteit tot op zekere hoogte van belang zijn om het beroep te kunnen uitoefenen. Voorbeelden die daarbij werden genoemd, zijn over het algemeen vrij indirect. Zo werd bijvoorbeeld gesteld dat een werknemer moet weten wat hij moet doen als er iets mis gaat (*damage control*), wat impliceert dat hij daarvoor het probleem kan analyseren, gegevens kan combineren en op basis daarvan tot een verantwoorde beslissing kan komen. Apparaten helpen hier niet, zij geven wel aan dat er iets mis is, maar niet wat. Zeker in de mobiliteitsbranche komt dit aspect naar voren.

Het nemen van verantwoorde beslissingen komt op alle niveaus voor, van de heftruckwerker tot de bedrijfsleider. Toch geven de geïnterviewden ook duidelijk aan dat - als een werknemer tegen een probleem aan loopt dat hij niet weet op te lossen - hij naar iemand in

het bedrijf moet gaan die de benodigde kennis wel heeft. Argument hiervoor is dat het vaak sneller en efficiënter is om iemand anders te vragen, dan om het zelf op te lossen. Kritisch kunnen denken is vaak genoemd binnen de context van het kunnen inschatten of getallen op een computeruitdraai kloppen of niet. Dit raakt aan de specifieke reken-wiskundevaardigheden waar we later op in zullen gaan.

B Manieren van werken

Opvallend is dat een groot deel van de geïnterviewden communicatie met en tussen verschillende werknemers in het bedrijf noemde als een belangrijke competentie, zonder dat daar expliciet naar gevraagd is. Met name de communicatie tussen verschillende afdelingen binnen hetzelfde bedrijf (bijvoorbeeld de grafisch medewerker met de ICT-er) lijkt voor verbetering vatbaar. Daarnaast vindt men goed kunnen communiceren van belang in het contact met klanten en voor de beeldvorming naar de buitenwereld.

De vraag wat nu precies de invloed van de technologisering is op benodigde kennis en vaardigheden vond men doorgaans lastig te beantwoorden. Wel constateert men dat door technologisering het productieproces versnelt, wat efficiënter werken mogelijk of zelfs noodzakelijk maakt. Belangrijk in dit verband is de opmerking uit de logistieke sector dat werknemers niet alleen moet kunnen omgaan met databases, maar er ook snel mee moeten kunnen werken. Belangrijke drijfveer is hier het handhaven van de concurrentiepositie.

C Instrumenten

Het kunnen omgaan met softwarepakketten en databases kwam als vanzelfsprekend aan bod in de meeste interviews, maar specifiek in de grafische sector. Het volgen van trends in nieuwe software maakt deel uit van het dagelijks werk binnen die branche, naast het maken van ontwerpen met de software. Nieuwe software maakt andere ontwerpen mogelijk, maar vervangt soms ook het maken van ontwerpen op de werktafel. Binnen deze sector geeft men ook aan dat het flexibel kunnen omgaan met de *tools* en het in verschillende situaties kunnen toepassen ervan belangrijk is.

Ook binnen andere bedrijfstakken moeten werknemers kunnen inschatten of en waar softwarepakketten bruikbaar zijn binnen het bedrijf. Zeker in de economisch-administratieve sector is een sterke toename naar kennis over software waarneembaar. Belangrijker nog dan het kennen van de pakketten is het snel en efficiënt ermee kunnen werken.

In tabel 3 staan de *21st century skills* nog eens op een rij.

Tabel 3: *21st century skills* gekoppeld aan door bedrijven en kenniscentra genoemde vaardigheden.

Generieke <i>21st century skills</i> (categorie)	Genoemd door bedrijven en kenniscentra
<p>A Manieren van denken</p> <p>1 Creatief en innovatief denken</p> <p>2 Kritisch denken, probleem oplosvaardigheden, beslissingen nemen</p> <p>3 Leren leren (metacognitie)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Creatief en flexibel omgaan met informatie • Analytisch denken, leren leren. • Beslissingen nemen op basis van informatie • Plannen; anticiperen; inschatten van tijdsduur • Probleem analyseren, - interpreteren, - oplossen
<p>B Manieren van werken</p> <p>4 Communiceren</p> <p>5 Samenwerken</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Communiceren (verantwoorden van handelingen aan klanten; overleggen met collega's; taal) • Snel en efficiënt werken • Zelfstandig werken
<p>C Instrumenten</p> <p>6 Informatievaardigheden</p> <p>7 ICT-vaardigheden</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Inzicht in de werking van een apparaat • Omgaan met databaseprogramma's • Kennis hebben van softwarepakketten • Inleiding tot elektrotechniek/elektronica

Inzicht in *black boxes*

Bij het werken met gecomputeriseerde machines is de vraag in hoeverre de werknemer inzicht moet hebben in de interne werking van het systeem (inzicht in de *black boxes*) of vooral de uitkomsten die de machine genereert moet kunnen interpreteren.

De meeste geïnterviewden geven aan dat werknemers apparaten moeten kunnen bedienen, maar niet hoeven te weten hoe het apparaat werkt. Op het moment dat er iets mis dreigt te gaan, vraag je iemand anders (specifieke deskundige) om het probleem op te lossen. Bovendien hebben veel apparaten een programma dat aangeeft waar het probleem zit en wat er moet worden aangepast. Hierbij moet wel de kanttekening worden geplaatst dat de geïnterviewden zijn bevraagd op benodigde kennis en vaardigheden van medewerkers met een mbo-achtergrond (niveau 1 t/m 4). Van medewerkers van een hoger niveau kan wel inzicht in de *black box* verwacht worden. Door een aantal geïnterviewden is dit ook opgemerkt.

Reken-wiskundekennis en -vaardigheden

Uit de beschrijving van de *21st century skills* kwam al naar voren dat het kennen van software- en databasepakketten belangrijker is geworden dan voorheen. Daarnaast is door de geïnterviewden een groot aantal reken-wiskundevaardigheden genoemd die over het algemeen gaan in de richting van getalkennis en kritisch kunnen interpreteren van getallen, maatkennis, kennis van verhoudingen en data-analyse. Afhankelijk van het beroep ligt de nadruk op andere reken-wiskundekennis en -vaardigheden. In de meeste beroepen komt het werken met getallen op een natuurlijke manier naar voren. Vaak betreft het getallen binnen een meetcontext of een situatie, waarin de werknemer kennis van de orde van grootte van getallen moet hebben om kritisch te kunnen reflecteren. Kennis van getallen en maten, het kunnen denken in verhoudingen en het kunnen rekenen met maten zijn dus belangrijke vaardigheden.

Zeker het hebben van maatkennis kwam in vrijwel alle interviews naar voren als belangrijke vaardigheid. Daarbij denkt men niet alleen aan meten en meetgetallen, maar ook aan het kunnen rekenen met schaal. Het kunnen omzetten van 2D-informatie naar een 3D-product en andersom is in de grafische sector van groot belang.

Tot slot kwam het kunnen plannen expliciet in de logistieke sector naar voren.

In sommige beroepen is veel kennis nodig van statistiek, naast het systematisch kunnen denken en beschikken over een arsenaal aan schatstrategieën (Steen, 2003). Ook het kunnen doordenken van problemen, technische informatie kunnen interpreteren en presenteren, en kunnen omgaan met situaties waarin iets fout gaat, zijn belangrijke vaardigheden.

De gevolgen van de invoering van de computer en gecomputeriseerde machines in bedrijven heeft op verschillende manieren invloed op benodigde reken-wiskundige kennis en vaardigheden. Zo is de computer of een gecomputeriseerde machine vaak een middel dat de informatie verstrekt, bijvoorbeeld in de vorm van getallen of een grafiek. De werknemer moet daarna zelf de getallen of de grafiek nog interpreteren en conclusies trekken. Ook internet genereert veel informatie, maar de gebruiker moet kunnen selecteren welke informatie relevant is en welke niet of minder. Vaak is de computer ook ondersteunend, bijvoorbeeld bij het gebruik van sommige pakketten (zoals Excel) die het mogelijk maken om eenvoudig en snel zelf een grafiek te maken. Tot slot biedt de computer ook andere mogelijkheden dan voorheen. Denk aan de voorbeelden uit de grafische sector, waar de mogelijkheden van de nieuwste softwarepakketten van invloed zijn op nieuwe ontwerpen.

In de volgende paragraaf vatten we de interviews met onderzoekers op het terrein van reken-wiskundevaardigheden in beroepen samen.

3.5 Wat moeten werknemers kennen en kunnen volgens onderzoekers?

In de periode december 2009 tot en met februari 2010 zijn acht onderzoekers op het gebied van rekenen-wiskunde, natuurwetenschappen en techniek geïnterviewd. De interviews hadden een bredere focus dan alleen rekenen en wiskunde, onder andere vanwege de samenwerking met de Universiteit Eindhoven, waar een vergelijkbare verkenning naar benodigde kennis en vaardigheden in natuurwetenschappelijke- en technische beroepen werd uitgevoerd (Baartman & Gravemeijer, 2010). De samenvatting in deze paragraaf is vooral gericht op de resultaten met betrekking tot rekenen en wiskunde. In de verwerking van de interviews zijn waar mogelijk ook verwijzingen naar belangrijke recente publicaties opgenomen. De laatste publicatie van de Britse onderzoeksgroep van Hoyles, Noss, Kent & Bakker (2010) krijgt de meeste nadruk. Het betreft een van de weinige onderzoeksgroepen die systematisch onderzoek heeft gedaan naar rekenen-wiskunde op de werkplek. Een samenvatting van deze publicatie is als bijlage bij dit rapport opgenomen (bijlage 4). Veel van de ondervraagden noemen naast reken-wiskundevaardigheden ook generieke vaardigheden, zoals communiceren, ontwikkelen van een kritische houding en kunnen redeneren, als belangrijke competenties. Deze paragraaf begint daarom met door de onderzoekers genoemde generieke vaardigheden. Daarna volgen onderdelen over specifieke reken-wiskundevaardigheden en over uitspraken van de geïnterviewden over de *black box*. De paragraaf eindigt met de vraag of het huidige onderwijs volgens de onderzoekers voldoende aansluit bij de specifieke reken-wiskundevaardigheden die zij relevant vinden. Genoemde generieke en/of reken-wiskundevaardigheden staan cursief in de tekst. De grijs cursieve teksten zijn uitspraken van de onderzoekers, met daarachter informatie over de achtergrond van de geïnterviewde.

Welke generieke vaardigheden zijn belangrijk voor werknemers van de toekomst?

Enkele onderzoekers noemen het ontwikkelen van een *kritische houding* een belangrijke vaardigheid voor werknemers. Dit staat deels los van de inhoud en is ook belangrijk in andere vakken dan wiskunde en natuurwetenschappen. De manier van denken ('hoe zit dat dan', 'hoe kun je dit interpreteren', dat wil zeggen de manier van redeneren, de kern eruit halen) past op een natuurlijke wijze bij deze vakken, maar kan ook heel goed bij andere vakken worden gebruikt. Ook in beroepen gaat het om kritisch en grondig denken en om het blijven nadenken. De steeds snellere ontwikkelingen in de maatschappij vragen van beroepsbeoefenaren dat ze innovatief zijn, en daarmee dat ze kunnen meedenken en een kritische houding hebben. In dit verband zijn *wendbaarheid* en *flexibiliteit* belangrijke algemene vaardigheden voor de toekomst.

Een kritische houding is ook belangrijk voor het *herkennen van verbetermogelijkheden* in de contexten waarin de werknemers werken. Dit is nodig voor innovatie en ontwikkeling.

Veel innovatie is ook transfer: je moet weten wat er in andere gebieden speelt en kunnen inschatten of dit voor jouw context ook nuttig kan zijn. De belangrijkste technische vernieuwingen komen vaak uit een ander gebied. Hiervoor moet je wel enigszins begrijpen wat je allemaal kunt met techniek, natuurwetenschappen en wiskunde.

Een geïnterviewde noemt expliciet het kunnen *communiceren* van technici met klanten als belangrijke vaardigheid. Zo moeten technici bijvoorbeeld onduidelijke wensen van klanten kunnen omzetten in technische specificaties. Heel specifieke kennis is minder belangrijk geworden, want die veroudert snel en het gaat bij klantrelaties om meer dan puur technische kennis. Het probleem van de communicatie rond klantenwensen speelde bijvoorbeeld sterk bij Philips, waar duidelijke cultuurverschillen waren tussen de technici en de marketingafdeling. Deze communicatie-eisen vragen om een andere manier van denken. Ook technici moeten kunnen communiceren over een nieuw product.

“Denk bijvoorbeeld aan nanotechnologie. De maatschappij accepteert dat niet zomaar, er is een maatschappelijke discussie. Vanuit de universiteit moet je dan je onderzoek op zo’n manier kunnen presenteren dat mensen het niet klakkeloos aannemen, maar je moet het ook weer niet voorstellen als iets waar je bang voor moet zijn.” (Onderzoeker technology education)

Hoyles en Noss (2002) wijzen hier op de taak van de teamleider, als spil in het bedrijf op het gebied van communicatie. Zij maken onderscheid in verticale en horizontale communicatie. Bij verticale communicatie gaat het om het inlezen van data die bestemd zijn voor communicatie met managers en het uitlezen van informatie voor communicatie met operationeel personeel. Horizontale communicatie betreft het op eigen niveau met andere teamleiders kunnen communiceren. Teamleiders moeten data kunnen interpreteren en op basis daarvan kunnen handelen.

Volgens enkele onderzoekers kunnen kinderen al op jonge leeftijd bepaalde *redeneringen* opzetten. Juist in het primair onderwijs hebben leerlingen nog een zekere openheid om gewone dingen te problematiseren en kritische vragen te stellen. De praktische toepassing van rekenen-wiskunde, wetenschap en techniek zou al in het primair onderwijs kunnen beginnen.

“Starten vanuit een technische vraagstelling is daarbij heel legitiem. Kinderen vinden dat ook leuk: maak iets, bedenk iets, construeer iets. De uitdaging is een goede balans te vinden tussen aansluiting bij leeftijd en inhoud, met als rode draad de competenties die nodig zijn om goed toegerust verder te kunnen.” (Fysicus en onderzoeker in bètadidactiek)

Een groot deel van de geïnterviewde onderzoekers noemt het kunnen *modelleren* een belangrijke wiskundige vaardigheid. Een van hen ziet modelleren zelfs als centraal onderdeel van de wiskunde.

“In de wiskunde werk je met axioma’s en een zelf gecreëerde werkelijkheid waarin alle berekeningen en modellen in principe mogelijk zijn. Wel is het zo dat modelleren steeds moeilijker wordt als processen minder controleerbaar zijn. De wiskunde zelf is geheel controleerbaar, omdat het zich niet in de werkelijkheid afspeelt. In bijvoorbeeld de medische wereld of de psychologie is modelleren veel moeilijker. Dit is ook de reden dat deze wetenschappen evidence-based zijn (op basis van empirie bewijzen verzamelen) en niet model-based.” (Bedrijfswiskundige)

Modelleren is breed op te vatten, namelijk als het toepassen van formele kennis in allerlei situaties, of omgekeerd als het beschrijven van allerlei situaties in wiskundige of natuurkundige termen. Het proces van modelleren houdt ook in dat je de uitkomsten van je model terugvertaalt naar de werkelijkheid en op basis daarvan je eigen model kritisch beoordeelt en eventueel bijstelt.

Andere vaardigheden die veel raakvlakken hebben met modelleren en door vrijwel alle geïnterviewden worden genoemd, zijn *probleemherkenning*, *probleem analyseren* en *probleem definiëren*. Het gaat hierbij om echte problemen in een reële context.

Hieraan gekoppeld zijn *doel-middel* en *oorzaak-gevolg* relaties kunnen leggen belangrijke vaardigheden, aldus enkele geïnterviewden.

Hoeveel inzicht hebben werknemers nodig in *black boxes*?

De meeste onderzoekers vinden het belangrijk dat werknemers ten minste enig besef hebben van het concept *black box*. De mate waarin is afhankelijk van het niveau van de werknemer. Van een hbo-er wordt meer inzicht in een *black box* verwacht dan van een mbo-er.

“Mbo-ers hoeven vaak niet zoveel te weten van de black box. Bijvoorbeeld bij lab-techniek wordt alles gecontroleerd door een hbo-er en als er problemen zijn, dan komen die ook automatisch bij een hbo-er terecht.” (Wiskundedidacticus)

Maar ook mbo-ers moeten weten dat er in een machine bepaalde algoritmes zitten en dat een machine bijvoorbeeld een bepaalde afronding maakt. Anderen maken onderscheid tussen de ontwerper en de gebruiker. Voor de gebruiker is functionele kennis belangrijk, hij moet bijvoorbeeld weten wat hij moet doen als een bepaald lampje gaat branden. De ontwerper moet wel een idee hebben hoe de *black box* functioneert.

Een van de onderzoekers noemt als argument dat het leren van nieuwe vaardigheden

makkelijker is wanneer werknemers enig inzicht hebben in de natuurkunde of ICT achter de apparaten waarmee zij werken.

“Denk bijvoorbeeld aan echo-apparatuur, waarbij het handig is dat de laborant enige kennis heeft van de resoluties (bijvoorbeeld 2 cm of 2 mm). Als er dan iets heel nieuws komt, heeft hij daar ook meteen wat meer inzicht in, waardoor het een minder grote stap is om het nieuwe te leren. Voor elk niveau gaat het om het herkennen van basisbegrippen in praktische situaties, en juist dit is heel moeilijk.” (Fysicus en onderzoeker in bètadidactiek)

Dezelfde onderzoeker noemt in dit verband het belang van het ontwikkelen van een kritische houding, het kritisch zijn en blijven.

“Doordat ze steeds meer met apparaten werken, hebben mensen soms het idee dat ze steeds minder hoeven na te denken: ik moet op dit knopje kunnen drukken, dan moet ie het doen. Maar het zou veel beter zijn om steeds kritisch te blijven: oriënteren, informatie opzoeken, vragen stellen aan een deskundige. Hiervoor moet je wel het besef hebben dat er een probleem kan zijn en dat het dus handig is om even na te denken, zonder dat je diepgaande natuur- of scheikundige kennis nodig hebt.” (Fysicus en onderzoeker in bètadidactiek)

Een andere onderzoeker sluit zich hierbij aan en vraagt aandacht voor het ontwikkelen van een kritische houding en onafhankelijkheid.

“Als je meer wilt dan alleen exact uitvoeren wat de leiding zegt, maar daar ook zelf op een zinnige manier op wilt voortborduren, dan is meer kennis en begrip nodig.” (Natuurkunde-didacticus)

Veel (natuur)wetenschappelijke kennis zit steeds meer ‘verstopt’ in apparaten en hun programmatuur. Mensen kunnen bijvoorbeeld niet meer zelf hun cd-speler of auto repareren, terwijl dit vroeger in principe wel kon. Dit geldt ook voor de chemie. Je kunt bijvoorbeeld niet meer bij de drogist of de schilder allerlei chemische stoffen of ruwe grondstoffen kopen om zelf verf te maken. Nu is alles in standaardverpakkingen verkrijgbaar en is dus minder kennis over chemie nodig. Een onderzoeker is van mening dat burgers inzicht nodig hebben in de aard van de technologie.

“Ze moeten de waarde van de technologie kunnen beredeneren, denk aan oorzaak-gevolg, doel-middel en beslisvaardigheden om zelf conclusies te kunnen trekken, bijvoorbeeld over de vraag of ze een bepaald product wel of niet willen gebruiken. En als het is geïmplementeerd, gaat het om basisvaardigheden om ermee om te kunnen gaan.” (Onderzoeker technology education)

Misschien kunnen simulatiespellen ingezet worden om de *black boxes* meer *grey* te maken.

“Wellicht kun je met behulp van games bepaalde aspecten beter onder de knie krijgen dan in de praktijk zelf of vanuit de theorie. Er wordt meer op competentieniveau gekeken naar kennis en vaardigheden. De complexiteit wordt beoefend en gemeten, maar daaronder liggen natuurlijk allerlei deelvaardigheden/kennis.” (Onderwijskundige en wiskunde-didacticus)

Sluit het onderwijs voldoende aan op benodigde reken-wiskundekennis en -vaardigheden?

Diverse onderzoekers zijn van mening dat de onderwerpen die op school worden behandeld bij rekenen en wiskunde op zich wel goed zijn, maar zij zeggen tevens dat de invulling van de onderwerpen in een werksituatie wezenlijk anders is dan in een schoolse situatie. Bijvoorbeeld over het begrip als standaarddeviatie (SD) merkt een onderzoeker het volgende op:

“Op school leren leerlingen hoe ze de standaarddeviatie (SD) moeten uitrekenen met behulp van een formule. In de praktijk gaat het veel meer om een gevoel voor wat een correcte uitkomst is. Als een computer bijvoorbeeld een bepaalde SD als uitkomst geeft, moeten werknemers een idee hebben of dit een plausibele uitkomst is.” (Wiskundige)

Uit een onderzoek naar welke wiskundige domeinen het meest voorkomen in beroepen, kwam naar voren dat statistiek veel wordt gebruikt en algebra weinig (Bakker, Hoyles, Kent & Noss, 2006). Op school wordt juist het grootste deel van de tijd besteed aan algebra. Hier lijkt een discrepantie te zitten tussen wat het onderwijs aanbiedt en wat de werksituatie vraagt.

“Het is echter maar de vraag of dit slecht is. Het kan ook zo zijn dat leerlingen gewoon meer moeite hebben met algebra, waardoor er meer tijd nodig is om kennis en inzicht hierin te ontwikkelen.” (Wiskundige)

Het toenemende belang van het kwantitatief kunnen denken zou in het onderwijs tot uiting kunnen komen in meer aandacht voor het *gevoel voor getallen (number sense)*, het *betekenis geven aan getallen*, het *kunnen inschatten* of een bepaalde uitkomst waarschijnlijk is en het *leggen van relaties tussen getallen*. Ook zou er meer aandacht moeten zijn voor de *statistische kant* van rekenen-wiskunde en wel met name het *maken en lezen van tabellen en grafieken, toeval en variabiliteit*. Dit zijn dingen die nu niet duidelijk aan bod komen in het onderwijs en die al in het basisonderwijs een plaats kunnen krijgen.

Het modelleren zou in het onderwijs een grotere rol mogen spelen dan nu het geval is, met name voor leerlingen die een model niet vanzelf doorzien.

“Deze leerlingen zouden zelf het model moeten maken, omdat ze dan ook het proces doorzien en echt inzicht krijgen in hoe het model in elkaar zit.” (Bedrijfswiskundige)

Dit sluit goed aan op onderzoeken naar wiskunde op de werkplek, waaruit blijkt dat mensen alleen met bepaalde modellen kunnen werken als ze die ook zelf hebben gemaakt (Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010).

Specifiek wordt opgemerkt dat er in het onderwijs te weinig aandacht is voor (horizontaal) mathematiseren, waarbij een context wordt omgezet in een mathematisch model. Dat model moet, nadat berekeningen zijn gemaakt, weer terugvertaald worden naar de oorspronkelijke of een andere context. Zeker de ‘terugvertaalslag’ wordt veelal niet gemaakt, waardoor de leerlingen blijven hangen in contexten (Kuiper et al., 2011).

Alle onderzoekers zijn van mening dat er in het onderwijs te weinig aandacht is voor belangrijke vaardigheden als *probleemherkenning*, *probleem analyseren* en *probleem definiëren* en daaraan verwante vaardigheden als mathematiseren, redeneren en reflecteren, terwijl dit wel belangrijk wordt gevonden om kennis ook buiten de schoolse context toepasbaar te maken.

“Bijna altijd is op school het probleem al gegeven, wat de leerling vervolgens moet oplossen. Het is heel moeilijk om van een slecht gedefinieerde situatie zelf een probleem te maken.” (Natuurkunde-didacticus)

Ook de commissie Toekomst WiskundeOnderwijs (cTWO 2007, p.25) noemt het *analytisch denken*, *probleemoplossen*, *logisch redeneren* en *bewijzen* belangrijke denkactiviteiten binnen de wiskunde. In het onderwijs zouden leerlingen meer geconfronteerd moeten worden met echte contexten voorzien van reële problemen (zie ook OECD-PISA, 2009a en b). Wellicht wordt daarmee ook de vertaalslag naar de buitenschoolse situatie makkelijker.

Door leerlingen de gelegenheid te bieden vergelijkingen op verschillende manieren te leren oplossen, kan het onderwijs een bijdrage leveren aan flexibel leren omgaan met informatie. Een onderzoeker pleit voor een koppeling van algemene onderwerpen in het onderwijs aan het beroep.

“Parallel aan de projecten zijn inhoudelijke leerlijnen beschikbaar, waarin bijvoorbeeld formules worden besproken die de leerlingen weer nodig hebben in de projecten. Zo is er een directe koppeling tussen algemene dingen die je moeten leren en de toepassing daarvan.” (Wiskundige)

Een geïnterviewde wiskundige doet de suggestie het curriculum te organiseren vanuit belangrijke toepassingsgebieden van de wiskunde.

“Ga uit van de context en behandel de wiskunde die bijvoorbeeld komt kijken bij hypotheeken, pensioenen, spaarrente etcetera in plaats van het berekenen van percentages in sommen met een verschillende context.” (Wiskundige)

Invoering van *games* en simulaties in het onderwijs zou moeten leiden tot veranderingen in de vakdidactiek en de bijbehorende *tools*, aldus een geïnterviewde.

“De vaardigheden die onder competenties liggen blijven wel hetzelfde, maar omdat ze in een andere omgeving (bijvoorbeeld games) worden aangeboden leidt dit tot een andere didactiek.” (Wiskunde-didacticus)

Als het gaat om *tools*, dan worden allerlei deelstappen steeds vaker uitgewerkt door de *tool* in plaats van door de gebruiker. Daarom moeten leerlingen leren globaal kijken (grote plaatje in beeld krijgen), denken in termen van variabelen, causaliteit, et cetera.

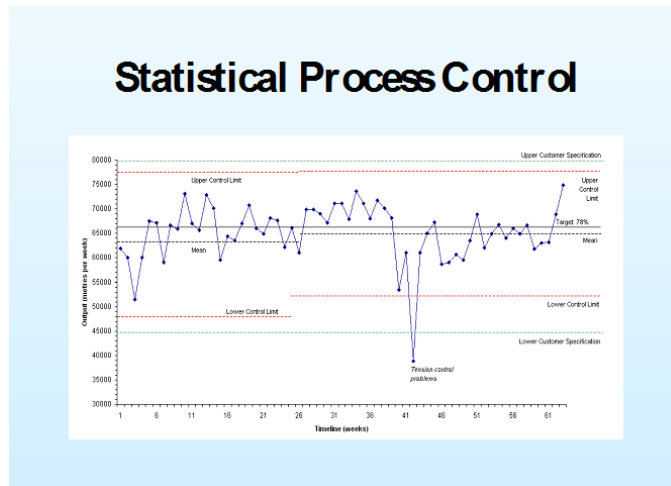
3.6 Onderzoek van Hoyles, Noss, Kent en Bakker

Een belangrijke aanvulling op het exploratieve onderzoek onder praktijkexperts op het gebied van de beroepen en onder onderzoekers op het gebied van wiskunde en wiskunde-onderwijs, wordt gevormd door het onderzoek van de Britse onderzoeksgroep van Hoyles en Noss. Vooral het rapport *Improving Mathematics at Work. The Need for Techno-Mathematical Literacies*, waarin de balans wordt opgemaakt van tien jaar onderzoek, is voor deze studie van betekenis (Hoyles, Noss, Kent, & Bakker, 2010; zie bijlage 4 voor een samenvatting). Deze onderzoekers waren in de gelegenheid om langdurig intensief onderzoek te doen op de werkvloer. Daardoor konden ze zogeheten *Techno-mathematical Literacies* (TmL's) in kaart brengen. Op de werkvloer is de wiskunde vaak verweven met de manier waarop er wordt gewerkt en de machines die daarbij worden gebruikt. Het is deze met de praktijk verweven wiskunde, die Hoyles en Noss aanduiden met de term *Techno-mathematical Literacies*. De onderzoekers constateren dat zich met name problemen voordoen rond het gebruik van symbolische representaties.

Artefacts comprising symbolic information in the form of numbers, tables and graphs were often understood by employees as 'pseudo-mathematics'; that is, as labels or pictures with little appreciation of any underlying mathematical relationships. Symbolic information thus failed to fulfil its intended role in facilitating communication across 'boundaries' between communities within and beyond the workplace. (Hoyles et al., 2010, 169)

Hoyles, Noss, Kent en Bakker hebben het niet alleen over de werknemers die het uitvoerende werk doen, maar spreken ook over de kennis en vaardigheden die hun managers of directe chefs nodig hebben. Tegelijkertijd laten ze zien dat de 'gewone' werknemers ook over de nodige TmL's moeten beschikken om hun werk te kunnen doen en om de informatie die managers geven of vragen te kunnen begrijpen. Een voorbeeld waarin dit tot uitdrukking komt vormt het gebruik van zogeheten *control charts* (figuur 4).

Figuur 4: Voorbeeld van control chart. (Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010)



Binnen een programma van statistische procescontrole worden statistische data verzameld om ervoor te zorgen dat productieprocessen zo efficiënt mogelijk verlopen. De *control charts* spelen hier een centrale rol. Een probleem is echter dat de werknemers daar in de praktijk niet goed mee omgaan. Voorbeelden van verkeerd gebruik van de *control charts* zijn:

- mechanisch gebruik van *control charts*;
- verkeerde interpretaties;
- te snel reageren op afwijkingen, wat het soms erger maakt;
- niet opmerken van trends.

Hoyles, Noss, Kent en Bakker geven een sprekend voorbeeld van wat het gevolg kan zijn van het niet opmerken van trends:

“We had a very expensive example where an operator didn't spot a trend. We have 40 positions for capsule filling, and for 4 hours one of those positions was creeping more and more out of control. After 4 hours and 10 minutes the damn thing fell apart, which cost £8,000 and took the machine out of service for 24 hours.”

Een kernelement van de TmL's, die Hoyles, Noss, Kent en Bakker in hun onderzoeken hebben aangetroffen, vormt het werken met dergelijke symbolische representaties. Zij constateren bovendien dat het van belang is dat werknemers op de hoogte zijn van de modellen, waarop de computersystemen die ze gebruiken gebaseerd zijn. Onder modellen verstaan zij in dit verband systematische beschrijvingen van relaties tussen input, output en regelmechanismen. Om data een rol te kunnen laten spelen in management, moeten uitvoerders en chefs

data kunnen interpreteren en daarover kunnen communiceren. De onderzoekers verwijzen naar Reich (1992) die spreekt van *symbolic analysts* en degenen die resultaten van *symbolic analysts* consumeren. Meer specifiek gaat het bij symbolische informatie om getallen, tabellen, grafieken en hun onderliggende mathematische betekenis. Het laatste impliceert ook technisch onderlegd inzicht van producten en processen. Op basis hiervan komen zij tot een lijst van reken-wiskunde-inhouds die van belang zijn voor werk en beroep:

- begrijpen van systematisch meten, verzamelen van gegevens;
- kunnen lezen, interpreteren en visualiseren van gegevens;
- identificeren van sleutelvariabelen;
- begrijpen van effecten van veranderingen in sleutelvariabelen;
- verdelingen, gemiddelde en spreiding.

3.7 Enkele conclusies naar aanleiding van de interviews met onderzoekers en onderzoek van Hoyles, Noss, Kent en Bakker

De onderzoekers komen tot een groot aantal voorbeelden van belangrijke kennis en vaardigheden op het terrein van rekenen en wiskunde in beroepen. In het oog springend daarbij zijn het kunnen kwantificeren en het kunnen modelleren. Net als de mensen uit het bedrijfsleven geven de onderzoekers aan dat het kwantificeerbaar maken van grote hoeveelheden data, al dan niet grafisch weergegeven, een belangrijke vaardigheid is in de beroepsuitoefening. Ook Hoyles, Noss, Kent en Bakker wijzen hier op.

Daarnaast worden het mathematiseren, probleem formuleren, - analyseren en - oplossen vaak genoemd door onderzoekers. Het flexibel kunnen omgaan met informatie komt daarbij als vanzelfsprekend naar voren. Diverse geïnterviewde onderzoekers vinden dat hier in het onderwijs al vroeg aandacht aan besteed zou moeten worden. Werknemers blijken in de uitoefening van hun beroep een probleem vaak niet als een mathematisch probleem te herkennen. Wellicht is met het aanbieden van reële problemen binnen betekenisvolle contexten in het onderwijs een betere transfer mogelijk.

Onderzoekers vinden dat werknemers wel een idee moeten hebben van de werking van de *black box*, zeker als het gaat om beroepen die een hoger opleidingsniveau vereisen. Argumenten die zij hiervoor aanvoeren zijn niet alleen van inhoudelijke aard (bijvoorbeeld oorzaak-gevolgrelaties leggen), maar gaan ook in de richting van meer generieke vaardigheden, zoals het ontwikkelen van een kritische houding, onafhankelijkheid en creativiteit. Het onderzoek door de onderzoeksgroep van Hoyles, Noss, Kent en Bakker (2010) laat bovendien zien dat inzichten en vaardigheden, die te maken hebben met meten, (statistische) data, modellen, variabelen en symbolische representaties, van grote betekenis zijn in de beroepspraktijken die zij hebben onderzocht.

In het volgende hoofdstuk komen specifieke reken-wiskundevaardigheden van de 21e eeuw aan bod. Daarin worden ook opvattingen en richtlijnen van geïnterviewden uit dit hoofdstuk meegenomen.

4. Specifieke rekenwiskundevaardigheden voor de 21e eeuw



4.1 Inleiding

De snelle veranderingen in de samenleving, onder andere onder invloed van technologische ontwikkelingen, leiden onontkoombaar tot een herbezinning op de inhoud van het onderwijs. In hoofdstuk 2 zijn breed onderschreven generieke vaardigheden van de 21e eeuw beschreven aan de hand van het KSAVE-model. Dit model kent een ordening van generieke vaardigheden in vier categorieën: manieren van denken, manieren van werken, instrumenten en burgerschap. Bij elke vaardigheid is expliciet onderscheid gemaakt tussen kennis, vaardigheden en houdingen (*attitudes/values/ethics*). De indeling van het KSAVE-model lijkt breed te worden erkend. Over de manier waarop deze generieke vaardigheden in het onderwijs geïntegreerd kunnen worden, bestaat minder overeenstemming, hoewel wel wordt gepleit voor inbedding van de nieuwe vaardigheden in bestaande curricula.

In hoofdstuk 3 is gekeken naar reken-wiskundevaardigheden en generieke vaardigheden in de beroepscontext van met name werknemers met een mbo-opleiding. Op basis van literatuurstudie en interviews met belanghebbenden uit bedrijven en kenniscentra en met onderzoekers is specifiek gevraagd naar veranderingen op het gebied van benodigde reken-wiskundevaardigheden. Ook is verkend welke generieke vaardigheden een rol spelen op de werkvloer. In dit hoofdstuk staat de vraag centraal naar de betekenis van de veranderde kennissamenleving voor de inhoud van rekenen- en wiskunde in het funderend onderwijs, dat wil zeggen het basisonderwijs en de eerste leerjaren van het voortgezet onderwijs.

Kennis en vaardigheden op het gebied van rekenen en wiskunde blijven van groot belang. Dat blijkt zowel uit de interviews in verschillende beroepscontexten en met onderzoekers die in het vorige hoofdstuk zijn beschreven, als uit recent onderzoek (zie bijvoorbeeld Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010).

Om leerlingen voor te bereiden op hun rol en functioneren in de 21e eeuwse samenleving is echter meer expliciete aandacht voor de genoemde generieke vaardigheden in het onderwijs nodig dan nu het geval is. Probleemoplossend denken en effectief communiceren kunnen niet langer als bijproducten van het onderwijs worden beschouwd of als vaardigheden die alleen in het havo/vwo of in het vervolgonderwijs aan bod komen. Het zijn essentiële vaardigheden geworden voor alle leerlingen. Zij verdienen dus een grotere plaats in het funderend onderwijs. Dit impliceert beslist geen afname van aandacht voor basisvakken als rekenen-wiskunde, moedertaal, vreemde talen en andere vakken in de huidige curricula. Integendeel, de generieke vaardigheden zullen daar juist aan moeten worden gekoppeld en kunnen alleen dan betekenis krijgen.

Daarnaast kan men zich, op grond van de interviews maar ook vanuit het perspectief van de mondige burger, afvragen of er binnen het huidige reken- en wiskundeonderwijs een juiste balans is in aandacht voor de verschillende onderdelen die binnen rekenen-wiskunde kunnen worden onderscheiden. Is er bijvoorbeeld voldoende aandacht voor de in

verschillende beroepen belangrijk gevonden meetvaardigheid van leerlingen? Komen de onderdelen verhoudingen en verbanden voldoende uit de verf, bijvoorbeeld het begrijpen van rentepercentages op leningen of kortingen op telefonieabbonementen? Kunnen wij omgaan met gepresenteerde getallen, variabelen en verhoudingen in de media, zoals bijvoorbeeld het begrijpen van de afname van de visstand in de wereldzeeën? En is er wellicht tijdwinst te realiseren bij het onderwijs in bepaalde reken- of wiskundeonderdelen nu de computer hierbij ondersteuning kan bieden?

Voorgaande leidt tot een aantal uitdagingen voor het reken- en wiskundeonderwijs, zoals:

1. Hoe kunnen de in de vorige hoofdstukken genoemde essentiële generieke vaardigheden aan de orde komen binnen, respectievelijk vertaald worden naar rekenen-wiskunde in het basisonderwijs en in de onderbouw van het voortgezet onderwijs?
2. Welke reken- en wiskundeonderdelen in de huidige curricula behoeven extra of juist minder aandacht? Welke onderdelen behoeven aandacht op een andere manier? En zijn er onderdelen aan te wijzen die niet in de curricula zitten maar wel aandacht verdienen?

Bij een herbezinning op de inhoud van het reken-wiskundeonderwijs kunnen we onderscheid maken tussen de vraag welke doelen we nastreven (het 'wat' en 'waartoe') en de vraag 'hoe' de gestelde doelen te bereiken zijn. In deze verkenning ligt de nadruk op de 'wat en waartoe'-vraag en slechts zijdelings op de 'hoe'-vraag.

In de volgende paragraaf wordt eerst ingegaan op de invloed van toenemende technologisering op rekenen-wiskunde. Het gaat dan om rekenen en wiskunde in beroepen, in het maatschappelijk leven en binnen de schoolmuren. Daarna volgt een korte schets van de stand van zaken van de vakken rekenen en wiskunde in het funderend onderwijs, met een veelgebruikte en breed onderschreven indeling in domeinen en competenties. Het hoofdstuk eindigt met enkele conclusies over wat er zou moeten veranderen in het reken-wiskundeonderwijs, opdat het niet alleen zal bijdragen aan het verwerven van de gewenste nieuwe kennis en vaardigheden op dit domein, maar ook van generieke vaardigheden. Deze worden gevolgd door een aantal suggesties voor verschuivingen en accentueringen van reken- en wiskundeinhouden om tot een nieuwe balans te komen.

In het hoofdstuk zijn niet alleen belangrijke documenten zoals het referentiekader taal en rekenen van de Commissie Meijerink, het Assessment Framework van de OECD-PISA Expertgroep en literatuur van onder andere Hoyles, Noss, Kent & Bakker verwerkt, maar ook uitspraken uit interviews met onderzoekers op het gebied van rekenen-wiskunde en technologie. De interviews met de onderzoekers zijn eerder uitgebreid beschreven in hoofdstuk 3.

4.2 De invloed van technologie op benodigde reken-wiskundekennis en -vaardigheden

In het vorige hoofdstuk is uitvoerig aandacht besteed aan de invloed van technologie op benodigde reken- en wiskundevaardigheden in beroepen. In deze paragraaf worden de bevindingen uit hoofdstuk 3 geïnterpreteerd vanuit het perspectief van het vak rekenen-wiskunde. Technologische ontwikkelingen hebben echter ook invloed op ons functioneren als burger in een informatiemaatschappij. Daarom nemen we hier ook de vraag onder de loep welke rekenkennis en -vaardigheden een hedendaagse burger nodig heeft. Tot slot wordt gekeken in hoeverre technologische invloeden al in het onderwijs zijn doorgedrongen.

Benodigde reken- en wiskundekennis en -vaardigheden vanuit de beroepscontext

Veel wiskunde zit verborgen in volledig geïntegreerde systemen, zoals spreadsheets, automatische kassa's en geautomatiseerde productielijnen (Gravemeijer, 2007, Bakker, Hoyles, Kent, & Noss, 2006, Bakker in interview 2010). De mensen die deze systemen gebruiken, moeten dus beslissingen nemen op basis van verborgen wiskundige berekeningen. Computers functioneren als intermediair tussen de concrete werkelijkheid en de gebruiker. Levy en Murnane (2006, p.19) zeggen: *“Because of computerization, the use of abstract models now permeates many jobs and has turned many people into mathematics consumers”*. Gravemeijer (in voorbereiding) betoogt dat om goed over de inzet van een computer of een gecomputeriseerd systeem na te kunnen denken in elk geval inzicht nodig is op drie gebieden. Het is in de eerste plaats noodzakelijk om inzicht te hebben in hoe aspecten van de werkelijkheid zodanig gekwantificeerd kunnen worden dat ze voor de computer toegankelijk zijn. In de tweede plaats is inzicht nodig in de bewerkingen die op deze gegevens worden uitgevoerd. Dit vraagt om kennis van de werking van het type model en van de samenhang tussen variabelen die de basis voor computerberekeningen vormt. In de derde plaats is inzicht nodig in de wijze waarop de output geïnterpreteerd moet worden. Hoe interpreteer je standaardvormen voor het representeren van uitkomsten van computerberekeningen?

Black box

De vraag of een werknemer naast het kunnen bedienen van een apparaat ook inzicht moet hebben in de werking ervan, komt in verschillende onderzoeken naar voren (Van der Kooij, 2010, Kennelly 2008). In hoofdstuk 3 is het begrip *black box* geïntroduceerd en besproken in het licht van verschillende beroepscontexten. Het ontbreken van enig idee over de werking van de *black box* kan lastig zijn en zelfs desastreuze gevolgen hebben, zoals uit het voorbeeld van Kenelly (in Gravemeijer, 2008) blijkt.

“Een vliegtuigongeluk werd veroorzaakt door een fout bij het intypen van de coördinaten van het vertrekpunt. De computer maakt gebruik van een ingebouwde landkaart die ook hoogtegegevens bevat. De foute coördinaten maakten dat de computer van een verkeerde hoogte uitging, waardoor het vliegtuig met een veel te grote snelheid de grond raakte. Piloten zouden zich moeten realiseren hoe cruciaal de startcoördinaten zijn voor het goed functioneren van de automatische piloot.”

Soms kan software op verschillende manieren worden ingezet, zoals bij beslissingsondersteunende systemen (*decision support systems*): de *tool* geeft een eerste aanzet voor de beslissing, maar de gebruiker past deze zonedig aan gebruikmakend van zijn specifieke kennis van en ervaring met de context. Het is ook denkbaar dat de gebruiker de invoer aanpast, zodat de software de meest wenselijke uitkomst geeft. In dat geval heeft de gebruiker kennis van de interne werking van de *tool* nodig en volstaat een *black box* niet meer.

Uit onderzoek in Engeland (Bakker, Hoyles, Kent, & Noss, 2006) blijkt dat ook werknemers het zelf nuttig vinden dat ze ooit de formules hebben geleerd die ten grondslag liggen aan berekeningen door computers. Hierdoor hebben ze enig besef van wat er wordt uitgerekend door de computer of door een andere afdeling en beseffen ze ook dat dit “niet zomaar wat is, maar ergens vandaan komt”. Veel werknemers hoeven echter geen compleet inzicht te hebben in de *black box*. In het interview stelt Bakker (wiskundige):

“Wel hebben werknemers die doorstromen naar banen van een hoger niveau dit inzicht nodig. Om door te stromen naar een hoger werkniveau is meer abstracte kennis en inzicht nodig en dus ook in de formules die ergens achter zitten. In laboratoria moeten werknemers bijvoorbeeld kunnen inzien wanneer een standaardformule juist niet moet worden toegepast (inzicht in uitzonderingen).”

Benodigde reken- en wiskundekennis vanuit het burgerschapsperspectief

Technologische ontwikkelingen hebben niet alleen invloed op benodigde reken-wiskundekennis en vaardigheden van een werknemer, maar ook op dat van een burger in een informatiesamenleving. Op dit laatste aspect gaan we nader in vanuit twee invalshoeken, namelijk het functioneren als burger en het dagelijks handelen.

Reken- en wiskundige inhouden met het oog op burgerschap

Door alle technologische ontwikkelingen in de samenleving is de functie van het rekenen in de maatschappij minder zichtbaar dan vroeger (Van Groenestijn, 2010, Bakker, 2006).






Ten dele valt dit te verklaren vanuit de ontwikkeling van een industriële samenleving waarin het goed kunnen (hoofd)rekenen met pen en papier van groot belang was om te kunnen overleven, naar een informatiesamenleving waarin onderdelen van het rekenen worden overgenomen door apparaten. Zo hoeft een caissière bijvoorbeeld niet meer te kun-

nen uitrekenen hoeveel een klant moet betalen of hoeveel ze moet teruggeven, want dat geeft de kassa aan. Wel moet ze het te betalen bedrag kunnen aflezen en het terug te geven bedrag kunnen samenstellen met het beschikbare geld in de kassa. Het toenemend aantal klanten dat met een pinpas betaalt, maakt op termijn zelfs het kunnen samenstellen van het bedrag minder belangrijk.

Globaal kunnen rekenen wordt belangrijker. Bijvoorbeeld om te kunnen inschatten of een te betalen bedrag niet te hoog is of om te kunnen beoordelen of het antwoord op een rekenmachine wel klopt. Om dat te kunnen moet de burger tot op een zeker niveau kunnen hoofdrekenen en moet hij betekenis kunnen geven aan getallen. Daarvoor is een goede basis aan getalrelaties nodig.

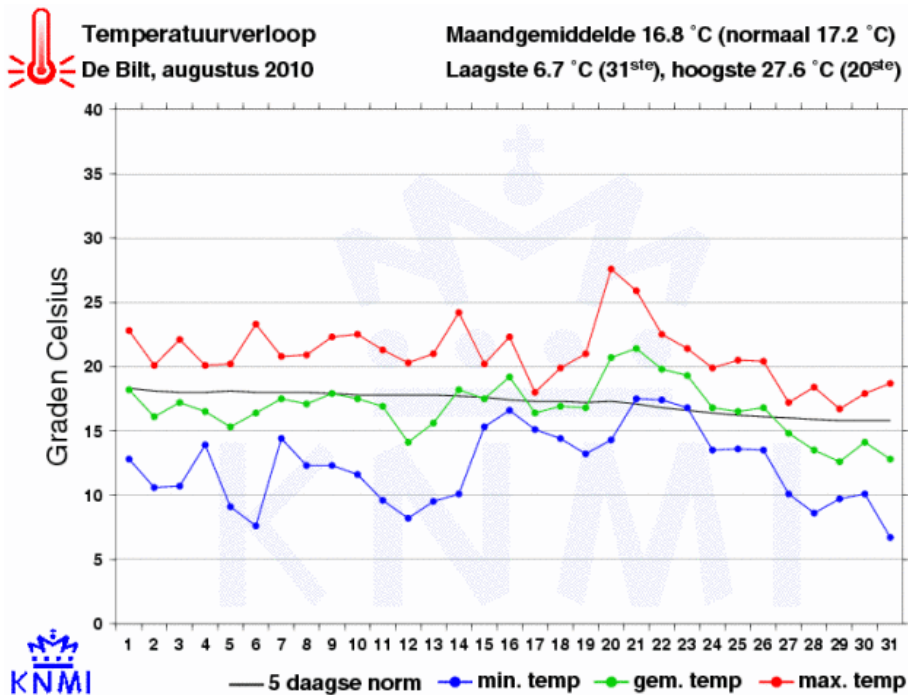
Ook als burger komen we steeds vaker in situaties terecht die een beroep doen op wiskundige kennis en vaardigheden, omdat ze vragen om te gaan met grote hoeveelheden data. Dit geldt bijvoorbeeld voor het kunnen interpreteren van onderzoeksgegevens in de media. Dergelijke gegevens worden vaak in de vorm van tabellen of grafieken gepresenteerd (zie ook interviews met onderzoekers in hoofdstuk 3; Van Galen & Gravemeijer, 2010). Er liggen allerlei vaardigheden en noties onder het kunnen lezen van een tabel of grafiek, waarvan we ons niet altijd bewust zijn. De meest basale notie is het beseft dat het hier om informatiedragers gaat, waarbij kwantitatieve gegevens op een overzichtelijke manier - al dan niet visueel - zijn geordend.

Een voorbeeld van informatie die we vaak in de vorm van een tabel of grafiek tegenkomen, is die over de weersverwachting (tabel) of de gemiddelde temperatuur per maand (grafiek). Wat is er nodig aan kennis en vaardigheden om een dergelijke tabel of grafiek

	ZO	MA	DI	WO	DO
					
Zonkans	20%	30%	40%	30%	20%
Neerslag	70%	70%	40%	40%	50%
Min/max	8/14°C	8/11°C	4/8°C	1/8°C	0/8°C
Wind	ZW 5	W 4	W 3	O 4	ZW 4

te kunnen lezen en interpreteren? Wat betekent bijvoorbeeld 30% kans op zon en 70% kans op regen? Kan het dan de hele dag regenen? Regent het op bepaalde tijdstippen? Via websites als www.buienradar.nl komt snel actuele informatie over het weer beschikbaar. Ook dan gaat het om het kunnen interpreteren van visuele informatie.

De grafiek in figuur 5 laat de gemiddelde, de minimum- en de maximumtemperaturen van de maand augustus 2010 zien, gemeten in De Bilt. Duidelijk is wanneer de temperatuur het hoogst en het laagst is. Maar wat is de betekenis van het lijntje tussen de stippen? En wat betekent de zwarte lijn?



Figuur 5: Grafiek van het temperatuurverloop in De Bilt, augustus 2010.

Invloed van technologie op ons dagelijks handelen

Technologische ontwikkelingen zijn van invloed op ons dagelijks handelen. We betalen bijvoorbeeld met een pas of op afbetaling, in plaats van met contant geld en hoeven daardoor niet meer na te denken of we wel genoeg terug krijgen bij het afrekenen. De daadwerkelijke transactie is niet direct zichtbaar, maar speelt zich buiten ons blikveld af. Om greep te houden op de financiële situatie is van belang dat de consument enige notie heeft van de werking van het systeem, bankafschriften kan interpreteren en inzicht heeft in de werking van rente op leningen. Het Nibud besteedt veel aandacht aan het ondersteunen van burgers bij het houden van overzicht op hun financiële situatie en het voorkomen van financiële problemen. Technologische mogelijkheden zoals de SchuldPreventiewijzer kunnen mensen handvatten bieden ter voorkoming van problemen.

Een geïnterviewde onderzoeker noemt in dit verband het rekeningrijden als voorbeeld.

“De burger heeft bij rekeningrijden wel enig besef nodig hoe dat kastje werkt en hoe dat uiteindelijk leidt tot een afschrift op je bankrekening. Je wilt wel een idee hebben of het bedrag dat wordt afgeschreven enigszins klopt. Anders wordt het één grote black box. Enige conceptuele kennis is dus wel nodig om kritisch mee te kunnen blijven denken.”

(Citaat geïnterviewde natuurkundige)

De ontwikkeling van technologie is niet alleen van invloed op het kunnen omgaan met getallen, maar ook op de vaardigheden die bij ruimtelijke oriëntatie een rol spelen. Zo is autorijden met een navigatiesysteem anders dan rijden op basis van een computeruitdraai of op basis van een stadsplattegrond. Een geïnterviewde onderzoeker verwoordt het als volgt:

“Wat je hier ziet als gevolg van het werken met een tool is dat sommige vaardigheden minder belangrijk worden (bijvoorbeeld borden lezen, je oriënteren) en andere vaardigheden juist belangrijker. Een bestuurder moet bijvoorbeeld wel afstanden kunnen inschatten als de TomTom aangeeft dat je ‘over 200 meter rechtsaf’ moet gaan.”
(Citaat geïnterviewde wiskundige)

De invloed van technologie op reken-wiskundeonderwijs

In een vorige paragraaf kwam naar voren dat beroepssituaties vragen om vaardigheden die nodig zijn om in verschillende situaties de juiste beslissingen te kunnen nemen (Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010, Van der Kooij, 2010). Werknemers worden echter onvoldoende voorbereid op het handelen en oplossen van problemen op de werkvloer. Om deze discrepantie op te lossen, zullen de aard van de mathematische kennis en vaardigheden in praktijksituaties preciezer in kaart moeten worden gebracht om ze vervolgens te vertalen naar zinvolle onderwijssituaties (Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010).

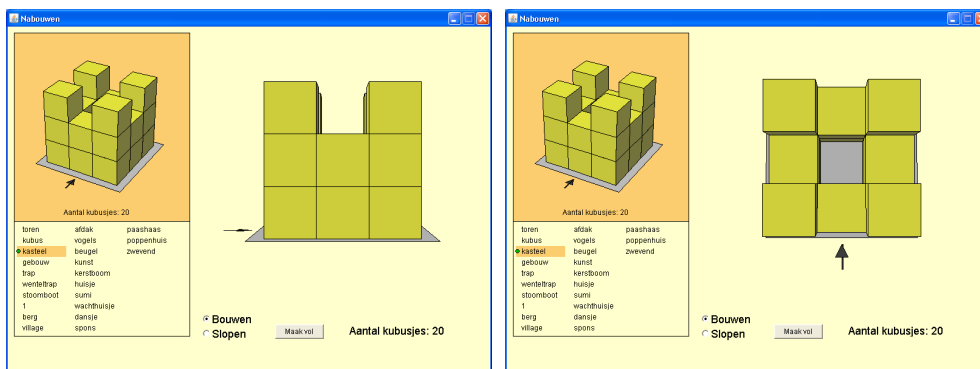
Hier gaan we nader in op de vraag of en zo ja, welke invloeden van technologie-ering nu al merkbaar zijn in het onderwijs. Komt het werken met apparaten en *tools* in de plaats van het werken met pen en papier of worden ze vooral als aanvulling gebruikt? En in hoeverre laat het onderwijs de leerlingen ervaringen opdoen met *black boxes*?

Omgaan met tools

De leerling van deze tijd krijgt tijdens zijn schoolloopbaan al te maken met gereedschap dat hem kan helpen bij het maken van berekeningen, tabellen en grafieken. De rekenmachine is een voorbeeld van zo'n gereedschap, maar ook het werken met spreadsheets. Daarnaast zijn digitale software en online reken-wiskundespetletjes beschikbaar die de leerlingen thuis kunnen doen, maar die ook onderdeel kunnen zijn van de reken- of wiskundeles.

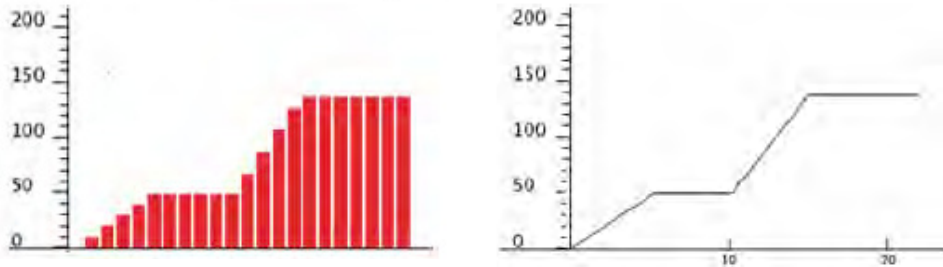
Voor het onderwijs is belangrijk dat leerlingen goed leren omgaan met de beschikbare reken-wiskundetools. Onbekendheid met de werking van *tools*, leidt gemakkelijk tot gedachteloos uitvoeren van handelingen, waarbij geen sprake is van enig begrip. In het basisonderwijs maken leerlingen slechts incidenteel gebruik van de rekenmachine, terwijl dat vanaf het begin van het voortgezet onderwijs structureel gebeurt. Goed en verantwoord gebruikmaken van de rekenmachine moet je echter leren. Zo moet de leerling op z'n minst een idee hebben of de uitkomst op de rekenmachine ongeveer klopt. Daarmee kan in het basisonderwijs gestart worden.

Andere tools, zoals spreadsheets of reken-wiskundesoftware die zijn gericht op het leren van een specifieke vaardigheid, lijken minder structureel gebruikt te worden in het onderwijs dan de rekenmachine. Hier liggen wel kansen om het onderwijs beter te laten voorbereiden op de toekomst van de leerlingen. Een voorbeeld van een beschikbare tool met betrekking tot het ontwikkelen van ruimtelijk inzicht is de applet 'Nabouwen' (www.rekenweb.nl). Veel leerlingen kunnen zich moeilijk voorstellen hoe de plattegrond van een voorwerp of gebouw er uitziet. Om dat te kunnen moet de leerling een vertaalslag maken van een voor- of zijaanzicht naar een bovenaanzicht. Jonge kinderen zijn daar vaak nog niet toe in staat. Zij tekenen bijvoorbeeld een kast van de voorkant, terwijl ze een bovenaanzicht bedoelen. De genoemde applet biedt de mogelijkheid een figuur te draaien, zodat de leerling de switch kan maken van een bouwwerk in perspectief, naar een voor- en een bovenaanzicht ervan (zie figuur 6).



Figuur 6: Voorbeeld uit de applet Nabouwen. (www.rekenweb.nl)

Van Galen en Gravemeijer (2010) beschrijven hoe kinderen in de basisschoolleeftijd al kunnen leren omgaan met dynamische grafieken. Zij betogen dat het kunnen redeneren over variabelen een belangrijke vaardigheid is, waar al op de basisschool ruimte voor gecreëerd moet worden. Het gebruik van grafieken is daarbij een krachtig hulpmiddel. Hierin sluiten ze aan bij de redenering van Weinberger (2007): een plaatje van een grafiek in een boek is statisch, waar de computer de mogelijkheid biedt om een grafiek te laten ontstaan. Van Galen en Gravemeijer ontwikkelden de 'Grafiekenmaker', een serie computerprogramma's waarmee leerlingen uit groep 7 en 8 zich de basisconcepten van grafieken mee eigen kunnen maken (zie <http://www.fi.uu.nl/rekenweb/grafiekenmaker/>).



Figuur 7: Hoe kun je zien dat de trein eerst langzaam optrekt en daarna sneller? (Van Galen & Gravemeijer, 2010)

Het voorbeeld uit figuur 7 heeft betrekking op het spel 'Treinmachinist' (zie Grafiekenmaker, webquest Treinmachinist). De metingen zijn om de seconde gemaakt en de staafjes respectievelijk de lijn geven de snelheid van de trein weer. De leerlingen kunnen aan de hand van de grafiek redeneringen opzetten als: de trein gaat in het tweede stuk sneller rijden, want de lijn loopt steiler. Een steilere lijn betekent dat er in dezelfde tijd een grotere afstand is afgelegd.

Een ander voorbeeld dat hierbij aansluit is de didactische software die aan Vanderbilt University is ontwikkeld ten behoeve van een leergang rond statistiek (Gravemeijer & Cobb, 2006). Ervaringen opgedaan binnen dat project laten niet alleen zien hoe didactische software kan worden ingezet voor het ontwikkelen van reken-wiskundige kennis en inzichten die voor het gebruik van softwarepakketten nodig zijn, maar tonen ook de centrale rol die modellen in dit onderwijs kunnen spelen. In de ontwikkelde *minitools* komen modellen eerst op een natuurlijke manier naar voren als een model van een voor de leerlingen betekenisvolle situatie, om zich gaandeweg te ontwikkelen tot een 'model voor' wiskundig redeneren.

Drijvers (in een interview, 2010) wijst op het feit dat er een wisselwerking bestaat tussen de manieren waarop *tools* worden gebruikt (en zich laten gebruiken) en het denken van de gebruiker. Technologisch gereedschap nodigt uit tot bepaald gedrag en ontmoedigt ander gedrag. Technologie is dus niet neutraal, maar stuurt het handelen en denken van de gebruiker. Volgens de instrumentatietheorie (Drijvers, 2007) ontwikkelt de gebruiker, of het nu om een werknemer of om een leerling gaat, mentale schema's in combinatie met technieken om het gereedschap te gebruiken. De wijze waarop de leerling leert en wat hij leert (oftewel de mentale schema's die hij ontwikkelt) worden beïnvloed door de *tools* die worden ingezet en de manier waarop deze worden ingezet. Drijvers betoogt verder dat het zowel vanuit het oogpunt van technologie als vanuit educatie van belang is om zorgvuldig na te gaan in hoeverre de noodzakelijke *match* tussen techniek en mentale activiteit optimaal is.

Modelleren en *probleemoplossen* zijn door het merendeel van de geïnterviewde onderzoekers genoemd als belangrijke reken-wiskundevaardigheden. Als we kijken naar het wiskundeonderwijs, blijkt dat van de verschillende componenten uit de modelleercyclus (de juiste vraag stellen, de vraag vertalen naar een reken-wiskunde probleem, een wiskundige berekening maken, reflecteren), het maken van de wiskundige berekening de meeste aandacht krijgt, terwijl juist daar computers ondersteunend kunnen zijn. Het maken van de berekening zou hierbij geen doel op zich moeten zijn, maar een middel om een wiskundig probleem te kunnen oplossen (Wolfram, 2010). In het onderwijs ligt de nadruk sterk op de formele bewerkingen als doel, terwijl dat in de maatschappij dus aan het veranderen is.

Aandacht voor *black boxes* in het onderwijs?

Met betrekking tot de *black boxes* kunnen we ons afvragen hoeveel ervaringen iemand nodig heeft om enig inzicht te krijgen in de *black box*. Kennelly (2000) pleit voor het ontwikkelen van *grey-box experiences for a black-box world*. Met *experience* bedoelt hij niet alleen het opdoen van ervaringen, maar ook de vorming van een conceptueel model van de werking van die *black box*.

Dit roept de vraag op waar de toekomstige werknemer deze ervaringen moet opdoen, in het onderwijs of op de werkvloer. Moet op school toegewerkt worden naar wat een werknemer in zijn toekomstige beroep nodig heeft? Wiskunde zoals gevraagd in de werksituatie hoeft wellicht niet hetzelfde te zijn als wat wordt onderwezen op school. De meeste wiskundige problemen waar werknemers mee geconfronteerd worden op de werkvloer vragen om kennis van de basisvaardigheden en een hoog niveau van wiskundig redeneren, maar zijn tevens veel complexer dan wat op school wordt onderwezen. Daarentegen vragen de meeste wiskunde problemen op de werkvloer niet om een hoog niveau van mathematische concepten zoals we die tegenkomen in de schoolse wiskunde. Steen benoemt dit verschil als volgt: "*Mathematics in the workplace makes sophisticated use of elementary mathematics rather than, as in the classroom, elementary use of sophisticated mathematics*" (Steen, 2003, p. 55). Hier ligt een grote uitdaging voor ontwikkelaars van leergangen en leermaterialen.

Welke conclusies kunnen we uit het voorgaande trekken? Burgers en werknemers moeten weten wanneer ze welke bewerking moeten toepassen, binnen een reële situatie. De voorbeelden in deze paragraaf laten zien dat in deze tijd de meeste mensen, zowel in hun beroep als daarbuiten, vooral moeten kunnen omgaan met grote hoeveelheden data die zij al dan niet in de vorm van een tabel of grafiek ter beschikking krijgen. Betekenis geven aan de getallen, manipuleren met getallen, globaal rekenen en probleemoplossen worden daarmee belangrijke vaardigheden.

Ook lijkt het nodig om enig inzicht te hebben in de *black box* van een apparaat, om te kunnen handelen als het apparaat niet werkt. Het blijft de vraag hoeveel ervaringen nodig zijn om dat inzicht te ontwikkelen. En moet de leerling deze ervaringen opdoen op school of kan

dat ook op de werkplek? Van Galen en Gravemeijer (2010) pleiten voor op school. De onderzoeksgroep van Hoyles en Noss ontwikkelde *tools* die voor scholing in het bedrijfsleven bedoeld zijn, maar die ook op school gebruikt kunnen worden. Ook de zogenaamde *minitools* (Gravemeijer & Cobb, 2006) zijn bruikbaar in het reguliere onderwijs.

Van de grote veranderingen in de wereld op het gebied van de technologische ontwikkelingen is nog niet zo veel in het onderwijs doorgedrongen. Waar dit precies aan ligt is niet direct te zeggen, maar een reden kan zijn dat scholen/leerkrachten geen *sense of urgency for change* voelen (Wagner, 2008).

4.3 Ontwikkelingen in het reken- en wiskundeonderwijs

In de vorige twee paragrafen is ingegaan op de invloed van technologie op benodigde reken-wiskunde kennis en vaardigheden. Daarbij is gekeken naar kennis en vaardigheden met het oog op toekomstige beroepen en op het functioneren als burger in een maatschappij waar technologie een steeds grotere rol speelt. Tot slot is aandacht besteed aan de vraag of en zo ja, welke technologische invloeden zijn terug te vinden in een aantal voorbeeldprojecten in het reken-wiskundeonderwijs. Een van de conclusies luidde dat het onderwijs de leerlingen onvoldoende voorbereidt op toekomstige beroepen. Ook is er nog relatief weinig van de technologische invloeden in het onderwijs merkbaar. Welke redenen zijn hiervoor aan te wijzen?

We gaan nader in op de vraag hoe het ervoor staat met het reken- en wiskundeonderwijs in het funderend onderwijs. Wat zijn belangrijke ontwikkelingen en waar liggen mogelijkheden om leerlingen beter voor te bereiden op hun toekomstig functioneren als burger en werknemer?

Rekenonderwijs

Voor het Nederlandse rekenonderwijs vormt de invoering van het referentiekader rekenen een belangrijke, recente ontwikkeling (Meijerink, 2008; 2010). Het referentiekader is gericht op het verbeteren van de doorstroming naar vervolgonderwijs en stelt daarbij doorlopende leerlijnen tussen basis- en voortgezet onderwijs en tussen voortgezet onderwijs en beroeps-onderwijs centraal. Bij het samenstellen van het referentiekader hebben technologische ontwikkelingen en mogelijke toekomstige beroepen van leerlingen een ondergeschikte rol gespeeld.

Het referentiekader rekenen maakt onderscheid in de volgende domeinen (Meijerink, 2010):

- getallen (inclusief bewerkingen)
- verhoudingen
- meten en meetkunde
- verbanden.

Deze domeinen komen gedurende de hele periode van het funderend onderwijs in meerdere of mindere mate aan bod in de reken-wiskundemethodes. Daarbij ligt in het basis-onderwijs een sterk accent op het onderdeel getallen (onderbouw en bovenbouw) en in iets mindere mate op verhoudingen (bovenbouw). Meten komt wel aan bod, maar doorgaans minder prominent dan de andere twee domeinen. Het onderdeel verbanden - dat wil zeggen werken met tabellen en grafieken, coördinaten, patronen kunnen herkennen en afmaken - komt in het basisonderwijs sporadisch aan bod, terwijl daar in het voortgezet onderwijs juist veel nadruk op ligt. In het voortgezet onderwijs wordt doorgaans (soms onterecht) verondersteld dat leerlingen bepaalde kennis en vaardigheden op de domeinen getallen, verhoudingen en meten en meetkunde beheersen.

Het op peil houden en verbeteren van leeropbrengsten op het gebied van taal en rekenen, en het evalueren en eventueel aanpassen van het onderwijs om dit te bereiken, zijn belangrijke speerpunten in het huidige beleid. Referentieniveaus worden gezien als waardevolle hulpmiddelen om taal- en rekenonderwijs te verbeteren. Concretisering van het referentiekader kunnen een leidraad zijn voor scholen, docenten en onderwijsprogramma's in het primair en voortgezet onderwijs en het middelbaar beroepsonderwijs, om hun onderwijs te verbeteren (Schmidt, 2011, Noteboom, 2011).

De reden dat de commissie Meijerink in het leven is geroepen, was onder meer de teruglopende kennis en vaardigheden op het gebied van rekenen-wiskunde en taal bij met name pabo-studenten. Publicaties in de kranten over een alarmerend gebrek aan rekenkennis volgden elkaar snel op. Er is geen verschil van mening over de vraag of taal en rekenen leergebieden zijn die iedereen tenminste tot op een bepaald niveau moet beheersen om maatschappelijk te kunnen functioneren. De vele maatregelen die zijn genomen om het vak rekenen weer in te voeren in het voortgezet onderwijs zijn daar een voorbeeld van (Obbink, 2011). Wel zijn er discussies over de invulling van de woorden 'tot op bepaald niveau' en over de vraag uit welke basisvaardigheden deze leergebieden precies moeten bestaan. Ook wordt betoogd dat de voorgestelde referentieniveaus de aansluitingsproblematiek niet oplossen (Bruin-Muurling, Gravemeijer, Eijck, 2010).

Bij het denken over rekenen-wiskunde lopen we voortdurend tegen de diepgewortelde opvatting aan dat het bij deze disciplines primair gaat om het leren van algoritmische routines en vaardigheden. Diverse onderzoekers wijzen erop dat deze visie moet worden bijgesteld (Van der Kooij, 2010; OECD-PISA, 2009ab).

De in het referentiekader genoemde domeinen wijken globaal gezien niet af van wat door onderzoekers, kenniscentra en werkgevers belangrijk wordt gevonden op het gebied van rekenonderwijs (zie hoofdstuk 3). Een indeling in domeinen zegt echter nog niet veel over de specifieke invulling ervan. Ook geeft een indeling geen zicht op de hoeveelheid onderwijstijd die aan ieder onderdeel wordt besteed. Een nadere beschouwing laat zien dat onderwer-

pen waarvan onderzoekers en mensen uit diverse beroepspraktijken hebben aangegeven dat ze belangrijk zijn, zoals gevoel voor de orde van grootte van getallen, data-analyse, kunnen omgaan met grafieken, modelleren en probleem formuleren/analyseren/oplossen, niet als zodanig in het referentiekader benadrukt worden. Ook vinden we de invloeden van technologie zoals die naar voren komen in de *21st century skills* niet terug in gestelde doelen in het referentiekader. Dat is niet verwonderlijk, omdat daar ook niet de focus van de commissie Meijerink heeft gelegen. In het licht van de toekomst zouden deze genoemde doelen meer nadruk moeten krijgen.

Wiskundeonderwijs

In het referentiekader staan inhoudelijke doelen voor het vak rekenen beschreven, maar niet voor het vak wiskunde. In het voortgezet onderwijs spelen vooral wiskundedoelen een belangrijke rol. De OECD-PISA expertgroep (2009ab) geeft in het *Assessment Framework* wel een indeling in wiskundedomeinen en -competenties. Bij het samenstellen van het *Assessment Framework* hebben het maatschappelijk en economisch perspectief en het functioneren als burger (burgerschap) een belangrijke rol gespeeld. Technologische ontwikkelingen en de consequenties daarvan voor het wiskundeonderwijs hebben niet expliciet een rol gespeeld.

Omdat de in het *Assessment Framework* gehanteerde indeling ook in Nederland breed draagvlak heeft, en er ruim zestig landen aan meedoen, bespreken we in dit rapport kort de daar onderscheiden domeinindeling voor wiskundeonderwijs. De OECD-PISA studie onderscheidt:

- getallen en hoeveelheden/maten
- ruimte en vorm
- verandering en verbanden
- onzekerheid.

De invulling van de eerste drie domeinen in het *Assessment Framework* komt sterk overeen met die van het referentiekader rekenen. Het domein onzekerheid (kansrekening en statistiek) krijgt in het onderwijs relatief weinig aandacht, terwijl juist dit onderwerp van belang is in onze informatiemaatschappij. Een van de conclusies uit een in 2010 uitgevoerde leerplankundige analyse van de PISA-resultaten is, dat er in het onderwijs een grotere plaats ingeruimd zou moeten worden voor het domein onzekerheid (Kuiper, Van der Hoeven, Folmer, Van Graft & Van den Akker, 2011).

De OECD-PISA studie onderscheidt naast de domeinen ook competenties en clusters van competenties. Een aantal van de competenties zijn te plaatsen onder de in hoofdstuk 2 genoemde generieke *21st century skills*. De expertgroep noemt de volgende wiskundige competenties:

- *Wiskundig denken, redeneren en argumenteren*: het vermogen om je bepaalde (verklarende) vragen te stellen, als-dan relaties te leggen of een logische analyse te maken.
- *Modelleren*: een verbindende schakel tussen de 'echte wereld', waarin we problemen tegenkomen en mogelijke oplossingen worden bedacht en de wiskundige wereld, waarin het probleem wiskundig wordt opgelost.
- *Probleemstellen en probleemoplossen*: een situatie analyseren en er het wiskundige probleem uit destilleren om dit vervolgens stap voor stap wiskundig te kunnen oplossen.
- *Representeren*: kunnen omgaan met een variëteit aan representaties van de werkelijkheid, bijvoorbeeld tabellen, grafieken, foto's, diagrammen, teksten, et cetera en er relaties tussen kunnen leggen.
- *Symboliseren en formaliseren*: de wiskundige symbolentaal begrijpen en gebruiken. Deze competentie omvat ook het kunnen toepassen van wiskundige procedures.
- *Communiceren*: een eigen wiskundige oplossing kunnen duidelijk maken aan iemand anders, luisteren naar de oplossing van iemand anders en die kunnen plaatsen, kunnen reflecteren.
- *Hulpmiddelen/tools*: hierbij moeten we denken aan hulpmiddelen van uiteenlopende aard, waaronder ook het verstandig inzetten van technologie.

In het onderwijs zouden deze competenties via de genoemde domeinen naar voren moeten komen, aldus de expertgroep. Een leerling krijgt dan de gelegenheid de competenties te ontwikkelen door ze toe te passen bij het oplossen van wiskundige vraagstukken.

Het *Assessment framework* is, zoals gezegd, niet expliciet gericht op de rol van informatie-technologie in onze maatschappij. Wanneer het gaat om het voorbereiden op de toekomst, zijn enkele uitbreidingen nodig op de doelen die de PISA-expertgroep onderscheidt. Dit geldt vooral voor de domeinen 'verbanden' en 'onzekerheid'. Om inzicht te kunnen ontwikkelen in de mathematische verbanden waarmee computerprogramma's de werkelijkheid modelleren, moeten de leerlingen inzicht ontwikkelen in wat een variabele is en hoe variabelen kunnen samenhangen. Als voorbeeld kunnen we hier denken aan de samenhang tussen de hoeveelheid benzine die een auto gebruikt en de afstand die hij aflegt. Een belangrijk concept is hier het benzineverbruik als een samengestelde maat voor de verhouding tussen de gebruikte benzine en de afgelegde weg. Waarbij bijvoorbeeld 'een op vijftien' staat voor 1 liter benzine voor 15 kilometer. Daarmee kun je auto's vergelijken, of kun je - met het oog op zuinig rijden - beschrijven hoe het benzineverbruik samenhangt met de snelheid waarmee je rijdt. Het is dit type redeneringen over samenhangen tussen variabelen, dat je in een sterk gecomputeriseerde maatschappij nodig hebt.

Binnen het domein 'onzekerheid' vraagt de toekomstige maatschappij meer fundamenteel besef van de rol die onzekerheid speelt in de wereld om ons heen en hoe daarmee om te gaan, dan in de PISA-toetsen wordt gemeten. De meeste leerlingen in het funderend onderwijs realiseren zich bijvoorbeeld niet dat wanneer je dezelfde meting een aantal keren achter elkaar uitvoert, de resultaten kunnen verschillen. Het idee van het herhalen van een

meting om vervolgens het gemiddelde en de spreiding te berekenen, is hun onbekend. Om meetresultaten te kunnen beoordelen, zouden ze hier toch globaal van op de hoogte moeten zijn. Dat je in de natuur te maken hebt met natuurlijke variatie, wordt door de meeste leerlingen wel intuïtief begrepen. Dat er bij mechanische productie ook sprake is van variatie echter niet. Verder geldt dat veel van de kwantitatieve informatie, waar we dankzij het gebruik van computers over beschikken, gebaseerd is op steekproeven. Ook hier speelt de idee van onzekerheid die je kunt kwantificeren een centrale rol.

Voorgaande pleit voor een structurelere plaats voor de domeinen 'verbanden' en 'onzekerheid' in het onderwijs.

Gecijferdheid en wiskundige geletterdheid

De laatste decennia komen de termen gecijferdheid (*numeracy*) en wiskundige geletterdheid (*mathematical literacy*) steeds vaker naar voren als belangrijke overkoepelende doelen van het reken- en wiskunde onderwijs. Deze termen lijken goed aan te sluiten bij wat een burger van de 21e eeuw aan reken-wiskundecompetenties nodig heeft.

Al in het basisonderwijs wordt gestreefd naar het afleveren van 'gecijferde' leerlingen, wat betekent dat naast de traditionele basisvaardigheden (zoals kunnen optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen) ook belangrijk wordt gevonden dat leerlingen flexibel met die kennis kunnen omgaan en deze kunnen toepassen in hun dagelijks handelen.

Van Groenestijn (2002, 2010) definieert functionele gecijferdheid als volgt:

Kennis en vaardigheden die nodig zijn om adequaat te kunnen handelen in persoonlijke, maatschappelijke en aan werk gerelateerde reken-wiskundige situaties, in combinatie met het vermogen om die kennis en vaardigheden flexibel te kunnen aanpassen aan nieuwe eisen in een continu veranderende maatschappij die gedomineerd wordt door kwantitatieve informatie en technologie. (Van Groenestijn, 2010, p.16)

In deze definitie is nadrukkelijk rekening gehouden met de veranderende maatschappij, het kunnen omgaan met kwantitatieve informatie en met technologie.

Het adequaat kunnen handelen vraagt ook om een kritische en reflectieve houding van werknemers en burgers ten aanzien van informatie die op hen afkomt (zie ook interviews met onderzoekers). Dit stukje uit de Metro over het gebruik van *e-bikes* wekt bijvoorbeeld de indruk dat veel meer jonge(re) mensen dan voorheen de *e-bike* als vervoermiddel gebruiken. De zin 'De groep onder de 55 jaar groeit procentueel harder dan de groep erboven' is ongetwijfeld



o8 metronieuws www.metronieuws.nl
DONDERDAG 24 FEBRUARI 2011

De e-bike: ook papa en mama rijden er nu op

⚡ Elektrische fiets ontdoet zich langzaam maar zeker van stoffig imago, merkt fietsbranche ⚡ "De groep onder de 55 jaar groeit procentueel harder dan de groep erboven"

Bron: Metro, 24 februari 2011

waar, maar kan ook misleidend zijn. Als de groep onder de 55 jaar heel klein is hoeft er immers maar weinig bij te komen om procentueel flink te groeien.

In het voortgezet onderwijs spreekt men vaker van wiskundige geletterdheid (*mathematical literacy*). De Expertgroep OECD-PISA (2009) geeft de volgende definitie van *mathematical literacy*:

“... an individual’s capacity to identify and understand the role that mathematics plays in the world, to make well-founded judgments and to use and engage with mathematics in ways that meet the needs of individual’s life as a constructive, concerned and reflective citizen.” (OECD-PISA, 2009a, p. 84; 2009b, p.19)

In een vervolg licht de expertgroep de definitie nader toe en vergelijkt daarbij een wiskundig geletterd persoon met een geletterd persoon: om te kunnen communiceren is een rijke woordenschat en kennis van grammaticale regels nodig. Echter, om goed te kunnen communiceren moet je de regels creatief kunnen combineren en kunnen aanpassen aan de omstandigheden in de ‘echte’ wereld. Ook wiskundige geletterdheid kan niet gereduceerd worden tot een set aan regels en procedures en het uitvoeren van operaties, maar vraagt ook om creatief kunnen combineren en om het kunnen gebruiken van procedures in externe situaties.

In deze definitie van wiskundige geletterdheid ligt de nadruk op het functioneel gebruiken van wiskundige kennis in verschillende situaties, op een gevarieerde, reflectieve en inzichtelijke manier. Het gaat om de vaardigheid problemen te formuleren (in wiskundige taal), problemen op te lossen en te interpreteren en daarbij wiskunde te gebruiken binnen een veelheid aan situaties en contexten. Die contexten bestrijken een breed scala van contexten in alledaagse situaties waarbij alle relevante informatie gegeven is en de vraagstelling helder is omschreven, tot wetenschappelijke contexten waarbij de leerling een complexe probleemstelling moet modelleren, conceptualiseren en generaliseren (OECD-PISA Expertgroep, 2009).

4.4 Enkele conclusies voor het reken- en wiskundeonderwijs

In het referentiekader rekenen is de aandacht vooral gericht op doelen in relatie tot het vervolgonderwijs. Men wil de drempels tussen primair onderwijs en voortgezet onderwijs respectievelijk voortgezet onderwijs en beroepsonderwijs slechten door het verbeteren van de doorgaande leerlijnen. Het *Assessment Framework* van PISA en het ‘Raamwerk rekenen-wiskunde voor het mbo’ bieden een breder perspectief, waarbij PISA vooral het maatschappelijk economisch perspectief en burgerschap benadrukt en het Raamwerk voor het mbo daarnaast ook de beroepscontext meeneemt. De uitwerkingen van deze documenten zijn

echter sterk bepaald door het hier en nu en niet door de toekomst.

Deze studie gaat een stap verder door te verkennen wat de toekomst vraagt aan kennis en vaardigheden, zowel generiek als specifiek op het gebied van rekenen en wiskunde. Daarbij richten we ons specifiek op de beroepscomponent en in mindere mate op burgerschap.

In de inleiding van dit hoofdstuk zijn de volgende vragen gesteld:

1. Hoe kunnen de in de vorige hoofdstukken genoemde essentiële generieke vaardigheden ook aan de orde komen binnen, respectievelijk vertaald worden naar het reken- en wiskundeonderwijs in de basisschool en in de onderbouw van het voortgezet onderwijs?
2. Welke reken- en wiskundeonderdelen in de huidige curricula behoeven extra of juist minder aandacht? Welke onderdelen behoeven aandacht op een andere manier? En zijn er onderdelen aan te wijzen die niet in de curricula zitten met wel aandacht verdienen?

In deze paragraaf formuleren we een aanzet tot beantwoording van deze vragen.

1. Vertaling van generieke vaardigheden naar rekenen-wiskunde

Wiskundige competenties

De in hoofdstuk 2 genoemde *21st century skills* betreffen algemene vaardigheden, zoals communiceren, samenwerken, ICT-vaardigheden. Dit soort vaardigheden komt in vergelijkbare bewoordingen terug in de door de Expertgroep OECD-PISA benoemde wiskundige competenties.

Probleem formuleren, probleem interpreteren, probleem oplossen ...

We pleiten voor meer aandacht voor deze wiskundige vaardigheden in het onderwijs, waarbij de leerlingen binnen een veelheid aan situaties en contexten leren problemen te *formuleren* (in wiskundige taal), problemen *op te lossen* en de oplossing te *interpreteren* met gebruik van wiskunde. Deze vaardigheden kunnen geleerd worden binnen de reken- en wiskundedomeinen, onder de voorwaarde dat leerlingen aan de hand van reële problemen worden uitgedaagd om hun kennis over rekenen en wiskunde te gebruiken. In het huidige onderwijs krijgen leerlingen veelal kleine taakjes voorgelegd, met korte gerichte vragen. Het is de vraag of de leerling het verband tussen deze kleine vaak schoolse opdrachten met de reële problemen in het dagelijks leven ziet. Vaak zal de leerling zelf deze vertaalslag nog moeten maken, en of dat ook gebeurt valt te betwijfelen. Bovendien is bij deze kleine taakjes geen sprake van *problem solving*.

... in reële betekenisvolle situaties; gecijferdheid/wiskundige geletterdheid

Het lijkt effectiever en betekenisvoller als leerlingen geconfronteerd worden met reële (soms complexe) contexten en problemen die ze gezamenlijk mogen oplossen (Wagner, 2008). De leraar loopt rond en stelt aanvullende dan wel verdiepende vragen ('heb je ge-

dacht aan ...', 'waarom denk je dat?'), in plaats van dat hij vragen direct beantwoordt. Leerlingen zouden ook in het basisonderwijs, zeker in de bovenbouw, al te maken moeten krijgen met echte contexten, waarin probleem formuleren, analyseren en oplossen een rol spelen. Bij een ombuiging van het onderwijs in die richting is de kans groter dat een overkoepelend einddoel van het reken- en wiskundeonderwijs in de 21e eeuw, namelijk leerlingen opleiden tot beter gecijferde of wiskundig geletterde burgers, bereikt wordt.

Wolfram (2010) doet een voorstel om leerlingen bijvoorbeeld te leren programmeren, als mogelijke manier om wiskundig te leren denken en redeneren. Door leerlingen zelf te laten programmeren, ervaren ze directer waar knelpunten zitten.

Een analyse van de meest gebruikte reken-wiskundemethoden in het basisonderwijs anno 2009 (Kolovou, Van den Heuvel-Panhuizen & Bakker, 2009) laat echter zien dat verreweg de meeste opdrachten zich richten op routinevraagstukken. Opdrachten die een beroep doen op hogere orde denkvaardigheden komen vrijwel niet voor of zijn bedoeld als verrijking voor betere leerlingen. Kortom, basisschoolleerlingen krijgen niet vaak de gelegenheid een echt probleem op te lossen.

(Wiskundig) communiceren

Werkgevers in het bedrijfsleven en geïnterviewde onderzoekers hebben veelvuldig gezegd dat het goed kunnen communiceren tussen werknemers onderling, maar ook tussen werknemers en klanten, een belangrijke vaardigheid is. Het is een interessante gedachte om te kijken in hoeverre communiceren in reken- en wiskundetaal een bijdrage kan leveren aan algemene communicatievaardigheden.

Nederlandse leerlingen zouden gebaat zijn bij meer aandacht voor mathematiseren, redeneren en reflecteren. *Feedback* op het werk van leerlingen kan daar een bijdrage aan leveren. Ook zou er meer ruimte moeten zijn voor het leren oplossen van authentieke reken-wiskunde problemen (Kuiper, Van der Hoeven, Folmer, Van Graft & Van den Akker, 2011).

Representeren, symboliseren, formaliseren

Aan het kunnen communiceren over oplossingsmanieren kan het maken van een schema of tekening, of het noteren van tussenstappen of -antwoorden een bijdrage leveren. Uit onderzoek (Van der Schoot, 2008) is echter bekend dat de huidige basisschoolleerlingen vaak geneigd zijn opgaven uit het hoofd uit te rekenen. Ook bij opgaven waarbij dat eigenlijk niet goed mogelijk is (bijvoorbeeld opgaven met grote getallen) of waar het niet noodzakelijk of zelfs niet wenselijk is. Om ervoor te zorgen dat het overzichtelijk noteren van de denkweg tot het dagelijks repertoire van de leerlingen gaat behoren, moet er de nodige aandacht aan besteed worden in het onderwijs. Daarbij denken we niet alleen aan het noteren van de oplossingsprocedure, maar ook aan het vertalen van een probleem in een authentieke context

naar een bewerking in reken- of wiskundetaal. Het structureel gebruikmaken van een notitieblad zou al vroeg in de basisschool een plaats moeten krijgen. Een bijkomend voordeel van het invoeren van een notitieblad in het basisonderwijs is dat er een betere aansluiting plaatsvindt op het voortgezet onderwijs, waar bij wiskundeproblemen het proces naar het antwoord toe minstens zo belangrijk wordt gevonden als het antwoord zelf. Tevens kan de leraar bij deze aanpak meer zicht krijgen op de oplossingsmethodes en het oplossingsniveau van de leerlingen.

Technologie; *black boxes*

Een van de door de Expertgroep OECD-PISA genoemde wiskundige competenties is het verstandig omgaan met technologie. Hieronder kan ook het leren omgaan met apparaten en technologieën verstaan worden. Dit onderdeel verdient een structurele plaats in het reken-wiskundeonderwijs. Leerlingen van nu krijgen in hun toekomstige beroepen veel te maken met apparaten en technologieën, waarvan ze tot op zekere hoogte de werking moeten doorgronden. Hoewel werkgevers niet eensluidend zijn over de vraag of hun werknemers een apparaat alleen moeten kunnen bedienen of ook enig inzicht moeten hebben in de *black box*, lijkt het aan te bevelen in het onderwijs enige aandacht te besteden aan de werking van apparaten 'to turn the black box grey' (Kennelly, 2000). De vraag hoeveel ervaring een leerling nodig heeft om dit inzicht te verwerven, blijft moeilijk te beantwoorden. Het lijkt daarbij ook te gaan om een attitudeverandering waarbij het ontwikkelen van een onderzoekende en flexibele houding centraal staat. Apparaten zijn immers vaak net weer even anders, dus de leerling zal kennis die hij heeft moeten kunnen vertalen naar verschillende situaties of apparaten. In het onderwijs zou de nadruk kunnen liggen op vaardigheden als analyseren, benoemen, combineren van gegevens, verbindingen leggen (als-dan relaties) en conclusies trekken op basis van de analyse. Ook de wiskundige inhoud, zoals redeneren met variabelen en covariantie en statistiek, kan in dit verband een plaats krijgen in het onderwijs.

Toetsen

Diagnostische toetsen (*assessment for learning*) zijn bedoeld om te kijken of leerlingen het aanbod voldoende hebben begrepen, om vervolgens te kunnen ingrijpen als het nodig is en om het onderwijs te kunnen plannen. De twee keer per jaar afgenomen Leerling Volg Systeem toetsen en de Cito eindtoets worden in het basisonderwijs echter ook steeds bepalender voor wat in het onderwijs wordt aangeboden. De leraar werkt in het onderwijs toe naar de onderwerpen die in de toets centraal staan, ook wel *teaching to the test* genoemd. Als het onderwijs verandert, moeten de toetsen dus mee veranderen.

Een deel van de onderwerpen die in de 21e eeuw belangrijk worden gevonden, zoals tabellen en grafieken en meetkunde, komen wel in toonaangevende rekentoetsen voor (Cito), maar de manier waarop dat gebeurt staat vrij ver af van waar het in dit rapport om gaat. Een

ander deel, zoals tijd en tijdsbegrip, kaartlezen, techniek, vinden we terug in de toets over wereldoriëntatie (geschiedenis, aardrijkskunde, natuur). Bij de beoordeling van het reken-niveau van leerlingen zouden ook de resultaten op die onderdelen uit de toetsen moeten worden meegenomen of worden opgenomen in de rekentoets.

Ook het eerder genoemde notitieblad zou toegestaan moeten worden bij toetsen, zodat de leerlingen beter kunnen tonen wat ze hebben geleerd.

2. Welke reken- en wiskundeonderdelen in de huidige curricula behoeven extra of juist minder aandacht of aandacht op een andere manier?

Er zijn verschillende manieren waarop deze vraag beantwoord kan worden, namelijk:

- door een andere nadruk te leggen bij de invulling van domeinen;
- door het verplaatsen van inhouden.

Andere nadruk bij de invulling van domeinen

Uit de bestudering van literatuur en interviews met experts komt naar voren dat de domeinen die in het reken- en wiskundeonderwijs een plaats moeten krijgen niet ter discussie staan. Nergens wordt gezegd dat bepaalde kennis of vaardigheden er niet meer toe doen. Met het benoemen van domeinen is echter nog geen uitspraak gedaan over de invulling ervan of over de hoeveelheid onderwijstijd die aan ieder domein zou moeten worden besteed. Juist daar liggen de grootste uitdagingen voor de veranderingen die in deze studie worden bepleit. Zo verdienen de domeinen meetkunde, verbanden en onzekerheid (statistiek) met het oog op de toekomst in hun geheel een grotere nadruk dan nu het geval is, ook in het primair onderwijs. Daarbij gaat het niet alleen om grafieken maken, lezen en interpreteren, maar ook om het redeneren aan de hand van de grafieken, het leggen van als-dan relaties, en het ontwikkelen van een notie van mogelijke verbanden tussen gebruikte variabelen. Werknemers moeten wiskundige kennis en vaardigheden niet alleen kunnen toepassen, maar ze moeten wiskundige kennis kunnen combineren met contextkennis en op basis daarvan een beredeneerde beslissing kunnen nemen (Hoyles, Noss, Kent & Bakker, 2010, Van der Kooij, 2010, Gravemeijer, 2007, 2009). Dat gaat verder dan bijvoorbeeld 'het kunnen lezen van grafieken' als belangrijke vaardigheid. De werknemer moet flexibel met zijn kennis kunnen omgaan, dus (in dit voorbeeld) grafieken in verschillende contexten kunnen interpreteren, er de relevante informatie uit kunnen destilleren en dit kunnen vertalen naar de eigen situatie. Het onderwijs zou dus gericht moeten zijn op het flexibel leren omgaan en toepassen van opgedane kennis in verschillende contexten (zie ook Hoyles, et al., 2010).

Het domein 'getallen' zou vooral gericht moeten zijn op het ontwikkelen van gevoel voor de orde van grootte van getallen, globaal rekenen en kunnen toepassen van deze kennis. Werknemers krijgen steeds meer te maken met apparaten en gecomputeriseerde machines die de routines standaard in zich dragen. De werknemer die de apparatuur bedient, heeft dan

specifieke kennis nodig waarbij het gaat om het kunnen interpreteren en analyseren van kwantitatieve data. Die kennis is van een ander karakter dan het beheersen van de meer op routines gerichte algoritmische vaardigheden. Het gaat meer om het kunnen herkennen van regelmatigheden, structuren en patronen in data, dan om het routinematig uitvoeren van bewerkingen met getallen. Ook in het onderwijs kunnen apparaten en hulpmiddelen, zoals de rekenmachine en spreadsheets, leerlingen ondersteunen bij het oplossen van opgaven die ze vroeger met pen en papier moesten kunnen. Het staat niet ter discussie of leerlingen procedures en algoritmen moeten leren, maar de vraag is tot op welke hoogte. Ook de vraag wat er aan ervaring en oefening nodig is om van daaruit te begrijpen wat de rekenmachine doet is in dit verband relevant. Er zou meer nadruk moeten liggen op het mathematiseren, het kunnen destilleren van de juiste bewerking uit een context om deze vervolgens eventueel met behulp van de rekenmachine te kunnen uitrekenen.

De noodzaak om te komen tot een andere invulling van het onderwijsaanbod komt duidelijk naar voren bij minder sterke rekenaars. Het betreft bijvoorbeeld leerlingen die van het regulier of speciaal (basis)onderwijs doorstromen naar vmbo-b met leerwegondersteuning of naar het praktijkonderwijs. Deze leerlingen komen in beroepssituaties terecht, waar het hebben van feitenkennis en het kunnen uitvoeren van procedures minder relevant is. Voor een caissière is het kunnen uitrekenen hoeveel geld je terug moet geven aan de kassa van minder groot belang dan het kunnen samenstellen van het bedrag dat de kassa aangeeft. Andere vaardigheden die wel van belang zijn maar weinig aan bod komen, zijn het kunnen schatten (bijvoorbeeld: hoeveel pallets kunnen in de vrachtwagen?), kunnen meten (bijvoorbeeld: zit er nog voldoende profiel op de banden?), kunnen aflezen (bijvoorbeeld: wat betekenen de cijfers op de computeruitdraai?) en logisch kunnen redeneren (als-dan redeneringen kunnen opzetten aan de hand van gegevens, bijvoorbeeld over een defect aan een auto).

Het huidige curriculum gaat doorgaans echter ook voor deze leerlingen uit van dezelfde onderliggende *core business*: getallen en bewerkingen in de onderbouw, breuken, procenten, verhoudingen en kommagetallen in de bovenbouw. Het lukt veel van deze leerlingen al niet om de bewerkingen onder de knie te krijgen, met als gevolg dat hun eindniveau soms niveau eind groep 5, begin groep 6 van de basisschool is (PPON, 2009). De leerstof domeinen uit de bovenbouw krijgen zij niet of nauwelijks aangeboden (Boswinkel & Langberg, 2009).

Verplaatsen van inhouden

Gravemeijer (2001) pleit voor het verplaatsen van onderdelen die nu doorgaans pas in het voortgezet onderwijs aan bod komen naar het basisonderwijs. In het bijzonder wijst hij op de mogelijkheid aandacht te besteden aan waarschijnlijkheid en statistiek en het leren omgaan met variabelen in het basisonderwijs. In het onderwijs zou eerder dan nu het geval is aandacht besteed kunnen worden aan het verkennen en gebruiken van computerpro-

gramma's, die de aandacht vestigen op onderliggende vaardigheden of noties, zonder eisen te stellen aan formele bewerkingen.

Het werken met computerondersteunde meetinstrumenten en met computersimulaties zou hier een belangrijke rol in kunnen spelen. De huidige computers voegen unieke mogelijkheden toe aan het arsenaal van middelen om juist dit soort zaken toegankelijk te maken voor jonge leerlingen in het basisonderwijs.

Enerzijds gaat het daarbij om leerlingen te leren redeneren over samenhangen tussen variabelen. Anderzijds gaat het om het leren interpreteren van en omgaan met standaard representaties zoals grafieken. In de praktijk zullen beide doelen gecombineerd kunnen worden. Zo kun je met grafieken het dynamische aspect van variabelen zichtbaar maken. Ook kunnen de leerlingen een meetwaarde leren associëren met een punt op een as van een grafiek om zo enigszins vertrouwd te raken met het idee van een meetresultaat als een mogelijke waarde die een variabele kan aannemen. Verder zijn grafieken het medium bij uitstek om samenhangen tussen variabelen zichtbaar en bespreekbaar te maken. In feite kan hiermee inhoudelijk gezien zelfs vooruit worden gelopen op de basisprincipes van de integraal- en differentiaalrekening. Het computerprogramma *Dynamische Grafieken* (Van Galen & Gravemeijer, 2010) is een voorbeeld van een programma, waarmee leerlingen al in het basisonderwijs leren omgaan met variabelen. Van Galen en Gravemeijer pleiten voor het ontwikkelen van heldere leergangen rond het werken met grafieken. Daarbij moeten de leerlingen niet alleen inzicht in de grafiek zelf ontwikkelen, maar ook (of juist) in de onderliggende principes: het leren redeneren in termen van variabelen en het leren nadenken over verbanden tussen variabelen.

Ook Wolfram (2010) geeft hiervan een mooi voorbeeld met een programma, waarin jonge kinderen spelenderwijs kunnen ontdekken hoe de vorm van een figuur verandert door het aantal hoekpunten te vergroten of verkleinen.

Tot slot zou het handig en efficiënt gebruiken van de rekenmachine en spreadsheets een prominentere plaats in het basisonderwijs kunnen krijgen. De rekenmachine komt daar nu weliswaar aan bod, maar ook daar ontbreekt een heldere leergang. Spreadsheets komen nog vrijwel niet aan bod. De eerder genoemde *minitools* in de leergang statistiek (Gravemeijer & Cobb, 2006) kunnen eveneens een plaats krijgen in het (basis)onderwijs.

4.5 Tot slot

In het KNAW-rapport 'Rekenonderwijs op de basisschool' (2009, p.28) wordt het volgende opgemerkt: 'Traditioneel rekenen anno 2010 zal op het vlak van zowel inhouden als vaardigheden minder beperkt moeten zijn en zal kerndoelen als meetkunde, hoofdrekenen en schatten en hogere doelen als toepassingsvaardigheid, redeneren, reflecteren en abstractievermogen niet kunnen negeren'. In de laatste decennia is via diverse wegen geprobeerd een

verandering in het onderwijs in deze richting te bewerkstelligen. Toch kunnen Nederlandse leerlingen nog steeds niet goed probleemoplossen, is er nog relatief weinig aandacht voor onderwerpen als meetkunde en statistiek, en is de invloed van moderne technieken mondjesmaat tot het onderwijs doorgedrongen (Lagerwaard & Limpens, 2006, OECD-PISA, 2009). Een reden hiervoor zou kunnen liggen bij de cruciale rol van de leraar bij het al dan niet doorvoeren van veranderingen. De leraar is de verbindende schakel en als die geen *sense of urgency to change* ervaart, zal er weinig van de beoogde doelstellingen terecht komen. Dit betekent dat, willen beoogde veranderingen enige kans van slagen hebben, zicht nodig is op de *concerns* van de leraar. Ook moeten gewenste veranderingen in de eindtermen terugkomen.

Leraren moeten over de pedagogisch-didactische vaardigheden beschikken die interactief, probleemgeoriënteerd onderwijs vraagt. Dit impliceert dat veranderingen ook in pabo's en 2e-graads lerarenopleidingen moeten worden doorgevoerd en in de nascholingstrajecten van docenten aan de orde moeten komen.

Een belangrijke ontwikkeling die veel invloed heeft op het onderwijs en op het gedrag van de leraar van de komende jaren is de invoering van de in het referentiekader beschreven referentieniveaus (Meijerink, 2010). Scholen zijn verplicht deze in te voeren in hun onderwijs, leerlingen moeten de referentieniveaus halen. De Inspectie van het Onderwijs zal hierop controleren en scholen kunnen daar dus op worden afgerekend.

Bij het samenstellen van het referentiekader is het verbeteren van de doorstroming naar het vervolgonderwijs leidend geweest. Er is geen rekening gehouden met technologische ontwikkelingen, veranderingen in de samenleving en toekomstige beroepen die nopen tot een bezinning over de doelen en inhouden van het onderwijs, ook het reken-wiskundeonderwijs. Een actualisering van dit referentiekader lijkt daarom gewenst.

Bij het pleidooi voor accentverschuivingen en verplaatsen van inhouden moet er rekening mee worden gehouden dat voor de onderwijspraktijk (scholen, docenten) het voldoen aan de eisen van de inspectie en goede resultaten op de landelijke toetsen richtinggevend is. Als de onderwijspraktijk ervan kan worden overtuigd dat met het invoeren van nieuwe technologieën doelen ook of zelfs sneller gehaald kunnen worden, zal men eerder geneigd zijn die in te voeren. Een vervolg van dit project zou kunnen zijn om daar goede voorbeelden van te verzamelen of te ontwikkelen en de bruikbaarheid en effectiviteit ervan aan te tonen.

5. De Toekomst Telt: conclusies en aanbevelingen



Op initiatief van de Ververs Foundation is een systematische toekomstgerichte verkenning van wenselijke inhoud van het reken-wiskundeonderwijs uitgevoerd. Centraal stond de vraag welke reken- en wiskundebagage leerlingen in het funderend onderwijs moeten verwerven, als voorbereiding op hun toekomstige beroep en op hun rol als burger in een informatiesamenleving. Naast specifieke reken-wiskundeinhouden is ook gekeken naar generieke vaardigheden voor de 21e eeuw.

De studie is uitgevoerd door SLO in nauwe samenwerking met een projectgroep (zie colofon). De bevindingen uit de studie, zoals gerapporteerd in de hoofdstukken hiervoor, zijn uitvoerig besproken in de projectgroep en resulteren in de conclusies en aanbevelingen in dit hoofdstuk.

De vorige hoofdstukken laten zien welke generieke vaardigheden de 21e eeuw van (toekomstige) werknemers en burgers vraagt en over welke reken-wiskundevaardigheden zij zouden moeten beschikken. Er bestaat internationaal overeenstemming over de (globale) inhoud van *21st century skills*. Dit geldt zowel voor beleid (bijvoorbeeld van de Europese Commissie en de OECD), als voor een groot aantal projecten en studies die zijn gericht op *21st century skills*. Zowel betrokkenen uit verschillende beroepscontexten als onderzoekers geven aan dat van werknemers wordt verwacht dat ze problemen kunnen formuleren, structureren en oplossen, dat ze creatief en innovatief zijn, een kritische houding hebben en op verschillende niveaus kunnen communiceren.

Ook over de benodigde reken- en wiskundevaardigheden in beroepscontexten en in de dagelijkse leefomgeving van mensen tekent zich een redelijk helder, maar complex beeld af. Technologie zorgt ervoor dat apparaten steeds meer reken- en wiskundige taken overnemen. Tegelijkertijd voorzien apparaten ons van grote hoeveelheden kwantitatieve informatie op grond waarvan we beslissingen moeten nemen. In bedrijven maar ook in de media speelt informatie in de vorm van grafieken of tabellen een grote rol. Het kunnen schatten of bepaalde getallen kloppen, wordt in veel beroepscontexten als belangrijke vaardigheid genoemd. Beroepsbeoefenaren moeten in staat zijn om grafieken die afwijken van het bekende correct te interpreteren. Ook is enig inzicht in de werking van apparaten en computerprogramma's en de wiskundige modellen die er aan ten grondslag liggen wenselijk. Het is wel de vraag hoe ver dat inzicht moet gaan en wat de rol van het onderwijs hierbij is.

Het tot op zeker niveau vlot kunnen optellen en aftrekken, vermenigvuldigen en delen blijft van belang. Betekenis geven aan getallen, manipuleren met getallen, globaal rekenen en probleem oplossen hebben echter aan belang gewonnen. Ook meten en meetgetallen, rekenen met schaal en kennis en vaardigheden op het gebied van verhoudingen komen als belangrijk naar voren. Modelleren - het vertalen van een probleemsituatie naar een wiskundig probleem - en het omgaan met variabelen en statistiek worden als belangrijke vaardigheden genoemd die meer aandacht zouden moeten krijgen in het onderwijs.

Ondanks de overeenstemming over wat generieke vaardigheden van de 21e eeuw zijn, zien we hier in Nederlandse scholen maar weinig van terug. Dit geldt zowel voor de generieke vaardigheden als voor de gewenste (accent)verschuivingen in reken- en wiskunde-vaardigheden. In het Nederlandse funderend onderwijs zijn innovatief denken of probleem oplossen geen algemeen geaccepteerde leerdoelen, is er relatief weinig aandacht voor onderwerpen als meetkunde en statistiek en dringen moderne technologische toepassingen maar mondjesmaat door. Als de discussie over het belang van de generieke vaardigheden en de consequenties voor het reken-wiskundeonderwijs niet wordt aangejaagd, is de verwachting dat deze situatie de komende jaren niet zal veranderen.

Onder beleids- en opiniemakers lijkt de aandacht voor *21st century skills* niet groot, hoewel er een aantal initiatieven te constateren is. Er is veel aandacht voor de positie van het Nederlandse onderwijs in internationale vergelijkingen, maar hierover wordt vooral nagedacht binnen de contexten van bestaande onderwijsdoelen. De projectgroep van deze studie beschouwt dit als een gemiste kans, te meer daar de domeinen die de Expertgroep OECD-PISA (2009) onderscheidt goede aanknopingspunten biedt om kritisch en constructief naar bestaande wiskundedoelen te kijken. Tot op heden lijkt er nauwelijks een maatschappelijk of onderwijskundig debat gevoerd te worden over de noodzaak tot inbedding van de *21st century skills* in het onderwijs.

Hoe komt dat? Hierbij spelen volgens de projectgroep de volgende factoren een rol.

In de eerste plaats betreft het een operationaliseringvraagstuk. De generieke vaardigheden, de zogenaamde *21st century skills* die in hoofdstuk 2 worden genoemd, zijn niet eenvoudig uit te werken in concrete onderwijsdoelen. Hoewel er (internationaal) meer goede voorbeelden van praktische uitwerkingen beschikbaar komen, bestaan er ook nog veel onduidelijkheden over de vraag hoe deze vaardigheden een plaats kunnen krijgen in het onderwijs: in welke (nieuwe) vakken en leeractiviteiten en via welke werkvormen? Wat vraagt dit aan competenties van de leraar? En welke cultuuromslag vereist dit binnen de scholen?

Een tweede factor is de onbekendheid over de wijze waarop deze vaardigheden kunnen worden beoordeeld en getoetst. Welk niveau van beheersing moet worden nagestreefd? De voorgestelde generieke vaardigheden zijn in het algemeen moeilijker te toetsen dan het uitvoeren van specifieke rekenbewerkingen. In een cultuur van opbrengstgericht werken en beoordelingen van scholen op basis van toetsresultaten zullen vaardigheden die minder eenvoudig toetsbaar zijn niet snel voet aan de grond krijgen in het onderwijs. Dit raakt ook aan de derde factor, namelijk het ontbreken van een *sense of urgency to change* onder betrokkenen in het onderwijs. We weten dat leraren en schoolleiders cruciale schakels zijn bij het doorvoeren van vernieuwingen. Zij zien de genoemde doelen echter niet terug in wettelijke kaders, beoordelingen van inspectie of bestaande toetsen. Tenslotte speelt wellicht een zeker taboe op discussies over gewenste, toekomstgerichte vernieuwingen van het onderwijs een rol. Polariserende discussies over het competentiegericht leren, het 'nieuwe leren'

of realistisch rekenonderwijs hebben daar ongetwijfeld aan bijgedragen. Beleidsmakers zouden zich tot het 'wat' van het onderwijs moeten beperken en geen uitspraken moeten doen over het 'hoe'. Maar ook vernieuwingen die vooral het 'wat' betreffen botsen vaak op een muur van verzet. Een recent voorbeeld hiervan - weliswaar in een ander domein - is het voorstel tot modernisering van het onderwijs in Grieks en Latijn en de traditionele examen-vorm (de vertaling van een niet eerder geziene tekst). Dit voorstel werd aangepast na hevig protest van ouders, leraren en schoolleiders. Een bijkomende complicerende factor is dat in de praktijk vaak blijkt dat nieuwe doelen of inhouden onvermijdelijk ook consequenties hebben voor uitwerkingen in didactiek en werkvormen. Dat geldt zeker ook voor de *21st century skills*.

De projectgroep is van mening dat een breed debat over de *21st century skills* dringend gewenst is, niet alleen onder en met beleidsmakers, maar ook met onderwijsactoren, ouders en vertegenwoordigers uit het bedrijfsleven. Dit debat moet aansluiten bij actuele beleidsdoelen gericht op de versterking van kennis en vaardigheden die leerlingen moeten verwerven in het licht van de internationale positie van Nederland als kenniseconomie. De discussies over rekenen-wiskunde gaan tot nu toe echter vooral over de versterking van kennis en vaardigheden die van oudsher belangrijk worden gevonden. De grote impact van technologische veranderingen op wat men moeten kennen en kunnen in de huidige informatiesamenleving moet een veel grotere rol gaan spelen in de discussies over doelen en toekomst van het onderwijs. Bij de *21st century skills* gaat het om veel meer dan een toevoeging of vervanging van enkele onderwijsdoelen. Het gaat om een fundamenteel andere manier van denken over wat goed onderwijs is, en daarmee over de typen doelen die ook centraal moeten staan en in relatie daarmee ook over andere vormen van leren en ander typen toetsing.

De analyse van ontwikkelingen die kenmerkend zijn voor onze huidige samenleving brengt de projectgroep tot de volgende aanbevelingen:

1. Initieer een breed maatschappelijk *debat* over het belang van de *21st century skills*. Beleidsmakers, (onderwijs)deskundigen, leraren, leerlingen en ouders moeten zich bewust worden van de noodzaak van deze vaardigheden en nadenken over de consequenties ervan voor het onderwijs. De centrale vraag is wat het betekent voor de doelen en verwachtingen van het onderwijs als de maatschappij vraagt om burgers en werknemers die kritisch kunnen denken, flexibel zijn, problemen kunnen oplossen en sterk zijn in communiceren.
2. Stimuleer operationalisering van *21st century skills* in een samenhangend geheel *in lesmethodes* en in vormen van *toetsing en beoordeling*. Leraren werken met methodes en als de *21st century skills* daar niet in terugkomen, is de kans minder groot dat leraren ze zullen aanbieden. Veel generieke en reken-wiskundevaardigheden zullen niet goed

toetsbaar zijn met behulp van het traditionele toetsinstrumentarium. Zolang de vaardigheden niet terug komen in gangbare toetsen en niet zijn opgenomen in de toetsingskaders van de inspectie zullen zij geen rol van betekenis gaan spelen in het onderwijs.

3. Stimuleer onderzoek naar *kansrijke uitwerkingen van 21st century skills* in leeractiviteiten, werkvormen en curricula. Er zijn vooral antwoorden nodig op vragen als: hoe kunnen bepaalde nieuwe doelen in het onderwijs vorm krijgen en wat vraagt dit aan vaardigheden van leraren?
4. Realiseer binnen de curricula voor rekenen-wiskunde *een nieuw evenwicht* in de aandacht voor verschillende onderwerpen - dit geldt zowel voor het basisonderwijs als voor de 1e fase van het voortgezet onderwijs. Nu ligt de nadruk in het basisonderwijs eenzijdig op de domeinen getallen en verhoudingen. Binnen het domein getallen zou meer aandacht moeten komen voor het ontwikkelen van gevoel voor getallen (*number sense*), globaal rekenen en op het kunnen toepassen van deze kennis. Daarnaast moet er meer aandacht komen voor de domeinen meten-meetkunde, verbanden en onzekerheid in het basisonderwijs. Bij meten-meetkunde betreft dit naast meer aandacht voor ruimte en vorm, meer inzicht in wat meten inhoudt. Bij verbanden moet worden gedacht aan zaken als inzicht in (wiskundige) modellen, variabelen en symbolische representaties als tabellen en grafieken. In het domein onzekerheid gaat het om thema's als variabiliteit, toeval en voorspelbaarheid.
5. Versterk de nadruk op wiskundige vaardigheden zoals *modelleren, probleem formuleren, probleem analyseren* en *probleemoplossen* en *oplossingen evalueren*. Dit geldt ook voor data-analyse en voor kunnen omgaan met grafieken. Ook in het primair onderwijs is het goed mogelijk om aandacht te besteden aan waarschijnlijkheid en statistiek en het leren omgaan met variabelen.
6. Stimuleer de inzet van *apparaten en hulpmiddelen*, zoals rekenmachines en computertools in het onderwijs, die leerlingen ondersteunen bij het oplossen van opgaven. Daarbij is belangrijk dat leerlingen kritisch en met enig inzicht leren omgaan met deze reken-wiskundetools. Ook reken-wiskundesoftware of ICT-tools voor meten en dataverzameling kunnen meer worden ingezet in het onderwijs.
7. Stimuleer het leren oplossen van *authentieke (reken-wiskunde)problemen* waarmee belangrijke overkoepelende doelen van het reken- en wiskundeonderwijs als gecijferdheid (*numeracy*) en wiskundige geletterdheid (*mathematical literacy*) binnen bereik komen. Een 'gecijferde' leerling weet flexibel met zijn rekenvaardigheden om te gaan en deze toe te passen in het dagelijks handelen. Ook bij wiskundige geletterdheid ligt de nadruk op het functioneel gebruiken van wiskundige kennis in verschillende situaties en contexten, op een gevarieerde, reflectieve en inzichtelijke manier.

De projectgroep is van mening dat beleidsmakers, de Inspectie van het Onderwijs, toetsontwikkelaars en landelijke pedagogische centra een taak hebben om deze aanbevelingen te operationaliseren.

Lerarenopleidingen en nascholingsinstellingen kunnen een belangrijke rol spelen bij het doorvoeren van veranderingen, door er in hun aanbod rekening mee te houden. Tot slot kunnen de PO-raad en de VO-raad als belangrijke intermediairs een functie vervullen in het gewenste proces van verandering.

Samenvatting

We leven in een snel veranderende en steeds complexere samenleving, waarin technologische ontwikkelingen er onder andere voor zorgen dat grote hoeveelheden informatie binnen enkele seconden beschikbaar zijn. Gevolgen hiervan werken door in allerlei gebieden van het maatschappelijk leven en in beroepspraktijken. De huidige en toekomstige ontwikkelingen in de informatiesamenleving vragen om een heroverweging van de kennis en vaardigheden die in het onderwijs ontwikkeld moeten en kunnen worden, opdat leerlingen goed worden voorbereid op veranderde en veranderende beroepen en leefomgeving.

Op initiatief van de Ververs Foundation (VF) is een verkennende studie uitgevoerd, met als centrale vraag:

Welke relevante kennis, vaardigheden en houdingen binnen reken-wiskundeonderwijs moeten worden nagestreefd om leerlingen goed voor te bereiden op beroepen en burgerschap in een snel veranderende informatiesamenleving?

De studie is uitgevoerd door SLO in nauwe samenwerking met een projectgroep (zie colofon).

Na een brede, algemene verkenning van *21st century skills* volgt een toespitsing hiervan op het reken- en wiskundeonderwijs in het funderend onderwijs, dat wil zeggen het onderwijs aan leerlingen in de leeftijd van 4 tot 14/15 jaar. Om gefundeerde uitspraken te kunnen doen is een internationaal literatuuronderzoek uitgevoerd en zijn interviews met sleutelfiguren in bedrijven en kenniscentra en met onderzoekers gehouden. In dit rapport wordt verslag gedaan van de resultaten van de studie, resulterend in enkele conclusies en aanbevelingen.

In hoofdstuk 2 is nagegaan wat bekend is over de kennis, vaardigheden en attitudes die mensen nodig hebben om te kunnen functioneren in de kennismaatschappij (of informatiesamenleving) van de 21e eeuw. Dit is geïllustreerd aan de hand van tien generieke vaardigheden in het KSAVE-model.

A Manieren van denken
1 Creatief en innovatief denken
2 Kritisch denken, probleemoplosvaardigheden, beslissingen nemen
3 Leren leren (metacognitie)
B Manieren van werken
4 Communiceren
5 Samenwerken (teamwerk)
C Instrumenten (benodigdheden om te kunnen werken)
6 Informatievaardigheden
7 ICT-vaardigheden

D Wereldburgerschap

8 Burgerschap (lokaal en wereldwijd)

9 Leven en werken (loopbaan)

10 Persoonlijke en sociale verantwoordelijkheid
(inclusief cultureel bewustzijn en culturele competentie).

Binkley, Erstad, Herman, Raizen, Ripley & Rumble (2010).

Er bestaat redelijke overeenstemming over de (globale) inhoud van de *21st century skills*. Dat geldt echter niet voor de vraag hoe deze *21st century skills* in het onderwijs kunnen worden gerealiseerd. Betrokkenen in het onderwijs lijken nog geen deel te nemen aan de discussie over *21st century skills* en de plaats daarvan in het curriculum. Nieuwe vaardigheden vragen niet alleen om een herbezinning op de doelen en inhoud van het onderwijs, maar ook om reflectie op andere curriculumaspecten zoals de plaats van deze nieuwe kennis en vaardigheden in het curriculum, de organisatie, (didactische) werkvormen en beoordelingswijzen.

In hoofdstuk 3 staan de kennis en vaardigheden van werknemers in de 21e eeuwse samenleving centraal. Wat moeten werknemers kunnen om goed in hedendaagse beroepscontexten te functioneren? Hiervoor zijn interviews gehouden met betrokkenen in die bedrijfssectoren waar veel veranderingen hebben plaatsgevonden onder invloed van de toenemende technologisering. Ook zijn onderzoekers op het gebied van wiskunde, natuurwetenschappen en technologie geïnterviewd.

Technologie speelt op verschillende manieren een rol in het bedrijfsleven. Het kan menselijk handelen vervangen, maar ook aanvullen of informeren. Routinetaken worden steeds meer overgenomen door computers of uitbesteed aan lagelonenlanden. Dit leidt niet zozeer tot minder, maar wel tot andere benodigde kennis bij de werknemer. Niet-routinetaken, zoals flexibiliteit, creativiteit, probleemoplosvaardigheden en communicatieve en samenwerkvaardigheden, worden steeds belangrijker op alle niveaus in het bedrijfsleven. Beroepsbeoefenaren van nu moeten vooral in staat zijn om goed met apparatuur te werken en het proces/product te controleren. Een werknemer moet weten wat hij moet doen als er iets misgaat. Daar komt ook creativiteit en flexibiliteit bij kijken. Een werknemer moet indien nodig een probleem kunnen analyseren, gegevens kunnen combineren en op basis daarvan tot een verantwoorde beslissing kunnen komen. De meningen lopen uiteen als het gaat om de vraag of de werknemer ook enig inzicht moet hebben in de werking van de apparaten waarmee hij werkt (*black of grey box*). Onderzoekers concluderen dat werknemers wel een idee moeten hebben van de werking van de *black box*, zeker als het gaat om beroepen die een hoger opleidingsniveau vereisen. Argumenten die men hiervoor aanvoert zijn behalve inhoudelijk (bijvoorbeeld oorzaak-gevolg-relaties kunnen leggen), ook gericht op generieke

vaardigheden, zoals het ontwikkelen van een kritische houding, onafhankelijkheid en creativiteit.

Het steeds sneller ter beschikking hebben van informatie vraagt van mensen en bedrijven ook om het continu alert zijn op veranderingen. In veel bedrijven moeten op alle niveaus snel beslissingen worden genomen, veelal op basis van abstracte informatie verkregen via grafieken of tabellen. Kritisch kunnen denken is vaak genoemd binnen de context van het kunnen inschatten of getallen op een computeruitdraai kunnen kloppen of niet. Het kennen en kunnen omgaan met softwarepakketten en databases is een belangrijke vaardigheid in alle sectoren. Als belangrijke reken- en wiskundevaardigheden worden vooral getalkennis en het kritisch kunnen interpreteren van getallen, maatkennis (meten en meetgetallen, maar ook rekenen met schaal, omzettingen van 2D naar 3D en tijdrekenen), kennis van verhoudingen en data-analyse genoemd.

Net als de mensen uit het bedrijfsleven geven de onderzoekers aan dat het kwantificeerbaar maken van grote hoeveelheden data, al dan niet grafisch weergegeven, een belangrijke vaardigheid is in de beroepsuitoefening.

Ook het mathematiseren, probleem formuleren/analyseren/oplossen worden vaak genoemd door onderzoekers. Het flexibel kunnen omgaan met informatie komt daarbij als vanzelfsprekend naar voren.

In hoofdstuk 4 staat de vraag centraal naar de betekenis van de veranderde kennissamenleving voor de inhoud van het reken- en wiskundeonderwijs in de basisschool en de eerste leerjaren van het voortgezet onderwijs.

Door technologische ontwikkelingen is de functie van het rekenen voor burgers in de maatschappij veranderd. Burgers en werknemers komen steeds vaker in situaties terecht die een beroep doen op het kunnen omgaan met informatie en grote hoeveelheden data. Daarmee zijn vaardigheden als schatten, betekenis geven aan getallen en probleemoplossen nodig. De gevraagde reken- en wiskundekennis is abstracter van aard. Van een werknemer wordt verwacht dat hij getalkennis heeft en getallen kritisch kan interpreteren. Daarnaast zijn vaardigheden als probleem formuleren, probleem oplossen, globaal rekenen, het omgaan met variabelen en statistiek belangrijker geworden dan voorheen.

Kennis en vaardigheden op het gebied van rekenen en wiskunde blijven van groot belang. De generieke vaardigheden zullen daar juist aan moeten worden gekoppeld. Generieke vaardigheden voor het reken- en wiskundeonderwijs betreffen: wiskundig denken en redeneren, wiskundig argumenteren, probleem stellen en oplossen, representeren, symboliseren en formaliseren, communiceren en (effectief gebruik van) hulpmiddelen. Heel belangrijk hierbij is dat er meer nadruk komt te liggen op een functioneel gebruik van rekenen en wiskunde. Dat sluit aan bij de ontwikkelingen die met het begrip 'wiskundige geletterdheid' worden aangeduid. Hierbij gaat het om het functioneel

gebruiken van wiskundige kennis in verschillende situaties, op een gevarieerde, reflectieve en inzichtelijke manier. Het gaat om de vaardigheid problemen te formuleren (in wiskundige taal), problemen op te lossen en te interpreteren en daarbij wiskunde te gebruiken binnen een veelheid aan situaties en contexten.

Een belangrijk aandachtspunt is het aanbieden van reële problemen binnen betekenisvolle contexten in het onderwijs, waardoor een betere transfer mogelijk wordt.

De generieke reken- en wiskundevaardigheden kunnen sterker worden ingebed in de bestaande domeinen van rekenen en wiskunde. Binnen deze domeinen is wel behoefte aan accentverschuivingen. In het basisonderwijs krijgt het vlot kunnen optellen, aftrekken, vermenigvuldigen en delen, het rekenen met breuken, procenten, kommagetallen en verhoudingen van oudsher de nodige aandacht. Veel minder aandacht krijgen onderdelen als meten en meetkunde, verbanden, data-verzameling en data-analyse. Technologische hulpmiddelen zouden effectiever kunnen worden ingezet bij het leren van formele (reken) bewerkingen. Daarmee zou tijd vrij kunnen komen voor meer aandacht voor de genoemde andere onderdelen.

Conclusies en aanbevelingen

1. Initieer een breed maatschappelijk debat over het belang van de *21st century skills*. Beleidsmakers, (onderwijs)deskundigen, leraren, leerlingen en ouders moeten zich bewust worden van de noodzaak van deze vaardigheden en nadenken over de consequenties ervan voor het onderwijs. De centrale vraag is wat het betekent voor de doelen en verwachtingen van het onderwijs als de maatschappij vraagt om burgers en werknemers die kritisch kunnen denken, flexibel zijn, problemen kunnen oplossen en sterk zijn in communiceren.
2. Stimuleer operationalisering van *21st century skills* in een samenhangend geheel in *lesmethodes* en in vormen van *toetsing en beoordeling*. Leraren werken met methodes en als de *21st century skills* daar niet in terugkomen, is de kans minder groot dat leraren ze zullen aanbieden. Veel generieke en reken-wiskundevaardigheden zullen niet goed toetsbaar zijn met behulp van het traditionele toetsinstrumentarium. Zolang de vaardigheden niet terug komen in gangbare toetsen en niet zijn opgenomen in de toetsingskaders van de inspectie zullen zij geen rol van betekenis gaan spelen in het onderwijs.
3. Stimuleer onderzoek naar *kansrijke uitwerkingen* van *21st century skills* in leeractiviteiten, werkvormen en curricula. Er zijn vooral antwoorden nodig op vragen als: hoe kunnen bepaalde nieuwe doelen in het onderwijs vorm krijgen en wat vraagt dit aan vaardigheden van leraren?
4. Realiseer binnen de curricula voor rekenen-wiskunde *een nieuw evenwicht* in de aandacht voor verschillende onderwerpen - dit geldt zowel voor het basisonderwijs als voor de eerste fase van het voortgezet onderwijs. Nu ligt de nadruk in het basisonderwijs

eenzijdig op de domeinen getallen en verhoudingen. Binnen het domein getallen zou meer aandacht moeten komen voor het ontwikkelen van gevoel voor getallen (*number sense*), globaal rekenen en op het kunnen toepassen van deze kennis. Daarnaast moet er meer aandacht komen voor de domeinen meten-meetkunde, verbanden en onzekerheid in het basisonderwijs. Bij meten-meetkunde betreft dit naast meer aandacht voor ruimte en vorm, meer inzicht in wat meten inhoudt. Bij verbanden moet worden gedacht aan zaken als inzicht in (wiskundige) modellen, variabelen en symbolische representaties als tabellen en grafieken. In het domein onzekerheid gaat het om thema's als variabiliteit, toeval en voorspelbaarheid.

5. Versterk de nadruk op wiskundige vaardigheden zoals *modelleren*, *probleem formuleren*, *probleem analyseren* en *probleemoplossen* en *oplossingen evalueren*. Dit geldt ook voor data-analyse en voor kunnen omgaan met grafieken. Ook in het primair onderwijs is het goed mogelijk om aandacht te besteden aan waarschijnlijkheid en statistiek en het leren omgaan met variabelen.
6. Stimuleer de inzet van *apparaten en hulpmiddelen*, zoals rekenmachines en computer-tools in het onderwijs, die leerlingen ondersteunen bij het oplossen van opgaven. Daarbij is belangrijk dat leerlingen kritisch en met enig inzicht leren omgaan met deze reken-wiskundetools. Ook reken-wiskundesoftware of ICT-tools voor meten en dataverzameling kunnen meer worden ingezet in het onderwijs.
7. Stimuleer het leren oplossen van *authentieke (reken-wiskunde)problemen* waarmee belangrijke overkoepelende doelen van het reken- en wiskundeonderwijs als gecijferdheid (*numeracy*) en wiskundige geletterdheid (*mathematical literacy*) binnen bereik komen. Een 'gecijferde' leerling weet flexibel met zijn rekenvaardigheden om te gaan en deze toe te passen in het dagelijks handelen. Ook bij wiskundige geletterdheid ligt de nadruk op het functioneel gebruiken van wiskundige kennis in verschillende situaties en contexten, op een gevarieerde, reflectieve en inzichtelijke manier.

De discussies over rekenen-wiskunde gaan tot nu toe vooral over de versterking van kennis en vaardigheden die van oudsher belangrijk worden gevonden. De grote impact van technologische veranderingen op wat men moet kennen en kunnen in de huidige informatiesamenleving moet een veel grotere rol gaan spelen in deze discussie. Het gaat bij *21st century skills* om veel meer dan een toevoeging of vervanging van enkele onderwijsdoelen. Het betreft een andere manier van denken over wat goed onderwijs is, over het type doelen dat centraal moet staan en - in relatie daarmee - ook over andere vormen van leren en ander typen toetsing.

Daarnaast is structureel onderzoek nodig naar de effecten van veranderingen die worden voorgesteld. Alleen dan ontstaat voortschrijdend inzicht in de wijze waarop het onderwijs kan bijdragen aan de voorbereiding op leven en werken in de 21e eeuw.

Literatuur

Admiraal-Hilgeman, T.J. (2009). *Door loopbaanontwikkeling competent leren omgaan met organisatieontwikkeling in het onderwijs*. Proefschrift, Universiteit van Tilburg.

Anderson, R. (2008). Implications of the information and knowledge society for education. In J. Voogt, & G. Knezek, (Eds.), *International handbook of information technology in primary and secondary education* (pp. 5-22). New York: Springer.

Artigue, M. (2011). *Current challenges in basic mathematics education*. Parijs: UNESCO.

Baartman, L.K.J., & Gravemeijer, K. (2010). *What future employees need to know about science and technology*. Eindhoven: Technische Universiteit.

Bakker, A., & Gravemeijer, K. P. E. (2004). Learning to reason about distribution. In D. Ben-Zvi & J. Garfield (Eds.), *The challenge of developing statistical literacy, reasoning, and thinking* (pp. 147-168). Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers.

Bakker, A., Hoyles, C., Kent, Ph., & Noss, R. (2006). Improving work processes by making the invisible visible. *Journal of Education and Work*, 19(4), 343-361.

Bakker, A., Kent, P., Derry, J., Noss, R., & Hoyles, C. (2008). Statistical inference at work: The case of statistical process control. *Statistics Education Research Journal*, 7(2), 130-145.

Bakker, A, Kent, P, Noss, R., & Hoyles, C. (2009). Alternative representations of statistical measures in computer tools to promote communication between employees in automotive manufacturing. *Technology Innovations in Statistics Education*, 3(2), 31 pgs. Retrieved from: <http://www.escholarship.org/uc/item/53b9122r>

Bakker, A., Wijers, M., & Akkerman, S. F. (2010). The influence of technology on what vocational students need to learn about statistics: The case of lab technicians. In: C. Reading (Ed.), *Data and context in statistics education: Towards an evidence-based society*. Proceedings of the Eighth International Conference on Teaching Statistics, 6 pgs. Voorburg: International Statistical Institute.
http://www.stat.auckland.ac.nz/~iase/publications/icots8/ICOTS8_8I4_BAKKER.pdf

Bakker, A., Wijers, M., Jonker, V., & Akkerman, S. F. (accepted pending on revision). The use, nature and purposes of measurement in intermediate-level occupations. *ZDM, Zentralblatt für Didaktik der Mathematik*.

Berg, B. van de, Jager, C.J., & Gillebaard, H. (2010). *Behoeftenonderzoek mediawijsheid*. Utrecht: Dialogic.

Binkley, Marilyn, Ola Erstad, Joan Herman, Senta Raizen, Martin Ripley, & Mike Rumble (2010). *Defining 21st century skills*. University of Melbourne.

Boschma, Jeroen, & Inez Groen (2006). *Generatie Einstein*. Pearson Education Benelux.

Boswinkel, N., & Langberg, M. (2009). *Passende Perspectieven met referentieniveaus taal en rekenen*. Projectplan. Enschede: SLO.

Brummelhuis, A.ten, & Plomp, T. (2007). Voorbereiden op onderwijs in de informatiemaatschappij. In M. Popkema, P. Wilhelm, & K. Boersma, (red.), *Jaarboek Onderwijs in de kennisamenleving*. Amsterdam: Aksant.

Bruin-Muurling, G., Gravemeijer, K.P.E., Eijck, M.W. van (2010). Aansluiting schoolboeken basisschool en havo/vwo. *Nieuw Archief voor Wiskunde*, 5/11(1), 33-37.

Carr, N. (2010). *The Shallows, How the Internet is changing the way we think, read and remember*. London: Atlantic Books.

Colo, Kwalificatiedossiers 2010-2011. <http://www.kwalificatiesmbo.nl/nieuws/items/7.html>

Colo & Wec-Raad (2010). *Bruggen bouwen tussen speciaal onderwijs, de kenniscentra en de arbeidsmarkt*. Concept projectplan.

Commissie Toekomst WiskundeOnderwijs (2007). *Rijk aan betekenis*.

Dam, G. ten, Geijssel, F., Reumerman, R., & Ledoux, G. (2010). Burgerschapscompetenties: de ontwikkeling van een meetinstrument. *Pedagogische Studiën* (87), p. 313-333.

Dede, C. (2008). *New Horizons. A Seismic shift in Epistemology*. Educause Review May/June 2008.

Diepstraten, E.M.M. (2006). *De nieuwe leerder. Trendsettende leerbiografieën in een kennisamenleving*. Dissertatie. Tilburg: OSA/Universiteit van Tilburg.

Drijvers, P. (2007). Instrument, orkest en dirigent: een theoretisch kader voor ICT-gebruik in het wiskundeonderwijs. *Pedagogische Studiën*, 84(5), 358-374.

Dusseldorp, E. van (2009). Realistisch rekenen. Ter discussie in Nederland, in opmars daarbuiten. In *Villa Onderwijs - leren, leiden, innoveren*, pp. 45-48. Utrecht: APS.

European Union. Recommendation of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 on key competences for lifelong learning. *Official Journal of the European Union*. L 394/10, 30.12.2006.

Ernst & Young (2010). *Winning in the new economy*. Download:
<http://www.ey.com/GL/en/Issues/Business-environment/>

Expertgroep doorlopende leerlijnen Taal en Rekenen (2008). *Over de drempels met Taal en Rekenen: hoofdrapport van de Expertgroep Doorlopende Leerlijnen Taal en Rekenen*. Enschede: SLO.

Fransen, J. (2007). *Digital natives vereisen een herontwerp van het onderwijs. Studenten van morgen hanteren andere strategieën in kennisconstructie*. Jaarboek kennissamenleving 2007. <http://www.inholland.nl/NR/rdonlyres/>

Gal, I. (2000). *Adult Numeracy Development - Theory, Research, Practice*. Cresskill (NJ, USA): Hampton Press Inc.

Galen, F. van, & Gravemeijer, K. (2010). *Dynamische grafieken op de basisschool*. Ververs Foundation & Freudenthal Instituut.

Gool, A.B. van, & Hertog, J.B. den (2008). De toekomst van het onderwijs in rekenen-wiskunde op de basisschool - meningen van deelnemers aan de Panama-conferentie 2007. *Reken-wiskundeonderwijs: onderzoek, ontwikkeling, praktijk - Panama-Post* 27(2), 17-23.

Goos, M. & Manning, A. (2003). *'Lousy and Lovely Jobs: The Rising Polarization of Work in Britain'*. CEP Discussion Papers dp0604. Centre for Economic Performance, LSE (downloadable).

Graft, M. van, & Kemmers, P. (2007). *Onderzoekend en ontwerpend leren bij natuur en techniek*. Basisdocument over de didactiek voor onderzoekend en ontwerpend leren in het primair onderwijs. Enschede: SLO.

Graft, M. van, Klein Tank, M., & Verheijen, S. (2011). *Ontwerp en bouw je eigen dierentuin*. Een lessenreeks volgens onderzoekend en ontwerpend leren voor de bovenbouw van het basis-onderwijs. Enschede: SLO.

Gravemeijer, K.P.E (2001). *Reken-wiskundeonderwijs voor de 21^e eeuw*. Oratie.

Gravemeijer, K.P.E., & Cobb, P.(2006). Design research from a learning design perspective. In Akker, J. van, Gravemeijer, K., McKenney, S., Nieveen, N.(Eds). *Educational Design Research*, pp. 45-85. London: Routledge, Taylor Francis Group.

Gravemeijer, K.P.E. (2007). Reken-wiskundeonderwijs anno 2007. Tussen oude waarden en nieuwe uitdagingen. *Reken-wiskundeonderwijs: onderzoek, ontwikkeling, praktijk – Panama-Post* 26(4), 3-10.

Gravemeijer, K. (2007). Wiskundeonderwijs voor de kennissamenleving. In M. Popkema, P. Wilhelm, & K. Boersma (eds.), *Onderwijs in de Kennissamenleving. Jaarboek 2007*. Amsterdam: Aksant.

Gravemeijer, K. (2009). *Leren voor later. Toekomstgericht science- en techniekonderwijs voor de basisschool*. Intreerede, 20 maart 2009. Eindhoven: Technische Universiteit.

Gravemeijer, K. (in voorbereiding). *Mathematics Education and the Information Society*.

Groenestijn, M. van (2002). *A Gateway to Numeracy*. Dissertatie.

Groenestijn, M. van (2010). *Op weg naar gecijferdheid*. Lectoraat. Utrecht: Hogeschool van Utrecht.

Hoogland, K. (2005). Gecijferd. Hoe ga je om met de kwantitatieve aspecten van de wereld om ons heen? *Euclides*, 80(4), 186-189.

Hoogland, K., & Meeder, M. (2007). *Gecijferdheid in beeld*. Utrecht: APS. Zie ook <http://www.gecijferdheid.nl/>

Hoogland, K., Reeuwijk, M. van, Sjoers, S., Vliegthart, M., Vught, R. van, Wijk, P. van (2009). *Rekenen in het Voortgezet Onderwijs. Waarom? Wat? Hoe?*. Utrecht: APS.

Hoyles, C., Bakker, A., Kent, P., & Noss, R. (2007). Attributing meanings to representations of data: The case of statistical process control. *Mathematical Thinking and Learning*, 9, 331-360.

Hoyles, C., Noss, R., Kent, P., & Bakker, A. (2010). *Improving mathematics at work: The need for techno-mathematical literacies*. Routledge: London.

Innovam (2008). *Sleutelen met cijfers*. Nieuwegein: Innovam Groep.

Kaput, J., & Schorr, R. (2007). Changing representational infrastructures changes most everything: The case of SimCalc, Algebra, and Calculus. In G. Blume and K. Heid (Eds.), *Research on technology in the learning and teaching of mathematics: Syntheses and perspectives* (pp. 211-253). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Keijzer, R. (red.) (2007). De toekomst van het reken-wiskundeonderwijs. Verslag 25ste Panama-conferentie. *Reken-wiskundeonderwijs: onderzoek, ontwikkeling, praktijk - Panama-Post* 26(2), 3-12.

Kemmers, P., & Graft, M. van (2007). *Onderzoekend en ontwerpnd leren bij natuur en techniek*. Lesmateriaal. Den Haag: Stichting Platform Bèta Techniek.

Kent, P., Noss, R., Guile, D., Hoyles, C., & Bakker, A. (2007). Characterizing the use of mathematical knowledge in boundary-crossing situations at work. *Mind, Culture, and Activity*, 14, 64-82.

Klep, J., Letschert, J., & Thijs, A. (2004). *Wat gaan we leren?* Het kiezen van inhoud voor onderwijs. Enschede: SLO.

Koninklijke Nederlandse Academie voor Wetenschappen (2009). *Rekenen op de basisschool*. Analyse en sleutels tot verbetering. Amsterdam: KNAW.

Kolovou, A., Heuvel-Panhuizen, M. van den, & Bakker, A. (2009). Non-routine problem solving tasks in primary school mathematics textbooks – A needle in a haystack. *Mediterranean Journal for Research in Mathematics Education*, 8(2), 31-68.

Kraaijeveld, K., & Weusten, S. (2010). *Denken moet je leren*. Volkskrant, zaterdag 13 november 2010.

Kooij, H. van der (2010). Beroepscompetenties en wiskundige vaardigheid. In M. van Zanten (red.), *Waardevol reken-wiskundeonderwijs - kenmerken van kwaliteit*. Utrecht: FIsme.

Kuiper, W., Hoeven, M. van der, Folmer, E., Graft, M. van, Akker, J. van den (2010). *Leerplankundige analyse van PISA-trends*. Enschede: SLO.

Lagerwaard, K., & Limpens, G. (2006). Over probleemoplossen en wiskunde. In T. Dekker, K. Lagerwaard, J. de Lange, G. Limpens, & M. Wijers, *Wiskundige geletterdheid volgens PISA, Hoe staat de vlag erbij? 1. Analyse*. Utrecht/Arnhem: Freudenthal Instituut/Cito.

- Lange, J. de (1992). Higher order (un) teaching. The goal of mathematics for all. In *Developments in School Mathematics Education Around the World*, pp. 49-73.
- Lange, J. de (2003). Mathematics for Literacy. In Madison, L. Bernard, & L.A. Steen, *Quantitative Literacy. Why Numeracy Matters for Schools and Colleges*. Princeton, New Jersey: The National Council on Education and the Disciplines.
- Law, N., Pelgrum, W.J., & Plomp, T. (2008). *Pedagogy and ICT use in schools around the world. Findings from the IEA SITES 2006 study*. CERC Studies in comparative education. Hong Kong: Comparative Education Research Centre, The University of Hong Kong, and Dordrecht: Springer.
- Levy, F., & Murnane, R.J. (2006). *How Computerized Work and Globalization Shape Human Skill Demands*. Zie: <http://web.mit.edu/flevy/www/>.
- Lovász, L. (2007). *Trends in Mathematics, and How they could Change Education?* Conférence Européenne: Le Futur de l'Éducation Mathématique en Europe. Lissabon, december 2007. <http://www.cs.elte.hu/~lovasz/lisbon.pdf>
- Maslowski, R. (2010). Denk scherper na over burgerschap. Geciteerd in *Didactief*, 7, p. 25.
- Meijerink e.a. (2009). *Een nadere beschouwing*. Over de drempels met taal en rekenen. Enschede: SLO.
- Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap (2011). *Actieplan Beter Presteren: opbrengstgericht en ambitieus*. Den Haag: OCW.
- Noss, R. (1997). *New Cultures, New Numeracies*. London: Institute of Education (inaugural lecture).
- Noss, R., Bakker, A., Hoyles, C., & Kent, P. (2007). Situating graphs as workplace knowledge. *Educational Studies in Mathematics*, 65, 367-384.
- Obbink, Hanne (2011). Zonder rekenen geen diploma. *Trouw, De Verdieping*, pp 6&7, 14 september 2011.
- OECD (2004). Lifelong learning. Observer. February, 1-8. <http://www.oecd.org/dataoecd/17/11/29478789.pdf>

OECD (2009). *Learning mathematics for life*. A perspective from PISA.

OECD-PISA Expertgroep (2009). PISA 2009. *Assessment framework*. Key competencies in reading, mathematics and science. Parijs: OECD

Onderwijsraad (2000). *Koers BVE*. Den Haag.

Palfrey, J., & U. Gasser (2008). *Born digital. Understanding The First Generation of Digital Natives*. New York: Basic Books.

Plomp, T., & Nieveen, N. (Eds.) (2009). *An Introduction to Educational Design Research*. Enschede: SLO.

Raad voor Cultuur (2005). *Mediawijsheid. De ontwikkeling van nieuw burgerschap*. Den Haag.

Reich, R. (1992). *The work of nations. Preparing ourselves for the 21st century capitalism*. New York: Vintage Books.

Rosen, Linda P., Lindsay Weil, & Claus von Zastrow (2003). Quantitative literacy in the Workplace: making it a reality. In Madison, L., Bernard L., & L.A Steen (ed.), *Quantitative Literacy. Why Numeracy Matters for Schools and Colleges*, 43-52. Princeton, NJ: National Council on Education and the Disciplines.

Scardamalia, M., Bransford, J., Kozma, B., & Quellmalz, E. (2010). *New assessments and environments for knowledge building*. Draft White Paper 4. ATCS 21, University of Melbourne.

Schoot, F. van der (2008). *Onderwijs op peil? Een samenvattend overzicht van 20 jaar PPON*. Arnhem: Cito.

Steen, L.A. (1990). *On the shoulders of the Giants: new approaches to Numeracy*. Washington: National Academy Press

Steen, L.A. (2003). Data, Shapes, Symbols: Achieving Balance in School Mathematics. In Madison, Bernard L., & L.A. Steen, *Quantitative Literacy. Why Numeracy Matters for Schools and Colleges*. Princeton, New Jersey: The National Council on Education and the Disciplines.

Qing Li (2010). Digital game building: learning in a participatory culture. *Educational Research*. Vol. 52(4), 427-443.

UNESCO (2008). *ICT Competency Standards for Teachers*. Policy Framework. Parijs: UNESCO.

Voogt, J., & Knezek, G. (Eds.) (2008). *International handbook of information technology in primary and secondary education*. New York: Springer.

Voogt, J., & N. Pareja Roblin (2010). 21st century skills. *Een discussienota*. Hengelo: Universiteit Twente.

Wagner, T. (2008). The global achieving gap. *Why even our best schools don't teach the new survival skills our children need and what we can do about it*. New York: Basic Books.

Wolfram, S. (2010). *Computing a theory of everything*. Video.
http://www.ted.com/talks/stephen_wolfram_computing_a_theory_of_everything.html

Wijers ea (2007). *Raamwerk rekenen-wiskunde voor het MBO*. Utrecht: FIsme.

Wijers e.a. (2008 - ..). *Raamwerk rekenen-wiskunde voor het MBO*. Update.
<http://www.fi.uu.nl/mbo/raamwerkrekenenwiskunde/>

Zolingen, S.J. van (1995). *Gevraagd sleutelkwalificaties: een studie naar sleutelkwalificaties voor het middelbaar beroepsopleiding*. Nijmegen: KUN.

Bijlagen

Bijlage 1 Lijst met afkortingen

2D, 3D	Twee Dimensionaal, Drie Dimensionaal
ATCS	Assessment and Teaching of 21st Century Skills
BO	Beroeps Onderwijs
CERI	Center for Educational Research and Improvement
CITO	Centraal Instituut voor Toetsontwikkeling
cTWO	Commissie Toekomst Wiskunde Onderwijs
CvE	College voor Examens
EU	Europese Unie
eVIVA	electronic Virtual Ipsative Valid Assessment
HBO	Hoger Beroeps Onderwijs
ICCS	International Civic and Citizenship Educational Study
ICT	Informatie en Communicatie Technologie
IEA	International Association for the Evaluation of Educational Achievement
IPA	Intelligent Parking Assist
KSAVE	Knowledge, Skills, and Attitudes, Values and Ethics
LOVS	Leerling Volg en Ontwikkelings Systeem
MBO	Middelbaar Beroeps Onderwijs
MUVEs	Multi User Virtual Environments
NAEP	Technological Literacy Framework for the 2012 National Assessment of Educational Progress
NETS	National Educational Technology Standards
NIBUD	Nationaal Instituut voor Budgetvoorlichting
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development
OESO	Organisatie voor Economische Samenwerking en Ontwikkeling
P21	Partnership for 21st century Skills
PISA	Programme for International Student Assessment
PO	Primair Onderwijs
ROC	Regionaal Opleidingen Centrum
SD	Standaard Deviatie
SLO	Nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling
SMS	Short Message Service
TED	Technology, Entertainment, Design
TIMSS	Trends in International Mathematics and Science Study
TmL	Techno-mathematical Literacy
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization
VF	Ververs Foundation

VMBO	Vorbereidend Middelbaar Beroeps Onderwijs
VO	Voortgezet Onderwijs
VWO	Vorbereidend Wetenschappelijk Onderwijs
WEC	Wet op de Expertise Centra
WPO	Wet op het Primair Onderwijs

Bijlage 2 21st Century Skills – KSAVE Model

Project: Assessment & Teaching of 21st Century Skills

ATC21S – The University of Melbourne, Australia

From: White Paper 1: Defining 21st century skills¹⁹

By: Marilyn Binkley, Ola Erstad, Joan Herman, Senta Raizen, Martin Ripley, with Mike Rumble

Ten 21st century skills and the KSAVE Model

To structure the analysis of 21st century skills frameworks, an overall conceptual diagram was created. This diagram defines not only skills but also categories for the various requirements for those skills.

(i) 10 skills (or competencies) grouped into 4 categories:

Ways of thinking

1. Creativity and Innovation
2. Critical Thinking, Problem Solving, Decision Making
3. Learning to Learn, Metacognition

Ways of Working

4. Communication
5. Collaboration (Teamwork)

Tools for Working

6. Information Literacy (includes research)
7. ICT Literacy

Living in the World

8. Citizenship – Local and Global
9. Life and Career
10. Personal & Social Responsibility – Including Cultural Awareness and Competence.

(ii) Three categories within the KSAVE Model.

Knowledge

This category includes all references to specific knowledge or understanding requirements for each of the 10 competencies.

Skills

This category includes the abilities, skills and processes that curriculum frameworks are designed to develop in students and which are a focus for learning.

Attitudes, Values, Ethics

This category refers to the behaviors and aptitudes that students exhibit in relation to each of the 10 competencies.

¹⁹ Full reference:

Binkley, M., Erstad, O., Herman, J., Raizen, S., Ripley, M., & Rumble, M. (2010). Defining 21st century skills. Melbourne: The University of Melbourne. Retrieved January 2010 from <http://atc21s.org/>

Table 1: Ways of thinking - #1. Creativity and Innovation

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<p>Think and work creatively and with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • now a wide range of idea creation techniques (such as brainstorming). • Be aware of invention, creativity and innovation from the past within and across national boundaries and cultures. • Know the real world limits to adopting new ideas and how to present them in more acceptable forms. • Know how to recognize failures and differentiate between terminal failure and difficulties to overcome. <p>Implement innovations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Be aware of and understand where and how innovation will impact and the field in which the innovation will occur. • Be aware of the historical and cultural barriers to innovation and creativity. 	<p>Think creatively</p> <ul style="list-style-type: none"> • Create new and worthwhile ideas (both incremental and radical concepts). • Be able to elaborate, refine, analyze and evaluate one's own ideas in order to improve and maximize creative efforts. <p>Work creatively with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Develop, implement and communicate new ideas to others effectively. • Be sensitive to the historical and cultural barriers to innovation and creativity. <p>Implement innovations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Develop innovative and creative ideas into forms that have impact and be adopted. 	<p>Think creatively</p> <ul style="list-style-type: none"> • Be open to new and worthwhile ideas (both incremental and radical concepts). <p>Work creatively with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Be open and responsive to new and diverse perspectives; incorporate group input and feedback into the work. • View failure as an opportunity to learn; understand that creativity and innovation is a long-term, cyclical process of small successes and frequent mistakes. <p>Implement innovations</p> <ul style="list-style-type: none"> • Show persistence in presenting and promoting new ideas.

Table 2: Ways of thinking - #2. Critical Thinking, Problem Solving, Decision Making

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<p>Reason effectively, use systems thinking and evaluate evidence</p> <ul style="list-style-type: none"> • Understand systems and strategies for tackling unfamiliar problems. • Understand the importance of evidence in belief formation • Reevaluate beliefs when presented with conflicting evidence. <p>Solve problems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Identify gaps in knowledge. • Ask significant questions that clarify various points of view and lead to better solutions. <p>Articulation</p> <ul style="list-style-type: none"> • Clearly articulate the results of one's inquiry. 	<p>Reason effectively</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use various types of reasoning (inductive, deductive, etc.) as appropriate to the situation. <p>Use systems thinking</p> <ul style="list-style-type: none"> • Analyze how parts of a whole interact with each other to produce overall outcomes in complex systems. Examine ideas, identify and analyse arguments. • Synthesize and make connections between information and arguments. • Interpret information and draw conclusions based on the best analysis. Categorise, decode and clarify information. • Effectively analyze and evaluate evidence, arguments, claims and beliefs. • Analyze and evaluate major alternative points of view. 	<p>Make reasoned judgments and decisions</p> <ul style="list-style-type: none"> • Consider and evaluate major alternative points of view. • Reflect critically on learning experiences and processes. • Incorporate these reflections into the decision-making process. <p>Solve problems</p> <ul style="list-style-type: none"> • Be open to non-familiar, unconventional and innovative solutions to problems and to ways to solve problems. • Ask meaningful questions that clarify various points of view and lead to better solutions. <p>Attitudinal disposition</p> <ul style="list-style-type: none"> • Trustful of reason. • Inquisitive and concerned to be well informed. • Open and fair minded. • Flexible and honest.

- *Evaluate. Assess claims and arguments.*
- *Infer. Query evidence, conjecture alternatives and draw conclusions.*
- *Explain. Stating results, justifying procedures and presenting arguments.*
- *Self-regulate, self-examine and self correct.*
- *Inquisitiveness and concern to be well informed.*
- *Alert to opportunities to use ICT.*
- *Trustful of and confident in reason.*
- *Open and fair minded, flexible in considering alternative opinions.*
- *Honest assessment of one's own biases.*
- *Willingness to reconsider or revise one's views where warranted.*

Table 3: Ways of thinking - #3. Learning to Learn, Metacognition

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<ul style="list-style-type: none"> • <i>Knowledge and understanding of one's preferred learning methods, the strengths and weaknesses of one's skills and qualifications.</i> • <i>Knowledge of available education and training opportunities and how different decisions during the course of education and training lead to different careers.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Effective self-management of learning and careers in general: ability to dedicate time to learning, autonomy, discipline, perseverance and information management in the learning process.</i> • <i>Ability to concentrate for extended as well as short periods of time.</i> • <i>Ability to reflect critically on the object and purpose of learning.</i> • <i>Ability to communicate as part of the learning process by using appropriate means (intonation, gesture, mimicry, etc.) to support oral communication as well as by understanding and producing various multimedia messages (written or spoken language, sound, music etc.).</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>A self-concept that supports a willingness to change and further develop competences as well as self-motivation and confidence in one's capability to succeed.</i> • <i>Positive appreciation of learning as a life-enriching activity and a sense of initiative to learn.</i> • <i>Adaptability and flexibility.</i>

Table 4: Ways of working - #4. Communication

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<p>Competency in language in mother tongue</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sound knowledge of basic vocabulary, functional grammar and style, functions of language. • Awareness of various types of verbal interaction (conversations, interviews, debates, etc.) and the main features of different styles and registers in spoken language. • Understanding the main features of written language (formal, informal, scientific, journalistic, colloquial, etc.). <p>Competency in additional language/s</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sound knowledge of basic vocabulary, functional grammar and style, functions of language. 	<p>Competency in language in mother tongue and additional language/s</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ability to communicate, in written or oral form, and understand, or make others understand, various messages in a variety of situations and for different purposes. • Communication includes the ability to listen to and understand various spoken messages in a variety of communicative situations and to speak concisely and clearly. • Ability to read and understand different texts, adopting strategies appropriate to various reading purposes (reading for information, for study or for pleasure) and to various text types. • Ability to write different types of texts for various purposes. To monitor the writing process (from drafting to proofreading). 	<p>Competency in language in mother tongue</p> <ul style="list-style-type: none"> • Development of a positive attitude to the mother tongue, recognizing it as a potential source of personal and cultural enrichment. • Disposition to approach the opinions and arguments of others with an open mind and engage in constructive and critical dialogue. • Confidence when speaking in public. • Willingness to strive for aesthetic quality in expression beyond the technical correctness of a word/phrase. • Development of a love of literature. • Development of a positive attitude to intercultural communication.

- *Understanding the paralinguistic features of communication (voice-quality features, facial expressions, postural and gesture systems).*
- *Awareness of societal conventions and cultural aspects and the variability of language in different geographical, social and communication environments.*

- *Ability to formulate one's arguments, in speaking or writing, in a convincing manner and take full account of other viewpoints, whether expressed in written or oral form.*
- *Skills needed to use aids (such as notes, schemes, maps) to produce, present or understand complex texts in written or oral form (speeches, conversations, instructions, interviews, debates).*

Competency in additional language/s

Sensitivity to cultural differences and resistance to stereotyping

Table 5: Ways of working - #5. Collaboration, Teamwork

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<p>Interact effectively with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Know when it is appropriate to listen and when to speak. <p>Work effectively in diverse teams</p> <ul style="list-style-type: none"> • Know and recognize the individual roles of a successful team and know own strengths and weaknesses recognizing and accepting them in others. <p>Manage projects</p> <ul style="list-style-type: none"> • Know how to plan, set and meet goals and to monitor and re-plan in the light of unforeseen developments 	<p>Interact effectively with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Speak with clarity and awareness of audience and purpose. Listen with care, patience and honesty. • Conduct themselves in a respectable, professional manner. <p>Work effectively in diverse teams</p> <ul style="list-style-type: none"> • Leverage social and cultural differences to create new ideas and increase both innovation and quality of work. <p>Manage projects</p> <ul style="list-style-type: none"> • Prioritize, plan and manage work to achieve the intended group result. <p>Guide and lead others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use interpersonal and problem-solving skills to influence and guide others toward a goal. • Leverage strengths of others to accomplish a common goal. 	<p>Interact effectively with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Know when it is appropriate to listen and when to speak. • Conduct themselves in a respectable, professional manner. <p>Work effectively in diverse teams</p> <ul style="list-style-type: none"> • Show respect for cultural differences and be prepared to work effectively with people from a range of social and cultural backgrounds. • Respond open-mindedly to different ideas and values. <p>Manage projects</p> <ul style="list-style-type: none"> • Persevere to achieve goals, even in the face of obstacles and competing pressures. <p>Be responsible to others</p> <ul style="list-style-type: none"> • Act responsibly with the interests of the larger community in mind.

- *Inspire others to reach their very best via example and selflessness.*
- *Demonstrate integrity and ethical behavior in using influence and power.*

Table 6: Tools for working - #6. Information literacy

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<p>Access and evaluate information</p> <ul style="list-style-type: none"> • Access information efficiently (time) and effectively (sources). • Evaluate information critically and competently. <p>Use and manage information</p> <ul style="list-style-type: none"> • Use information accurately and creatively for the issue or problem at hand. • Manage the flow of information from a wide variety of sources. • Apply a fundamental understanding of the ethical/legal issues surrounding the access and use of information. • Basic understanding of the reliability and validity of the information available (accessibility/ acceptability) and awareness of the need to respect ethical principles in the interactive use of IST. 	<p>Access and evaluate information</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ability to search, collect and process (create, organize, distinguish relevant from irrelevant, subjective from objective, real from virtual) electronic information, data and concepts and to use them in a systematic way. <p>Use and manage information</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ability to use appropriate aids presentations, graphs, charts, maps) to produce, present or understand complex information. • Ability to access and search a range of information media including the printed word, video and websites and to use internet-based services such as discussion fora and e-mail. 	<p>Access and evaluate information</p> <ul style="list-style-type: none"> • Propensity to use information to work autonomously and in teams; critical and reflective attitude in the assessment of available information. <p>Use and manage information</p> <ul style="list-style-type: none"> • Positive attitude and sensitivity to safe and responsible use of the Internet, including privacy issues and cultural differences. • Interest in using information to broaden horizons by taking part in communities and networks for cultural, social and professional purposes.

Apply technology effectively

- *Use technology as a tool to research, organize, evaluate and communicate information.*
- *Use digital technologies (computers, PDAs, media players, GPS, etc.), communication/networking tools and social networks appropriately to access, manage, integrate, evaluate and create information to successfully function in a knowledge economy.*
- *Ability to use information to support critical thinking, creativity and innovation in different contexts at home, leisure and work.*
- *Ability to search, collect and process written information, data and concepts in order to use them in study and to organize knowledge in a systematic way. Ability to distinguish, in listening, speaking, reading and writing, relevant from irrelevant information.*

Table 7: Tools for working - #7. ICT literacy

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<p>Access and evaluate information & communication technology</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Understanding of the main computer applications, including word processing, spreadsheets, databases, information storage and management.</i> • <i>Awareness of the opportunities given by the use of Internet and communication via electronic media (e-mail, videoconferencing, other network tools); and the differences between the real and virtual world.</i> <p>Analyze media</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Understand both how and why media messages are constructed, and for what purposes.</i> 	<p>Access and evaluate information & communication technology</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Access ICT efficiently (time) and effectively (sources).</i> • <i>Evaluate information and ICT tools critically and competently.</i> <p>Use and manage information</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Use ICT accurately and creatively for the issue or problem at hand.</i> • <i>Manage the flow of information from a wide variety of sources.</i> • <i>Apply a fundamental understanding of the ethical/legal issues surrounding the access and use of ICT and media.</i> • <i>Employ knowledge and skills in the application of ICT and media to communicate, interrogate, present and model.</i> 	<p>Access and evaluate information & communication technology</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Be open to new ideas, information, tools and ways of working but evaluate information critically and competently.</i> <p>Use and manage information</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Use information accurately and creatively for the issue or problem at hand respecting confidentiality, privacy and intellectual rights.</i> • <i>Manage the flow of information from a wide variety of sources with sensitivity and openness to cultural and social differences.</i> • <i>Examine how individuals interpret messages differently, how values and points of view are included or excluded, and how media can influence beliefs and behaviors.</i>

- *Examine how individuals interpret messages differently, how values and points of view are included or excluded, and how media can influence beliefs and behaviors.*
- *Understand the ethical/legal issues surrounding the access and use of media.*

Create media products

- *Understand and know how to utilize the most appropriate media creation tools, characteristics and conventions.*
- *Understand and know how to effectively utilize the most appropriate expressions and interpretations in diverse, multicultural environments.*

Create media products

- *Utilize the most appropriate media creation tools, characteristics and conventions, expressions and interpretations in diverse, multicultural environments.*

Apply technology effectively

- *Use technology as a tool to research, organize, evaluate and communicate information.*
- *Use digital technologies (computers, PDAs, media players, GPS, etc.), communication/networking tools and social networks appropriately to access, manage, integrate, evaluate and create information to successfully function in a knowledge economy.*
- *Apply a fundamental understanding of the ethical/legal issues surrounding the access and use of information technologies.*

Apply and employ technology with honesty & integrity

- *Use technology as a tool to research, organize, evaluate and communicate information accurately and honestly with respect for sources and audience.*
- *Apply a fundamental understanding of the ethical/legal issues surrounding the access and use of information technologies.*

Table 8: Living in the World - #8. Citizenship – local and global

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<ul style="list-style-type: none"> • Knowledge of civil rights and the constitution of the home country, the scope of its government. • Understand the roles and responsibilities of institutions relevant to the policy-making process at local, regional, national, and international level. • Knowledge of key figures in local and national governments; political parties and their policies. • Understand concepts such as democracy, citizenship and the international declarations expressing them. • Knowledge of the main events, trends and agents of change in national, and world history. • Knowledge of the movements of peoples and cultures over time around the world. 	<ul style="list-style-type: none"> • Participation in community/ neighborhood activities as well as in decision-making at national and international levels; voting in elections. • Ability to display solidarity by showing an interest in and helping to solve problems affecting the local or the wider community. • Ability to interface effectively with institutions in the public domain. • Ability to profit from the opportunities given by the home country and international programs. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sense of belonging to one’s locality, country, and (one’s part of) the world. • Willingness to participate in democratic decision-making at all levels. • Disposition to volunteer and to participate in civic activities, support for social diversity and social cohesion. • Readiness to respect the values and privacy of others with a propensity to react against anti-social behavior. • Acceptance of the concept of human rights and equality; acceptance of equality between men and women. • Appreciation and understanding of differences between value systems of different religious or ethnic groups. • Critical reception of information from mass media.

Table 9: Living in the World - #9. Life and Career

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<p>Adapt to change</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Be aware that the 21st century is a period of changing priorities in employment, opportunity and expectations.</i> • <i>Understand diverse views and beliefs particularly in multicultural environments.</i> <p>Manage goals and time</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Understand models for long, medium and short term planning and balance tactical (short-term) and strategic (long-term) goals.</i> <p>Be self-directed learners</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Identify and plan for personal and professional development over time and in response to change and opportunity.</i> <p>Manage projects</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Set and meet goals, even in the face of obstacles and competing pressures.</i> • <i>Prioritize, plan and manage work to achieve the intended result.</i> 	<p>Adapt to change</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Operate in varied roles, jobs responsibilities, schedules and contexts.</i> <p>Be flexible</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Incorporate feedback effectively.</i> • <i>Negotiate and balance diverse views and beliefs to reach workable solutions.</i> <p>Manage goals and time</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Set goals with tangible and intangible success criteria.</i> • <i>Balance tactical (short-term) and strategic (long-term) goals.</i> • <i>Utilize time and manage workload efficiently.</i> <p>Work Independently</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Monitor, define, prioritize and complete tasks without direct oversight.</i> <p>Interact effectively with others</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Know when it is appropriate to listen and when to speak.</i> 	<p>Adapt to change</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Be prepared to adapt to varied responsibilities, schedules and contexts, recognize and accept the strengths of others.</i> • <i>See opportunity ambiguity and changing priorities.</i> <p>Be flexible</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Incorporate feedback and deal effectively with praise, setbacks and criticism.</i> • <i>Be willing to negotiate and balance diverse views to reach workable solutions.</i> <p>Manage goals and time</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Accept uncertainty and responsibility and self manage.</i> <p>Be self-directed learners</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>Go beyond basic mastery to expand one's own learning.</i> • <i>Demonstrate initiative to advance to a professional level.</i> • <i>Demonstrate commitment to learning as a lifelong process.</i>

Work effectively in diverse teams

- *Leverage social and cultural differences to create new ideas and increase both innovation and quality of work.*

Manage projects

- *Set and meet goals, prioritize, plan and manage work to achieve the intended result even in the face of obstacles and competing pressures.*

Guide and lead others

- *Use interpersonal and problem solving skills to influence and guide others toward a goal.*
- *Leverage strengths of others to accomplish a common goal.*
- *Inspire others to reach their very best via example and selflessness.*
- *Demonstrate integrity and ethical behavior in using influence and power.*

- *Reflect critically on past experiences for progress.*

Work effectively in diverse teams

- *Conduct self in a respectable, professional manner.*
- *Respect cultural differences, work effectively with people from varied backgrounds.*
- *Respond open-mindedly to different ideas and values.*

Produce results

- *Demonstrate ability to:*
 - o *Work positively and ethically*
 - o *Manage time and projects effectively*
 - o *Multi-task*
 - o *Be reliable and punctual*
 - o *Present oneself professionally and with proper etiquette*
 - o *Collaborate and cooperate effectively with teams*
 - o *Be accountable for results.*

Be responsible to others

- *Act responsibly with the interests of the larger community in mind.*

Table 10: Living in the World - #10. Personal & Social Responsibility (including cultural awareness and competence)

Knowledge	Skills	Attitudes, Values, Ethics
<ul style="list-style-type: none"> • Know the codes of conduct and manners generally accepted or promoted in different societies. • Awareness of concepts of individual, group, society and culture and the historical evolution of these concepts. • Knowledge of how to maintain good health, hygiene and nutrition for oneself and one's family. • Knowledge of the intercultural dimension in their own and other societies. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ability to communicate constructively in different social situations (tolerating the views and behavior of others; awareness of individual and collective responsibility). • Ability to create confidence and empathy in other individuals. • Ability to express one's frustration in a constructive way (control of aggression and violence or self-destructive patterns of behavior). • Ability to maintain a degree of separation between the professional and personal spheres of life, and to resist the transfer of professional conflict into personal domains. 	<ul style="list-style-type: none"> • Showing interest in and respect for others. • Willingness to overcome stereotypes and prejudices. • Disposition to compromise. • Integrity. • Assertiveness.

- *Awareness and understanding of national cultural identity in interaction with the cultural identity of Europe and the rest of the world; ability to see and understand the different viewpoints caused by diversity and contribute one's own views constructively.*
- *Ability to negotiate.*

Bijlage 3 Interviewvragen bedrijven, kenniscentra en onderzoekers

Bijlage 3a: Interviewvragen bedrijven

Algemeen:

- 1) Kunt u kort uw eigen bedrijf en uw eigen functie beschrijven?
- 2) Kunt u kort de ontwikkelingen binnen uw bedrijf beschrijven, gedurende de laatste 5 a 10 jaar? Wat zijn de belangrijkste veranderingen binnen uw bedrijf en waardoor zijn deze veranderingen veroorzaakt? Denk bijvoorbeeld aan: andere werkzaamheden, andere vaardigheden, andere competenties, maar ook andere soorten werknemers, enzovoort.

(Het is belangrijk om van tevoren te weten wat de geïnterviewde verstaat onder natuurwetenschappen, techniek en rekenen-wiskunde. Conceptualisering is belangrijk voor het voortgaande onderzoek.)

Vragen over natuurwetenschap, techniek en rekenen-wiskunde binnen eigen bedrijf:

Hoeveelheid en inhoud natuurwetenschap-techniek en rekenen-wiskunde (n/t/rw):

- 3) Kunt u concrete voorbeelden noemen van beroepstaken in uw bedrijf waarbij n/t/rw een rol spelen?
- 4) *(Van tevoren duidelijk hebben over welke werknemers gesproken gaat worden)* Hebben deze werknemers de laatste jaren meer of minder of andere kennis en vaardigheden nodig op het gebied van n/t/rw? Waardoor wordt dit veroorzaakt, volgens u?
- 5) Denkt u dat deze trend zich gaat voortzetten, dat de eisen aan n/t/rw blijven veranderen voor werknemers van de toekomst?

Flexibiliteit en creativiteit:

- 6) Veel bedrijven zijn constant aan het innoveren, om bij te blijven ten opzichte van de concurrentie, maar ook door bijvoorbeeld ontwikkelingen op het gebied van milieu, energie, wensen van klanten, enzovoort. Door deze constante ontwikkelingen moeten werknemers flexibel en creatief zijn, om bij te blijven in hun vakgebied. Is dit herkenbaar in uw bedrijf? Waaruit blijkt dat? Kunt u voorbeelden noemen? Hoe gaan werknemers om met zulke veranderingen?

Vragen over concrete beroepstaken:

- 7) Als u een nieuwe werknemer zoekt op mbo-niveau, waar let u dan op? En specifiek op het gebied van n/t/rw?
- 8) Wat zou zo'n werknemer nodig hebben aan kennis en vaardigheden op het gebied van n/t/rw als hij of zij wil doorstromen naar een hogere functie? Welke mensen stromen wel en niet door naar een hogere functie? Kunt u voorbeelden noemen?
- 9) Kunnen werknemers op mbo-niveau deze kennis en vaardigheden opdoen tijdens het

werk of blijkt dit moeilijk? Kunt u uitleggen waarom?

- 10) Wat zijn volgens u de belangrijkste verschillen op het gebied van n/t/rw tussen starters en ervaren werknemers binnen uw bedrijf?
- 11) Welke kennis en vaardigheden op het gebied van n/t/rw nemen nieuwe werknemers mee vanuit hun opleiding, en in hoeverre wordt dit als nuttig ervaren?
- 12) Als werknemers werken met machines, computers, logistiek, plannings, processen, enzovoort, moeten zij dan zelfstandig zicht hierop hebben (bijvoorbeeld moeten zij zo'n apparaat dan alleen kunnen gebruiken?) of moeten ze ook inzicht hebben in de interne en vaak onzichtbare werking van machines, computers, plannings, processen, enzovoort?
- 13) a. Wat gebeurt er als een machine of computer stuk gaat? Of als er problemen zijn met logistiek, plannings, enzovoort? Kunnen werknemers op mbo-niveau het type probleem herkennen? Kunnen zij een diagnose stellen?
- 13) b. Kunnen werknemers zo'n probleem dan zelf oplossen? Wie vragen ze eventueel om hulp? Welke specifieke kennis en vaardigheden heeft die persoon dan?
- 14) Kunt u kort beschrijven welke (technologische) ontwikkelingen u de komende jaren verwacht en hoe deze ontwikkelingen van invloed zijn op uw bedrijf en de werknemers?
- 15) Als er nieuwe materialen zoals machines (maar dit kan ook wat anders zijn) door uw bedrijf worden aangeschaft, hoe leren uw werknemers hier dan mee omgaan? Wat moeten ze wel en niet weten met betrekking tot n/t/rw?

Vragen over n/t/rw binnen de opleidingen aan de ROC's:

- 16) Wat vindt u van het huidige mbo-onderwijs? Ontbreekt er iets of worden studenten goed voorbereid op de eisen die u stelt aan werknemers op het gebied van n/t/rw? Waarom wel of niet?
Kunt u ook verder terug redeneren en aangeven hoe dit voor het vervolgonderwijs en primair onderwijs geldt?
- 17) Kunt u concrete voorbeelden noemen van onderwerpen (kennis en vaardigheden) die in het onderwijs volgens u ontbreken?
- 18) In hoeverre werkt u samen met ROC's in uw regio om de inhoud van het onderwijs mede te bepalen en aan te passen aan eventueel nieuwe eisen?

Heeft u suggesties voor mbo-opleidingen/ROC's die interessant zouden kunnen zijn voor dit onderzoek en die wellicht zouden willen meewerken?

Voorbeelden beroepstaken:

We zijn in dit onderzoek op zoek naar voorbeelden van concrete beroepssituaties waarin werknemers hun kennis en vaardigheden (inclusief houding) op het gebied van n/t/rw gebruiken.

- a) Kunt u enkele voorbeelden beschrijven uit uw bedrijf?
- b) Kunt u (hypothetische) voorbeelden noemen van beroepssituaties in de toekomst/de laatste ontwikkelingen waarin werknemers n/t/rw gebruiken?

Bijlage 3b Interviewvragen Kenniscentra

Vragen over eigen kenniscentrum:

- 19) Kunt u kort uw eigen organisatie en uw rol hierbinnen beschrijven?
- 20) Welke opleidingen/branches of bedrijven vallen binnen uw kenniscentrum?
- 21) Zijn er de afgelopen jaren branches / bedrijfstakken verdwenen of bijgekomen? Welke? En waarom?
- 22) Hoe houdt uw kenniscentrum contact met de verschillende bedrijven? Hoe houdt het kenniscentrum zich bezig met (eventuele) ontwikkelingen op het gebied van natuurwetenschappen/techniek/rekenen-wiskunde (n/t/rw)?

Vragen over n/t/rw binnen de branche/bedrijven:

Hoeveelheid n/t/rw:

- 23) Zijn er branches/bedrijven waarbinnen werknemers steeds meer te maken krijgen met n/t/rw?
- 24) Kunt u concrete voorbeelden noemen uit bedrijven waar u contact mee heeft? Bij wat voor beroepstaken is steeds meer n/t/rw nodig? Wat voor n/t/rw?
- 25) Kunt u beschrijven waardoor deze veranderingen volgens u worden veroorzaakt?
- 26) Zijn er ook branches/bedrijven waarbinnen juist minder n/t/rw nodig is? Waardoor wordt dit volgens u veroorzaakt?

Andere inhoud n/t/rw:

- 27) Zijn er inhoudelijke ontwikkelingen te signaleren, bijvoorbeeld branches/bedrijven die andere eisen stellen aan werknemers dan een paar jaar geleden? En hoe is dit op het gebied van n/t/rw?
- 28) Kunt u hier concrete voorbeelden van noemen? Bij wat voor beroepstaken worden tegenwoordig andere eisen gesteld wat betreft n/t/rw dan een paar jaar geleden?
- 29) Denkt u dat deze trend zich gaat voortzetten, dus dat de eisen aan n/t/rw blijven veranderen voor werknemers van de toekomst?
- 30) Waar wordt dit door veroorzaakt, volgens u?

Flexibiliteit en creativiteit:

- 31) Veel bedrijven zijn constant aan het innoveren, om bij te blijven ten opzichte van de concurrentie, maar ook door bijvoorbeeld ontwikkelingen op het gebied van milieu, energie, wensen van klanten, enzovoort. Door deze constante ontwikkelingen moeten

werknemers flexibel en creatief zijn, om bij te blijven in hun vakgebied. Is dit herkenbaar binnen de verschillende branches? Waar speelt dit wel en niet, volgens u?

Eventueel stellen als geïnterviewde zicht heeft op 'doorstromers':

- 32) Als we kijken naar werknemers op mbo-werkniveau die in een bedrijf doorstromen naar hogere functies, wat hebben zij dan nodig? Wat hebben zij specifiek nodig aan n/t/rw? Waarin onderscheiden deze 'doorstromers' zich van werknemers die niet doorstromen?
- 33) Als we kijken naar werknemers op mbo-werkniveau, hoeveel inzicht hebben zij dan nodig in de black boxes waarmee zij werken? Is het voldoende als zij met apparaten en computers kunnen werken of hebben zij (meer) inzicht nodig? En welke principes van n/t/rw zitten hierachter?

Heeft u suggesties voor bedrijven die interessant zouden kunnen zijn voor dit onderzoek en die wellicht zouden willen meewerken? We zijn specifiek op zoek naar bedrijven waar nu en in de toekomst veel (technologische) ontwikkelingen spelen, waardoor werknemers wellicht meer of andere kennis van n/t/rw nodig hebben. Op deze bedrijven zouden we graag een werknemer en een leidinggevende interviewen om hen te vragen naar concrete beroepssituaties waarin zij n/t/rw gebruiken. We willen graag weten of en hoe het gebruik van n/t/rw is veranderd in de afgelopen jaren en hoe dit in de toekomst zal gaan veranderen, naar hun mening.

Vragen over n/t/rw binnen de opleidingen aan de ROC's:

- 34) Lopen opleidingen vooruit op wat het bedrijfsleven in de toekomst vraagt, of wordt de inhoud van het onderwijs meer bepaald door wat bedrijven op dit moment nodig hebben?
- 35) Sluit het onderwijs op dit moment voldoende aan bij de n/t/rw die werknemers nu en in de toekomst nodig hebben?

Heeft u suggesties voor mbo-opleidingen/ROC's die interessant zouden kunnen zijn voor dit onderzoek, en die wellicht zouden willen meewerken?

Voorbeelden beroepstaken:

We zijn in dit onderzoek op zoek naar voorbeelden van concrete beroepssituaties waarin werknemers hun kennis en vaardigheden op het gebied van n/t/rw gebruiken.

- c) Kunt u wat voorbeelden beschrijven uit uw bedrijf?
- d) Kunt u (hypothetische) voorbeelden noemen van beroepssituaties in de toekomst/de laatste ontwikkelingen waarin werknemers n/t/rw gebruiken?

Bijlage 3c Interviewvragen onderzoekers

Vragen over eigen en ander onderzoek:

- 1) Kunt u kort uw eigen onderzoek beschrijven, en dit specifiek op het terrein van wetenschap en techniek en/of rekenen-wiskunde?
- 2) Wat zijn volgens u de belangrijkste uitkomsten van bestaand onderzoek die we mee zouden moeten nemen in dit onderzoek? Heeft u referenties/stukken opgestuurd?
- 3) Wat zijn volgens u de belangrijkste issues/discussiepunten die momenteel spelen in dit onderzoeksterrein? Waar liggen hiaten in bestaand onderzoek?

Over begrippen/concepten:

- 4) Wat verstaat u onder 'wetenschap' als het gaat over wetenschap & techniek in het onderwijs?
- 5) Wat verstaat u onder 'techniek' als het gaat over wetenschap & techniek in het onderwijs?
- 6) Ziet u wetenschap en techniek als (onlosmakelijk) met elkaar verbonden of eerder als twee losse begrippen met hun eigen kennisdomein? Waarom?
- 7) Wat verstaat u onder kennis, vaardigheden en attituden (k/v/a) en denkt u dat het nuttig is om in het kader van dit onderzoek te spreken over deze termen? Waarom wel of niet?

Over kennis, vaardigheden en attituden voor werknemers van de toekomst:

- 8) Denkt u dat 'werknemers van de toekomst' andere k/v/a nodig gaan hebben? Waarom wel of niet? Kunt u voorbeelden noemen?
- 9) Denkt u dat er in de toekomstige maatschappij andere k/v/a nodig zijn als we het hebben over onze rol als burger?
- 10) Sluit het onderwijs op dit moment voldoende aan bij de k/v/a die werknemers van de toekomst nodig hebben? Waar zijn eventueel veranderingen nodig als het gaat om de inhoud (het *wat*)? Waar zijn eventueel veranderingen nodig als het gaat om de manier waarop dit onderwezen wordt (het *hoe*)?
- 11) Als we kijken naar werknemers op mbo-werkniveau, hoeveel inzicht hebben zij dan nodig in de *black boxes* waarmee zij werken? Is het voldoende als zij met apparaten en computers kunnen werken, of hebben zij (meer) inzicht nodig in de wiskunde/techniek/science hierachter?
- 12) Als we kijken naar werknemers op mbo-werkniveau die in een bedrijf doorstromen naar hogere functies, wat hebben zij dan nodig aan wiskunde/techniek/science? Waarin onderscheiden deze 'doorstromers' zich van werknemers die niet doorstromen op dit gebied?

Over de omschrijving van kennis, vaardigheden en attituden:

- 13) In literatuur worden k/v/a vaak op een heel algemeen niveau beschreven ('probleem-oplossen') of heel specifiek uitgewerkt in lange lijsten met inhoudelijke leerpunten. Op welk niveau van specificiteit zouden we volgens u het beste de k/v/a op het gebied van wetenschap en techniek en/of wiskunde voor de toekomst kunnen omschrijven?
- 14) Kunt u voorbeelden noemen van k/v/a op dit niveau van specificiteit die in elk geval in dit rijtje thuishoren?
- 15) Als u kijkt naar het rijtje hieronder, wat vindt u dan van het niveau van specificiteit en de eventuele samenhang tussen de begrippen in dit rijtje?

Voorbeelden van begrippen:

- Modelleren
- Observeren
- Experimenteren
- Meten
- Analyseren
- Denken in termen van variabelen
- Visualiseren
- Relaties leggen
- Praktisch redeneren
- Doel-middel relaties doorzien en gebruiken
- Ontwerpen

Kent u andere onderzoekers die werken op dit terrein en die we beslist zouden moeten spreken in het kader van dit onderzoek? Heeft u andere tips voor onze onderzoeken?

Geïnterviewde onderzoekers

Naam	Specialisatie	Contact
Dr. A. Bakker	Statistiekonderwijs, techno-math literacies in werksituaties, authentieke handelingspraktijken	UU, Fisme, wiskunde
Dr.ir. G. Bruin-Muurling	Toegepaste wiskunde en wiskunde didactiek. Onderzoeker van reken- en wiskundeonderwijs	TU Eindhoven Eindhoven School of Education
Dr. P. Drijvers	ICT, algebra, Commissie Toekomst Wiskunde Onderwijs	UU, Fisme, wiskunde
Prof.dr. A.L. Ellermeijer	Directeur voormalig Amstel Instituut UvA. Nu Directeur CMA. Fysicus, beta didactiek.	C.M.A.
Prof.dr. K. Gravemeijer	Science en techniek educatie. Onderzoek van reken-wiskundeonderwijs	TU Eindhoven Eindhoven School of Education
Drs. V. Jonker	ICT en didactiek, gecijferdheid, digitale leeromgevingen, wiskunde-competenties voor mbo-opleidingen	UU, Fisme, wiskunde
Prof.dr. G. Koole	Optimalisatie van bedrijfsprocessen, faculteit exacte wetenschappen, afdeling wiskunde.	Vrije Universiteit Amsterdam
Dr. E. Savelsbergh	Probleemoplossen, externe representaties, computerondersteund modelleren en onderzoekend leren in de natuurwetenschappen	UU, Fisme, natuurkunde
Prof.dr. M. de Vries	Hoogleraar bèta-didactiek, bijzonder hoogleraar reformatorische wijsbegeerte	TU Delft
Drs. M. Wijers	Ontwerpen wiskundeonderwijs (o.a. praktische opdrachten, prestaties), contexten. Wiskunde-competenties voor mbo-opleidingen	UU, Fisme, wiskunde

Geïnterviewde kenniscentra en bedrijven

Naam	Functie	Bedrijf/ Kenniscentrum
M. Hovingh	Consultant	Innovam Consult, Nieuwegein
R. van der Rijst	Service adviseur	Ford Utrecht
L. van Stenus	Manager sector Reclame, Presentatie en Communicatie en hoofd ontwikkeling Opleidingen, Onderwijsdiensten en Examens	KC Savantis, Waddinxveen
Mw. L. Kroon	Kwalificatiedossiers	
M. Zielhuis	Hoofddocent met als specialisatie gaming en animaties	Grafisch Lyceum Rotterdam
Mw. M. Lunter	Hoofd afdeling Ontwikkeling & Innovatie	KC Aequor, Ede
Mw. H. Vroom	Team-manager Ontwikkeling & Innovatie	KC Calibris, Bunnik
T. van Weerdenburg Opleidingsadviseur Docent	Medewerker Innovatie en Ontwikkeling	KC SVGB, Nieuwegein KC SVGB, Nieuwegein Dutch Healthtec Academy
Mw. J. van Berlo	Projectleider Kwalificatiestructuur & senior adviseur Sector ICT	ECABO, Amersfoort
Mw. K. Wittenberg	Senior adviseur ontwikkeling & innovatie	

Bijlage 4 Samenvatting ‘Improving mathematics at work’

De Britse onderzoeksgroep van Hoyles en Noss doet al jarenlang systematisch onderzoek naar reken-wiskundevaardigheden op de werkvloer. Vanwege de beperkte beschikbaarheid van dergelijk onderzoek nemen we een samenvatting van de onlangs verschenen publicatie ‘*Improving mathematics at work*’ op in dit rapport.

Hoyles, C., Noss, R., Kent, P., & Bakker, A. (2010). *Improving Mathematics at Work. The Need for Techno-Mathematical Literacies*. London-New York: Routledge.

Samengevat door M. van Graft, SLO.

Mondiale ontwikkelingen stellen nieuwe eisen aan werknemers in bedrijfsleven en industrie. Dat geldt zowel voor werknemers met een (middelbare) beroepsopleiding als voor werknemers die een universitaire studie hebben afgerond. De globalisering en de vrije-markteconomie leiden tot veranderingen in de economie en het bedrijfsleven en hebben tot gevolg dat het werk van individuele werknemers verandert. Door de globalisering van de markt en concurrentie veranderen producten en praktijken van bedrijven. Informatietechnologie (IT) in computersystemen wordt veelvuldig gebruikt om de efficiëntie van de productie en de kwaliteit van de producten te verbeteren. Deze veranderingen hebben ook betekenis voor vaardigheden op het gebied van rekenen-wiskunde waarover werknemers dienen te beschikken.

Politici en werknemers (in de UK) zijn zich ervan bewust dat deze veranderingen belangrijke tekortkomingen aan het licht brengen in vaardigheden op dit gebied, met name als het gaat om het begrijpen en werken met symbolen waarmee technische informatie wordt aangeduid. Dat heeft bij bedrijven geleid tot het in dienst nemen van specialisten om IT-systemen op te zetten en te bedienen, met als nadeel dat bij hen kennis van en ervaring met het desbetreffende bedrijf vaak ontbreken.

De introductie van informatietechnologie in de vorm van computers en gecomputeriseerde machines kan worden beschouwd als een van de belangrijkste veranderingen in werkprocessen in de afgelopen 25 jaar. Het hoofddoel van deze veranderingen was gericht op het verhogen van de efficiëntie door het gebruik van complexe softwaresystemen voor procescontrole en informatiemanagement. Het doorvoeren van dergelijke veranderingen in een bedrijf vraagt om doordenking van de consequenties ervan voor de wiskundige kennis van de werknemers. Uit het onderzoek blijkt, dat dat vaak niet goed gebeurt.

Dit geldt voor zowel de industrie als de dienstverlening en in toenemende mate ook voor de productie-industrie. De introductie van IT brengt twee belangrijke vragen met zich mee:

1. wat is de relatie tussen de interface van het computermodel en de werkplek en hoe wordt deze relatie beleefd door verschillende groepen werknemers?
2. in welke mate en welke werknemers moeten op de hoogte zijn van een model van de interne werking van het computersysteem om het te kunnen gebruiken?

IT heeft een tweeledig vermogen: enerzijds kan het processen automatiseren, anderzijds kan het informeren. Oftewel: door handelingen over te nemen kan het werknemers vervangen, maar het kan informatie voor werknemers ook toegankelijker maken. Dat laatste betekent dat werknemers over competenties moeten beschikken om die informatie te verkrijgen en te ver- of bewerken.

Observatie van werkplekken laat zien dat bedrijven in toenemende mate aandacht besteden aan het ontwerp en doel van hun IT-systemen en dat IT-ontwikkeling in hun bedrijf meer dan enkele jaren geleden samengaat met ontwikkeling van werknemers. Toch lijkt er in veel bedrijven een verstoring van de balans te zijn ontstaan tussen automatiseren op de werkvloer en informeren of scholen van personeel. Om tot een betere balans te komen is het van belang om te onderkennen dat onder veel werksituaties een mathematisch model ligt. Omdat dit mathematische model samengaat met het IT-systeem wordt gesproken over de noodzaak van techno-mathematische geletterdheid. Bij de implementatie van IT-systemen is het dan ook gebruikelijk om over modellen te spreken, waarbij modellen worden gezien als systematische beschrijvingen van relaties tussen input, output en regelmechanismen. Gebruikers zullen mentale modellen moeten ontwikkelen om met deze IT-systemen te kunnen werken. Op de werkvloer zullen mathematisch geschoolde IT-ontwikkelaars en gebruikers elkaar moeten verstaan: de IT-ontwikkelaars zullen op aanwijzing van gebruikers de werkprocessen moeten kunnen vertalen naar een computersysteem. Ook zullen deze IT-ontwikkelaars hun ontwikkelde systeem moeten kunnen overdragen op gebruikers, al dan niet met tussenkomst van trainers, om acute problemen op de werkvloer te vermijden. Van belang is om inzicht te krijgen in vaardigheden die nodig zijn in werkprocessen en die essentieel zijn om problemen op de werkvloer te voorkomen. Dit vraagt om inzicht in de *situated cognition* van praktijken om uitspraken te kunnen doen over gecijferdheid en techno-mathematische geletterdheid op werkplekken, maar ook in alledaagse situaties. Gedetailleerde studies laten zien dat rekenen-wiskunde door de meeste volwassenen wordt toegepast op een geheel andere manier dan wordt aangeboden op school, universiteiten en beroepsopleidingen (Lave, Nunes, Caraherm Schliemann & Scribner, 2010). Beroepssituaties vragen om andere vaardigheden dan die in een consistent en generalistisch formeel curriculum staan beschreven, maar die in de praktijk nodig zijn om in (soms levensbedreigende) situaties de juiste beslissingen te nemen. Werknemers worden onvoldoende voorbereid op het handelen en oplossen van problemen op de werkvloer. Om deze discrepantie op te lossen zullen de aard van de mathematische kennis en vaardigheden in praktijksituaties preciezer in kaart moeten worden gebracht, om ze vervolgens te vertalen naar zinvolle onderwijsituaties.

Terwijl zich op de werkvloer een verandering heeft voltrokken van vloeiend kunnen omgaan met pen en papier naar het vloeiend kunnen gebruiken en interpreteren van gegevens uit IT-systemen, ontbreken in de discussie over de transfer van 'schoolse' rekenen/wiskundevaardigheden naar de praktijk essentiële karakteristieken van de kennis die nodig is voor technologisch gemedieerd werk. Daarnaast vraagt het 'niet zichtbaar zijn' van rekenen/wiskunde dat gebruikt wordt in werksituaties om aandacht.

Mathematische kennis in hedendaagse werkzaamheden (bijvoorbeeld bij bankemployés, verplegend personeel, technici) is in veel situaties onzichtbaar omdat het diep lijkt te zijn ingebed in representaties van infrastructures, gereedschappen en artefacten op werkplekken. Op de werkplek wordt mathematische kennis gekarakteriseerd door gefragmenteerde en pragmatische strategieën, die zijn verweven met betekenissen over mathematische kennis en situationele 'ruis'. Hoewel mathematische kennis niet verandert, blijken het gebruik en de representaties ervan te veranderen als er grenzen worden overschreden tussen verschillende situaties of *settings*. Anders gezegd: gebruik en representatie van mathematische kennis zijn contextspecifiek.

Bovendien moet worden opgemerkt dat de onzichtbaarheid van mathematische kennis is gebaseerd op het algemene beeld dat mathematische en ook technologische competenties zijn opgebouwd uit gedecontextualiseerde vaardigheden of technieken, die niet met elkaar en niet met hun contextgebied zijn verbonden. Zowel werknemers als werkgevers denken bij wiskunde vaak aan formules en andere symbolische representaties die je op school leert, terwijl wiskundedidactici ook kijken naar zaken als tellen, structureren, representeren, schematiseren, verbanden leggen, modelleren. Als mensen geen formule invullen of vergelijking oplossen bestaat vaak het idee dat er geen wiskunde nodig is, terwijl de omgeving wel vol wiskunde zit.

Terug naar het onderwijs. Reken-wiskundeonderwijs kent twee hoofdstromen als het gaat om de pedagogische aanpak: de traditionele aanpak, waarin algemene technieken of bewerkingen contextloos worden aangeboden. Leerlingen moeten deze bewerkingen vervolgens toepassen in problemen die voortkomen uit contextuele situaties. In de andere stroming zijn 'echte' problemen uit contexten startpunt van onderwijs en worden ze gebruikt om te leren de benodigde rekenen/wiskundetechnieken te ontwikkelen en toe te passen. Een dergelijke aanpak lijkt niet haalbaar voor het (algemeen vormend) onderwijs, omdat er een grote variatie aan praktijksituaties is die om een eigen aanpak vragen. Het is echter verontwaardigend te constateren dat ook in bedrijfstrainingen veelal wordt gekozen voor een contextloze aanpak. Werknemers zullen in dat geval zelf de vertaalslag naar de praktijk moeten maken. In veel bedrijfstrainingen ligt de focus op *content* die via PowerPoint presentaties wordt overgedragen. Voor werknemers is er vaak weinig gelegenheid om vanuit de bij hen aanwezige kennis of manieren van probleem oplossen te discussiëren over het verband tussen het geleerde en hun werkprocessen. Hoewel de aangeboden *content* mathematisch gezien meestal correct was, bleek deze voor de meeste werknemers ontoegankelijk te zijn.

Studies hebben aangetoond dat het leren van rekenen/wiskunde betekenisvol wordt voor leerlingen en werknemers als zij ruimte krijgen om eigen ideeën te verwoorden, te delen en te ontwikkelen. Onderwijs wordt effectief als wordt voortgebouwd op aanwezige kennis van lerenden en zij een passende mathematische taal ontwikkelen. Dit kan worden gerealiseerd door gebruik te maken van communicatieve activiteiten en hoger-orde redeneringen, maar vooral ook door relevante representaties voor de lerenden (Bakker, Kent, Noss, & Hoyles, 2009).

Om meer inzicht te krijgen in de relatie tussen onderwijsinhoud op het gebied van rekenen/wiskunde en reken-wiskundige vaardigheden van werknemers op de werkvloer is door Hoyles et al. (2002) een onderzoek uitgevoerd waar door beleidsmedewerkers en politici in het Verenigd Koninkrijk veel naar is verwezen. De bevindingen uit deze studies zijn hieronder puntsgewijs samengevat.

1. Teamleiders moeten meer dan in het verleden informatie beheren en communiceren met anderen (*data driven management*). Zij moeten data kunnen interpreteren en kunnen transformeren naar een trend of naar een probleemoplossende analyse waarin ze de informatie gebruiken als onderbouwing van argumenten.
2. Door marktwerking is er meer competitie ontstaan. Het gevolg is de ontwikkeling van complexe productiemodellen, waarin bijvoorbeeld de productieoutput als functie van manuren en productietijd wordt gegeven. Managers en teamleiders zullen dergelijke gegevens moeten kunnen interpreteren als concrete representaties van bedrijfsopbrengsten, maar ook als abstracte representaties waarin zij gegevens vanuit historisch perspectief een voorspellende waarde toekennen en daardoor een trend kunnen waarnemen (zie ook 1).
3. Teamleiders zijn de spil als het gaat om communicatie: het 'inlezen' van data die bestemd zijn voor communicatie met managers en het 'uitlezen' van informatie voor communicatie met operationeel personeel (verticale communicatie). Daarnaast zullen ze op hun eigen niveau met andere teamleiders moeten kunnen communiceren (horizontale communicatie). Zij zullen data moeten kunnen interpreteren en op basis daarvan moeten kunnen handelen.
4. De reken-wiskundige vaardigheden worden in toenemende mate gekoppeld aan IT-vaardigheden. IT-gebruik is alomtegenwoordig in bedrijfssectoren. Dat heeft de aard van benodigde rekenen/wiskundige vaardigheden veranderd, maar de behoefte aan rekenen/wiskunde niet verminderd. Het vraagt om *mathematical literacy*, die wordt bepaald door de werksituatie en praktijken in veel gevallen ook door IT-gereedschap.

Reich (1992; in Hoyles et al., 2010) heeft professionals beschreven als *symbolic analysts* en vergeleken met *routine producers*, die volgens een gestandaardiseerde repetitieve set van handelingen producten vervaardigen of eenvoudige diensten verlenen. Het manipuleren

van symbolen wordt steeds belangrijker in het werk van professionals, en daarmee het modelleren van het werkproces naar abstracties die worden gecommuniceerd met andere specialisten. De vraag is niet alleen om te leren begrijpen wat *symbolic analysts* nodig hebben om zinvolle representaties te kunnen ontwikkelen van een werkplek, maar ook wat de betekenis daarvan is voor de degenen die de resultaten van deze *symbolic analysts* 'consumeren'.

Op basis van een aantal onderzoeken maken Hoyles et al (2010) in hun studie gebruik van een aantal sleutelideeën.

- *Techno-mathematic literacy* (TmL)

Personen zijn in staat om mathematics te begrijpen en te gebruiken als een taal die in toenemende mate op werkplekken zal heersen door op IT-gebaseerde controle en administratieve systemen, op een vergelijkbare manier als lezen en schrijven in de laatste eeuw. Het vraagt om een taal die niet zozeer mathematisch maar vooral techno-mathematisch is en waarin mathematics wordt uitgedrukt in technische artefacten. Uit recent onderzoek in het mbo in Nederland blijkt echter dat er ook beroepen zijn waar nauwelijks IT wordt gebruikt, bijvoorbeeld omdat het conflicteert met de werkomgeving (Bakker en anderen, in druk).

- *Symbolic boundary objects and boundary crossing*

Een boundary object wordt beschreven als een *object* dat in verschillende 'beroepspraktijken' (*communities of practice*) gebruikt wordt en tegelijkertijd in de informatieve behoeften van elke praktijk voorziet (Bowker & Star, 1999: 297 en Lee, 2007 in Hoyles et al. 2010). Het is een object waar mensen uit verschillende praktijken een gemeenschappelijk basis definiëren opdat zij informatie kunnen uitwisselen. Met een *symbolic boundary object* wordt een *boundary object* bedoeld dat in symboolvorm gerepresenteerd wordt (grafiek, tabel, schema, etcetera) waarover binnen deze omgevingen over techno-mathematische kennis wordt onderhandeld. De term *boundary crossing* verwijst naar dergelijke onderhandeling en overdracht binnen werkplekken en vanuit werkplekken naar andere omgevingen.

- *Technology-enhanced boundary object* (TEBO)

TEBO's zijn software tools die symbolische artefacten uit bestaande praktijken aanpassen met de intentie om te werken als *boundary object*²⁰. Ze hebben als doel om het leren van werknemers en de communicatie op de werkplek te bevorderen. Een TEBO bestaat vaak uit een grafische representatie met symbolische informatie. Binnen het onderzoek van Hoyles et al. ging het om Excel spreadsheets die dynamische overzichten van pensioenen en hypotheekboden, maar ook simulaties van werkprocessen (bijvoorbeeld in een plasticfabriek) en alternatieve visuele representaties van statistische maten die voor de meeste werknemers te moeilijk waren om te begrijpen via hun wiskundige definities.

Met deze sleutelideeën hebben Hoyles et al. (2010) onderzoek uitgevoerd naar mathematische kennis en vaardigheden binnen twee bedrijfsgroepen: de fabricage-industrie (naar

²⁰ Zie ook <http://www.escholarship.org/uc/item/53b9122r> en www.lkl.ac.uk/technomaths

werkproces en productieproces) en de financiële dienstverlening (naar pensioenen en investeringen en naar het verstrekken van hypotheek). Deze onderzoeken hebben geleid tot de volgende bevindingen.

Fabricage-industrie

De verpakkingsindustrie verschaft grote hoeveelheden data over productieprocessen, hetgeen betekent dat productiemedewerkers in toenemende mate over techno-mathematische vaardigheden moeten beschikken. Het gaat daarbij om het begrijpen van systematisch meten, verzamelen, kunnen lezen, interpreteren en visualiseren van gegevens, kunnen identificeren van sleutelvariabelen en begrip hebben van complexe effecten die veranderingen in variabelen in het productieproces teweegbrengen. Maar productiemedewerkers zullen ook bijvoorbeeld verdelingen van procesgegevens met gemiddelde en spreiding moeten kunnen begrijpen en onderscheid kunnen maken tussen het gestelde doel (*target*) en het gemiddelde van de feitelijke metingen; kennis hebben van relaties tussen data en metingen, en tussen proces en model en ze zullen moeten kunnen werken met indicaties over procescapaciteit.

Variatie in technologische innovaties heeft doorgaans consequenties voor (computer) artefacten in het productieproces. Deze artefacten die tot procesverbetering leiden, betekenen voor werknemers bijvoorbeeld dat zij numerieke metingen van de productieopbrengst en tijdgrafieken van gegevens moeten kunnen hanteren, naast het leren hanteren van computer-based tools voor procescontrole en dataverwerking.

De onderzochte bedrijven blijken verschillend om te gaan met de consequenties van ontwikkelingen in productieprocessen voor hun werknemers. Ze kijken verschillend naar de actuele of potentiële kennis die het personeel nodig zou hebben en de mate waarin ze wilden investeren om het personeel op te leiden. Verschilt ook - sommige bedrijven vonden het niet nodig om daarin te investeren.

Zoals werd verwacht door de onderzoekers lieten de resultaten een kloof zien tussen aanwezige en benodigde vaardigheden op het gebied van techno-mathematische geletterdheid, die door het inzetten van eenvoudige, maar specifieke software tools kon worden verminderd (zie ook www.lkl.ac.uk/technomaths waar de software gratis is te downloaden). Samenwerking tussen programmeur, onderzoekers en praktijkmensen was daarvoor noodzakelijk en zorgde voor een iteratief proces dat leidde tot antwoorden op echte, zelfs impliciete problemen die binnen de betreffende bedrijven speelden.

Financiële dienstverlening

Wat betreft technisch-mathematische geletterdheid zijn in deze bedrijfstak kenmerkende activiteiten het lezen en interpreteren van financiële bepalingen, het vaststellen van groei en geldwaarde en het ontwikkelen van persoonlijke modellen als afgeleide van generieke mathematische structuren. Daarnaast worden software *tools* gebruikt, bijvoorbeeld model-

len in de vorm van spreadsheets en visueel gereedschap om samengestelde rente zichtbaar te maken.

Binnen deze bedrijfstak zijn praktijken in hoge mate gereguleerd, waardoor werknemers nauwelijks bestaande praktijken ter discussie kunnen stellen dan wel eigen innovaties kunnen inbrengen. Het dominante thema in de financiële dienstverlening is het vermogen van werknemers om onderliggende modellen van financiële producten te doorzien. Vanuit mentale modellen van hun producten zullen ze uitkomsten moeten kunnen interpreteren en deze kunnen communiceren met klanten en vragen van klanten hierover kunnen beantwoorden. Dat betekent dat deze werknemers mathematische abstracties in software moeten kunnen doorzien. Voorts zullen werknemers een effectieve manier moeten vinden om relevante technisch-mathematische informatie te kunnen verwoorden en zal van het dienstverlenend personeel in toenemende mate gevraagd worden meer autonoom te denken en te handelen om een directer antwoord te hebben op de problemen en vragen van klanten en personeel.

Andere technisch-mathematische vaardigheden zijn complex modelleren waarbij het gaat om het van herkennen van een casus als behorend tot een bepaalde categorie. Werknemers zullen inzicht moeten ontwikkelen in onderliggende modellen die een product definiëren; effecten van verschillende variabelen in een complex model kunnen evalueren, dat laten aansluiten op behoeften van klanten en met hen kunnen communiceren over de mathematisch-financiële kenmerken van het betreffende product.

Het modelleren met IT vraagt van werknemers een *overall* beeld van wat een dergelijk systeem 'nodig heeft' van klanten. Zij zullen zelf het vertrouwen moeten ontwikkelen om flexibel gebruik te kunnen maken van IT-modellen bij het uitvoeren en vergemakkelijken van berekeningen. Ook kunnen denken vanuit en communiceren over grafieken is een belangrijke competentie, evenals het begrijpen van structuren en sleutelonderdelen van grafieken en inzien wat grafieken vertegenwoordigen. Inzien dat grafieken als communicatiemiddel kunnen worden gebruikt behoort daar ook toe, evenals het hanteren van begrippen als schuld, sparen en samengestelde rente, hoe parameters invloed hebben op omzet en (af)betalingen en inzicht ontwikkelen in de betekenis van en relaties tussen rentepercentages en de periodieke rentetoevoeging. Daarnaast zullen medewerkers specifieke software tools (bijvoorbeeld om het verloop van een lening of hypotheek te kunnen illustreren) moeten kunnen gebruiken.

Op basis van de studies in deze twee bedrijfssectoren zijn de volgende conclusies getrokken.

1. De aanwezigheid van IT-systemen op werkplekken vraagt van medewerkers technisch onderlegd inzicht van producten en processen. Technisch-mathematische geletterdheid (TmL) is vereist om effectief te kunnen werken met IT-systemen.
2. De toename in het gebruik van technieken voor procesverbetering in de industrie vraagt om de ontwikkeling van een ander type systeem, dat deels bestaat uit IT-gereedschappen

en methodes om procesdata te gebruiken als basis voor dergelijke procesverbeteringen. Daardoor ontstaan situaties waarbij TmL noodzakelijk wordt voor medewerkers op alle niveaus in het werkproces.

3. Het blijkt moeilijk voor zowel managers als trainers om de aard en reikwijdte te herkennen van de TmL die effectief zou zijn voor een bedrijf. Zelfs op plekken waar actief en op grote schaal vernieuwingen werden geïntroduceerd, constateerden de onderzoekers dat de noodzaak voor nieuwe kennis over TmL niet werd herkend. Eigen technisch personeel bleek nauwelijks tijd voor managers en trainers te hebben om over de vernieuwingen te communiceren.
4. Artefacten die symbolische informatie bevatten in de vorm van getallen, tabellen en grafieken worden door werknemers vaak als 'pseudowiskunde' opgevat, meer als betekenis van labels of plaatjes in plaats van als onderliggende mathematische relaties. Daardoor lijkt symbolische informatie niet bij te dragen aan het vergemakkelijken van communicatie binnen en over grenzen van praktijkgemeenschappen.
5. De in het onderzoek ontwikkelde prototypes voor leermogelijkheden bleken succesvol te zijn in het terugbrengen van het probleem van pseudowiskunde door symbolische artefacten en modellen van werkprocessen meer zichtbaar en manipuleerbaar te maken door de verbindingen te maken met software tools. Hoyles et al. (2010) beschrijven hoe de expertise van de trainers op de werkvloer en die van de onderzoekers elkaar aanvulden in het iteratief en gezamenlijk ontwerpen van software die werknemers hielp om de wiskunde te exploreren achter de hun bekende objecten (controlekaarten, pensioenoverzichten, hypotheekgrafieken, computerschermen met het productieproces).

