

ZIN IN WETENSCHAP, WISKUNDE EN TECHNIEK

LEERLINGEN MOTIVEREN VOOR STEM

ZIN IN WETENSCHAP, WISKUNDE EN TECHNIEK

LEERLINGEN MOTIVEREN VOOR STEM

HILDE VAN HOUTE, BEA MERCKX, JAN DE LANGE & MELISSA DE BRUYKER

De inhoud van deze literatuurstudie valt volledig onder de verantwoordelijkheid van de auteurs.
Standpunten ingenomen door de auteurs binden het Vlor-secretariaat noch de Vlor-geledingen.

Eerste druk: 2013

Gepubliceerd door:

Uitgeverij Acco, Blijde Inkomststraat 22, 3000 Leuven (België)

E-mail: uitgeverij@acco.be - Website: www.uitgeverijacco.be

Voor Nederland:

Acco Nederland, Westvlietweg 67 F, 2495 AA Den Haag, Nederland

E-mail: info@uitgeverijacco.nl - Website: www.uitgeverijacco.nl

Omslagontwerp: www.frisco-ontwerpbureau.be

© 2013 by Acco (Academische Coöperatieve Vennootschap cvba), Leuven (België)

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, micro-film of op welke andere wijze ook zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.

No part of this book may be reproduced in any form, by mimeograph, film or any other means without permission in writing from the publisher.

DE AUTEURS VAN DEZE REVIEW ZIJN ALLEN MEDEWERKERS VAN DE ARTEVELDEHOGESCHOOL:



Hilde Van Houte, docent bachelor in het onderwijs:
kleuteronderwijs, promotor van dit project

Bea Merckx, docent bachelor in het onderwijs: lager onderwijs en
secundair onderwijs, hoofdonderzoeker van dit project

Jan De Lange, docent bachelor in het onderwijs: secundair
onderwijs, medewerker bij dit project

Melissa De Bruyker, docent bachelor in het onderwijs: secundair
onderwijs, medewerker bij dit project

DE AUTEURS WENSEN DE VOLGENDE INSTANTIES, ADVIESGROEPEN EN PERSONEN TE BEDANKEN:



Deze publicatie, behorend tot de reeks praktijkgerichte literatuur-
studies onderwijsonderzoek van de Vlaamse Onderwijsraad, kwam
tot stand op vraag van en met de financiële steun van de **Vlaamse
Onderwijsraad (VLOR)**.



Het **expertisenetwerk AUGent** voor zijn bijdrage aan de weten-
schappelijke expertencommissie en de toegang tot de literatuur-
databanken. Dankzij hun kritische en onderbouwende visie zijn we
tot dit eindresultaat kunnen komen.

OPLEIDINGSDIRECTEURS

Caroline Detavernier, Mark Pâquet en Hilde Meysman, opleidings-
directeurs aan de Arteveldehogeschool van resp. de opleidingen
bachelor in het onderwijs: kleuteronderwijs, lager onderwijs en
secundair onderwijs en Pascal Verhoest, Directeur Onderzoek en
Dienstverlening voor hun steun bij dit project.

EXPERTENGROEP

De deelnemers van de expertencommissie. In het bijzonder voor-
zitter Erwin Van den Broeck, Christine D'hondt, Marijke De Smet,
Yolien Mertens, Anne-Marie Moons, Katrijn Pools, Hans Van Hoe,
Hilde Van Keer, Jouri Van Landeghem en Hendrik Van Steenbrugge
wensen we te bedanken voor hun kritische bijdrage en het nalees-
werk.

TOETSGROEP

De leden van de toetsgroep voor hun bijdrage tot het opstellen van
de overzichtelijke structuur van dit boek en het kritisch nalezen. In
het bijzonder Emile Claeys, Sonja De Craemer, Henri Janssens en
Katrien Strubbe wensen we hiervoor te bedanken. Daarnaast heb-
ben ook John De Poorter, Peter Hantson en Bart Huyghe een bij-
drage geleverd bij het nalezen en redigeren van de teksten.

MEDEWERKERS

De medewerkers van dit project die actief bijgedragen hebben aan de opbouw van de databank. Zonder hun hulp was dit werk niet mogelijk geweest. In het bijzonder Karen De Maesschalck, Jozefien Schaffler en Jouri Van Landeghem wensen we hiervoor te bedanken.

PRAKTIJKGERICHTE LITERATUURSTUDIES ONDERWIJSONDERZOEK

KENNISONTWIKKELING VOOR DE ONDERWIJSPRAKTIJK

Voor u ligt een van de publicaties die tot stand kwamen in het kader van de oproep voor praktijkgerichte literatuurstudies onderwijsonderzoek van de Vlaamse Onderwijsraad (Vlor). Deze literatuurstudies geven een overzicht van de beschikbare kennis rond een bepaalde probleemstelling. Naast dit informatieve aspect, kan dergelijke studie ook leiden tot het vaststellen van nieuwe vragen en kennisbehoeften bij praktijkmensen.

De vormvereisten voor deze literatuurstudies werden vastgelegd op basis van consultaties met onderwijspractici uitgevoerd in het kader van het project praktijkgericht onderwijsonderzoek (PGO) van de Vlor (2009).

In opvolging van een eerste oproep (maart 2009) selecteerde de Vlor drie voorstellen:

- Homogene of heterogene klassamenstelling?

Bieke de Fraine en Jan Van Damme

Verschenen als: De klas: homogene of heterogene klassamenstelling?

Barbara Belfi, Bieke de Fraine en Jan Van Damme

- Professioneel leren en professionele ontwikkeling van leraren

Jan Van Damme en Wim Van Den Noortgate

Verschenen als: De leraar: professioneel leren en ontwikkelen

Jo Denis en Jan Van Damme

- De conceptualisering van schoolleiderschap en de determinanten van bovenschools leiderschap

Geert Kelchtermans

Verschenen als: Schoolleiderschap aangekaart en in kaart gebracht

Geert Kelchtermans en Liesbeth Piot

Na de oplevering van deze reviews werd een consultatie georganiseerd om de gebruikswaarde van de reviews voor de onderwijspraktijk te toetsen. Het oordeel over de reviews viel overwegend positief uit. Er blijkt nood te zijn aan dit soort informatie. Mits een aantal voorwaarden, is de review een goed instrument om resultaten van beschikbaar onderwijsonderzoek samen te brengen en te ontsluiten naar het onderwijsveld en/of intermediaire actoren.

Daarom lanceerde de Vlor op vraag van de overheid nieuwe oproepen.

Selectie van nieuwe voorstellen in 2011, gepubliceerd in september 2012:

► Leerbereidheid van leerlingen aanwakkeren

Jan Vanhoof, Maarten Van de Broek, Maarten Penninckx, Vincent Donche en Peter Van Petegem

Verschenen als: Leerbereidheid van leerlingen aanwakkeren

Jan Vanhoof, Maarten Van de Broek, Maarten Penninckx, Vincent Donche en Peter Van Petegem

► 't Is goe, juf, die spreekt mijn taal!

Mieke Devlieger, Carolien Frijs, Sven Sierens en Koen Van Gorp

Verschenen als: Is die taal van ver of van hier?

Mieke Devlieger, Carolien Frijs, Sven Sierens en Koen Van Gorp

► Onderzoekend leren stimuleren: effecten, maatregelen en principes

Jetje De Groof, Vincent Donche en Peter Van Petegem

Verschenen als: Onderzoekend leren stimuleren: effecten, maatregelen en principes

Jetje De Groof, Vincent Donche en Peter Van Petegem

► Digitale didactiek. Kennisontwikkeling voor de onderwijspraktijk

Lies Sercu en Sarah Van Pee

Verschenen als: Digitale didactiek. Wegwijzers voor de onderwijspraktijk

Lies Sercu

Selectie van nieuwe voorstellen in 2012, gepubliceerd in een nieuwe reeks in maart 2013:

► Goesting in STEM

Hilde Van Houte, Bea Merckx, Jan De Lange en Melissa De Bruyker

Verschenen als: Zin in wetenschap, wiskunde en techniek. Leerlingen motiveren voor STEM

Hilde Van Houte, Bea Merckx, Jan De Lange en Melissa De Bruyker

► Binnenklasdifferentiatie. Leerkansen voor alle leerlingen

Catherine Coubergs, Katrien Struyven, Nadine Engels, Wouter Cools en Kristine De Martelaer

Verschenen als: Binnenklasdifferentiatie. Leerkansen voor alle leerlingen

Catherine Coubergs, Katrien Struyven, Nadine Engels, Wouter Cools en Kristine De Martelaer

**Meer informatie over het project en het eindrapport praktijkgericht
onderwijsonderzoek op www.vlor.be/pgo.**

INHOUD

INHOUD	9
SAMENVATTING	13
HOOFDSTUK I	
INLEIDING	15
1.1. Verantwoording	15
1.2. Opbouw van deze literatuurstudie	7
1.3. Leeswijzer	17
1.4. Inleiding attitudes en krachtige leeromgeving	18
1.4.1. Motivatie	19
1.4.2. Zelfeffectiviteit	23
1.4.3. Interesse	25
1.4.4. Krachtige leeromgeving	27
1.4.5. Socio-culturele invloeden en schoolcultuur	28
HOOFDSTUK II	
WAT?	31
2.1. Wat bied je aan binnen STEM-onderwijs?	31
2.1.1. Wat wil je bereiken met STEM-onderwijs?	31
2.1.2. Hoe kan je focussen op conceptueel inzicht?	35
2.1.3. Wat is het belang van contextgericht onderwijs?	39
2.1.4. Een interdisciplinaire aanpak binnen STEM-onderwijs: waarom wel/niet?	43
2.1.5. Hoe integreer je Nature of Science (mathematics, technology) binnen onderwijs?	45
3.1. Hoe kan je wiskunde-, wetenschaps- en techniekonderwijs vorm geven?	49
HOOFDSTUK III	
HOE?	49
3.2. Onderzoekende aanpak: wat, waarom en hoe?	51
3.2.1. Wat is onderzoek en wat betekent onderzoek voor onderwijs?	51
3.2.2. Wat verstaan we onder een onderzoekende aanpak en waarom zou je deze toepassen?	53
3.2.3. Wat zijn kenmerken van onderzoekende en motiverende aanpakken in onderwijs?	59
3.2.4. Integratie van ICT in een onderzoekende aanpak	70

3.3.	Simulaties en experimenten zijn ze effectief?	72
3.3.1.	Simulaties	72
3.3.2.	Experimenten en “hands-on” activiteiten	74
3.4.	Hoe het technisch proces en ontwerpproces vorm geven?	76
3.4.1.	Het technisch proces en het ontwerpproces	77
3.4.2.	Projectonderwijs	80
3.4.3.	Ontwerp-gebaseerde wetenschap	81
3.5.	Samenwerkend leren of niet? Hoe organiseer je het?	82
3.5.1.	Samenwerkend leren: wat verstaan we eronder?	82
3.5.2.	Samenwerkend leren: waarom zou je het doen?	83
3.5.3.	Samenwerkend leren: Hoe organiseer je het?	84
3.6.	Hoe van gedachten wisselen in de klas? Vragen stellen, dialoog, discussie en debat	94
3.6.1.	Vragen stellen in de klas	95
3.6.2.	Waarom dialoog en discussie in de klas?	100
3.6.3.	Waarom debatteren in de klas?	106
3.7.	Hoe (probleemoplossend) denken in de klas stimuleren?	107
3.7.1.	Hoe probleemoplossend denken?	108
3.7.2.	Creatief denken	112
3.7.3.	Kritisch denken	117
3.8.	Hoe evalueren?	120
3.8.1.	Inleiding	120
3.8.2.	Waarom evalueren?	122
3.8.3.	Wat evalueren?	125
3.8.4.	Hoe evalueren?	130
3.8.5.	Wie evalueert?	137
3.8.6.	Feedback geven	140
3.9.	Hoe zelfregulerend leren stimuleren?	142
3.9.1.	Waarom zelfregulerend leren?	142
3.9.2.	Wat is zelfregulerend leren?	143
3.9.3.	Een leerling wordt niet van vandaag op morgen zelfregulerend	145
3.9.4.	Hoe worden leerlingen zelfregulerend?	146
3.10.	Wat zijn de praktische voorwaarden?	153
3.10.1.	Welke leermiddelen gebruik je?	153
3.10.2.	Hoeveel tijd vragen activiteiten binnen STEM-disciplines?	170
3.10.3.	Waar organiseer je STEM-activiteiten?	172
3.11.	Welke partners betrekken bij STEM-onderwijs?	174

HOOFDSTUK IV

WIE?

177

- 4.1. Wat is de invloed van de persoonlijke kenmerken van de leerling op de interesse en motivatie voor STEM? 177
 - 4.1.1. Wat is de invloed van gender op de keuze voor STEM-onderwijs? 177
 - 4.1.2. Hoe leerlingen met een verschillend prestatieniveau betrekken bij STEM-onderwijs? 181
 - 4.1.3. Welke leerstijlen bereik je met STEM-onderwijs? 184

HOOFDSTUK V

ROL VAN DE LERAAR

187

- 5.1. Wat wordt verwacht van een STEM-leraar? 187
 - 5.1.1. Voldoe je als STEM-leraar? 187
 - 5.1.2. Wat betekent dit voor de professionalisering van leraren? 188

BESLUIT

191

- Besluit 191

APPENDICES

197

- A.1. Methodologische verantwoording 197
 - A.1.1. Zoekstrategieën, inbreng in databank en voorwaarden voor inclusie 197
 - A.1.2. Beschrijving van de verzamelde bronnen 201
 - A.1.3. Verwerken van de bronnen in de publicatie 201
 - A.1.4. Bewaken van kwaliteit en toepasbaarheid 203
- A.2. Literatuurlijst en inspirerende suggesties 204
 - A.2.1. Geannoteerde literatuurlijst van inspirerende bronnen 204
 - A.2.2. Interessante websites 208
 - A.2.3. Literatuurlijst 209
- A.3. Begrippenlijst 230

SAMENVATTING

Met deze literatuurstudie willen we een overzicht aanbieden van krachtige leeromgevingen voor de vakken wiskunde, techniek en wetenschappen en de effecten die ze hebben bij leerlingen van acht tot zestien jaar. We zijn op zoek gegaan naar educatieve methodes en principes die de interesses, motivatie, nieuwsgierigheid en het zelfvertrouwen van meisjes en jongens voor wetenschap, techniek en wiskunde aanwakkeren en bij voorkeur een blijvend effect hebben op hun leerprestaties. In deze review gebruiken we het letterwoord STEM (Science, Technology, Engineering en Mathematics) wanneer we het hebben over wetenschap, techniek en/of wiskunde. Dit letterwoord wordt eveneens gehanteerd in het actieplan van de Vlaamse overheid, dat werd opgesteld om de uitstroom aan afgestudeerden in exact-wetenschappelijke en technische richtingen te verhogen.

In de inleiding gaan we in op de vraag wat de algemene randvoorwaarden zijn die tot leerbereidheid, motivatie, interesse en zelfeffectiviteit leiden. We leggen uit waarom we bij voorkeur een intrinsieke motivatie bij leerlingen dienen na te streven. Voor het beschrijven van krachtige leeromgevingen en de verschillende onderdelen waaruit deze bestaan, gebruiken we het spinnenwebmodel van Jan van den Akker. In de hoofddelen van deze review, "Wat?", "Hoe?" en "Wie?" worden de tien onderling samenhangende componenten van het spinnenweb geïntegreerd en leggen we telkens opnieuw verbanden met de intrinsieke motivatie.

Bij de wat-vraag zijn we op zoek gegaan naar inhouden die leerlingen motiveren en aanspreken. We komen in dit hoofdstuk tot vier principes: 1) Het doel van STEM-onderwijs moet gericht zijn op conceptueel inzicht. Niet zozeer het 'weten', maar het gebruiken van kennis en inzicht is belangrijk. Een leerling moet daarvoor over een brede achtergrond beschikken, de belangrijkste concepten uit het vakgebied begrijpen en een transfer kunnen maken naar verschillende contexten; 2) Contexten zijn essentieel. Zonder context kunnen leerlingen de inhouden immers niet toepassen. Daarnaast zorgt een context voor de noodzakelijke trigger om leerlingen ertoe te brengen hun kennis en inzicht effectief te gebruiken; 3) Het expliciete behandelen van 'Nature of Science' ("Hoe werkt wetenschap?") heeft een positieve invloed op de attitudes van leerlingen omdat ze de relevantie van wetenschap ervaren; 4) Over het al dan niet geïntegreerd werken zijn de meningen verdeeld, voornamelijk omdat er tot nu toe weinig empirisch bewijsmateriaal bestaat dat de meerwaarde ontegensprekelijk aantoont. Toch lijken de meeste onderzoekers geïntegreerd werken te ondersteunen. Het in de praktijk omzetten van deze aanpak blijkt niet makkelijk te zijn en vraagt dus ondersteuning en professionalisering.

Bij de hoe-vraag, het meest uitgebreide gedeelte van dit onderzoek, zijn we op zoek gegaan naar werkvormen en principes die toepasbaar zijn in de klas. De onderzoekende aanpak is een effectieve manier om de motivatie van leerlingen voor wetenschapsonderwijs te verhogen. Een trigger of een gerichte observatie kan de interesse van leerlingen wekken. Vervolgens kunnen ze eigen ideeën en hypothesen formuleren en verder onderzoek opstellen, uitvoeren en evalueren. Stapsgewijs wordt aangegeven hoe je als leraar van een sterk gestuurd en gesloten onderzoek kan evolueren naar een open onderzoek, waarbij je als coach optreedt. Zowel bij aanpakken die onderzoekend, ontwerpend als probleemoplos-

send leren uitlokken, belichten we het iteratief karakter van deze processen. Deze zijn immers niet strikt lineair, in tegenstelling tot wat vaak gedacht (en opgelegd) wordt. Deze aanpakken kunnen niet los gezien worden van samenwerkend leren waarbij leerlingen van en aan elkaar leren. Coöperatief leren leidt namelijk tot even goede of betere leerresultaten in vergelijking met individueel leren. Bovendien heeft een gunstige samenwerking een positieve invloed op de motivatie, de betrokkenheid en het zelfvertrouwen van de leerlingen. De onderlinge dialoog en discussies die daarbij ontstaan, kunnen tot nieuwe inzichten leiden en de wetenschappelijke houding van leerlingen bevorderen. Om een dialoog en discussie in goede banen te leiden is het van belang dat leerlingen goede vragen leren stellen om elkaars kennis en inzicht te bevragen. Daarnaast is zelfregulerend leren – i.e. het zelfstandig en met zin voor verantwoordelijkheid sturen van de eigen leerprocessen – van belang voor het diepgaande leren en het bevorderen van de intrinsieke motivatie. Bovendien bereidt het leerlingen voor op levenslang leren. Om dit soort leerprocessen te ondersteunen is verder het implementeren van formatieve evaluatievormen, die het evalueren *om* te leren tot doel hebben, noodzakelijk. Het spreekt voor zich dat de implementatie van een dergelijk opgevat STEM-onderwijs niet kan slagen zonder ondersteunende leermiddelen: niet-digitale leermiddelen (zoals materiaal voor experimenten en conceptcartoons), maar ook audiovisuele en digitale media. Digitale mobiele leeromgevingen blijken voor STEM-onderwijs heel wat mogelijkheden in te houden, zeker om informeel leren aan formeel leren te koppelen en de tijd buiten de schooluren ook als leertijd te zien. Het gebrek aan tijd wordt vaak als reden aangehaald om niet aan zinvol onderzoek te doen of niet in te gaan op de antwoorden of overtuigingen van leerlingen. Toch is het van belang om hiervoor voldoende tijd vrij te maken, zodat een optimaal en langdurend leereffect kan bereikt worden. Meer tijd vrijmaken door een curriculumwijziging of meer tijd in het uurrooster te voorzien dienen dus ernstig overwogen te worden.

Bij de wie-vraag behandelen we de persoonlijke kenmerken van de leerling waaronder gender, prestatieniveau en leerstijlen. Meisjes blijken wel geïnteresseerd in STEM-onderwijs. Alleen zijn ze meer onzeker, worden ze beïnvloed door stereotype beelden of ligt hun interesse eerder in de menselijke aspecten van de STEM-disciplines. Leerlingen met een laag prestatieniveau kunnen gemotiveerd worden door remediërend te werken, een onderzoekende aanpak te gebruiken en via coöperatieve werkvormen. Bovendien blijkt dat zowel de onderzoekende als ontwerpende aanpak de vier leerstijlen aanspreekt. We maken hier alvast de kanttekening dat het bestaan van de vier leerstijlen onder discussie staat.

Het mag duidelijk zijn dat een wijziging in het STEM-onderwijs een invloed zal hebben op de rol van de leraar in dit alles. Zijn rol verandert van sturende leraar naar coach, facilitator, begeleider. Daarnaast zal ook zijn onderwijsaanpak wijzigen. Dit houdt in dat hij niet alleen een levenslang leren bij zijn leerlingen faciliteert, hij zal dit ook zelf moeten waarmaken en zich blijvend moeten professionaliseren. Op dit vlak is er nood aan vormingen en onderzoek naar vormingen die inhouden, leerlingprofielen en aanpakken integreren.

Ten slotte willen we nog opmerken dat er binnen STEM-onderwijs niet één ‘juiste’ onderwijsaanpak bestaat. Met deze review willen we vooral aan leraren inspiratie bieden om een gevarieerde en krachtige leeromgeving te creëren.

HOOFDSTUK I

INLEIDING

1.1. Verantwoording

Jongeren goesting in STEM doen krijgen, zo luidt de missie van deze literatuurstudie. Het is een missie die ongetwijfeld niet zo evident is, want hoe kan je de interesse, motivatie, nieuwsgierigheid en het zelfvertrouwen van jongens en meisjes voor bèta aanwakkeren? Uit meerdere studies is immers gebleken dat de STEM-vakken bij jongeren weinig populair zijn. Dit boek wil jou, de leraar lager of secundair onderwijs, erbij helpen om inzicht te krijgen in hoe je een 'krachtige leeromgeving' kan creëren. Het biedt een kritisch overzicht van werkvormen en methoden die hun effectiviteit duidelijk hebben aangetoond en die de leerprestaties van acht- tot zestienjarige doorgaans significant verbeterd hebben.

Laat ons alvast duidelijk stellen wat we precies onder "STEM" verstaan. In deze review kiezen we ervoor om gebruik te maken van het letterwoord STEM (Science, Technology, Engineering en Mathematics). Dit letterwoord wordt eveneens gehanteerd in het actieplan van de Vlaamse overheid, dat werd opgesteld op vraag van het Vlaamse Parlement om de uitstroom aan afgestudeerden in exact-wetenschappelijke en technische richtingen te verhogen²⁶⁷. In dit actieplan worden de acties ondergebracht in acht thema's. Het eerste thema is het aanbieden van aantrekkelijk STEM-onderwijs. Hieronder verstaat men (p.21 van het actieplan): "Onderwijs dat aansluit bij de interesses en waarden van jongeren en volwassenen. Het is onderwijs met perspectief dat zicht geeft op de mogelijkheden voor een interessante vervolgopleiding of job. Aantrekkelijk onderwijs heeft ook te maken met een innovatieve didactiek waardoor zoveel mogelijk jongeren geboeid worden voor STEM en waarbij alle leerlingen de nodige STEM-competenties verwerven." Bovenstaande zou kunnen impliceren dat het over een interdisciplinaire aanpak gaat. Ook Tsupros²⁴⁴ en Morrison¹⁷⁶ zien STEM-onderwijs als een interdisciplinair geheel. Volgens hen biedt STEM-onderwijs aan leerlingen de mogelijkheid om de wereld holistisch te bekijken, in plaats van in stukjes en beetjes. In de literatuur zijn er echter weinig studies waarin expliciet melding wordt gemaakt van een integratie van de verschillende disciplines. In een aantal rapporten specifiek rond STEM^{51, 247}, bespreekt men wiskunde, wetenschap en techniek ook afzonderlijk. STEM omvat daar dus wetenschappen, techniek en wiskunde en hun respectieve, doch vaak met elkaar verwante didactiek. Wanneer we in deze review verwijzen naar aanpakken voor STEM-onderwijs, bedoelen we daarmee aanpakken die gelden voor elk van de drie STEM-disciplines. Wanneer de integratie van de STEM-disciplines beoogd wordt, zullen we dit expliciet vermelden in de tekst.

We willen zowel de leraar alsook de leerling van deze vakken in dit verhaal betrekken: Aan de ene kant reikt dit boek tips aan over hoe je als leraar vaker als coach, begeleider, projectmanager... kan optreden (en dus niet als loutere overbrenger van kennis en informatie). De visie van deze literatuurstudie sluit aan bij de kern van onze onderwijsstaak om de leerprestaties van onze leerlingen zo effectief mogelijk in te richten vanuit een degelijke pedagogische en didactische invalshoek. Je zult merken dat de

aangehaalde praktijkvoorbeelden streven naar een manier van (inter)actief leren die aansluit bij o.a. talent-, competentie-, ervarings- en ontwikkelingsgericht onderwijs, en waarin diverse leermethoden en leervormen aan bod komen. De rol van de leraar hangt nauw samen met die van de leerling, wiens motivatie, nieuwsgierigheid en zelfvertrouwen kunnen worden aangewakkerd in een krachtige leeromgeving. Omdat we in eerste instantie de leraar ondersteuning willen bieden, zullen relevante studies, praktijkvoorbeelden en tips in de hoofdstukken van deze bundel centraal staan. De rol van motivatie, interesse enz. wordt inleidend in dit hoofdstuk besproken en in een duidelijke samenhang tegenover effectieve leeromgevingen geplaatst. Op deze manier willen het belang van motiverende werk- en evaluatievormen kort anticiperen op de basisprincipes van krachtige leeromgevingen inleiden en deze literatuurstudie in voorafgaand onderzoek verankeren.

Maar laat ons eerst enkele praktische zaken bespreken. De beschrijving van krachtige leeromgevingen, werkvormen en methoden is gebaseerd op een systematische en brede literatuurstudie. We willen op een spontane, gemakkelijk lees- en hanteerbare manier leraren in contact brengen met inzichten van eerder wetenschappelijke aard. We richten onze aandacht op tal van thema's die onmiddellijk relevant zijn voor de praktijk: diverse methodes om de effectiviteit van leeromgevingen te beschrijven, de betrouwbaarheid van de gevonden studies, een overzichtelijke thematische bibliografie. Hiermee hopen we de leraar als onderzoeker en innovator te ondersteunen in zijn zoektocht naar een motiverende leeromgeving. De transfer van vaak conceptuele wetenschappelijke studies naar de alledaagse onderwijspraktijk is ten slotte niet altijd evident. Om de kloof tussen academisch onderzoek en de concrete klaspraktijk te dichten, werd een multidisciplinair team samengesteld van docenten wetenschappen, wiskunde en techniek van de lerarenopleiding kleuteronderwijs, lager onderwijs en secundair onderwijs. Zij werden bij deze taak geadviseerd door onderwijspractici, pedagogen en wetenschappelijke experts.

Het voorliggende werk streeft na om een duidelijk overzicht van bestaande werkvormen en methoden te geven en daarnaast de brug naar het alledaagse lesgeven te slaan. Het legt uiteraard eigen accenten, zoals de activerende aanpak die effectieve leeromgevingen wil opbouwen. Uiteraard bevindt zich deze invalshoek nog steeds in een dynamisch proces, maar toch biedt dit boek een werkbaar instrument aan doordat het zo sterk focust op leereffecten en op vaststellingen die uit literatuuronderzoek zijn gebleken. We werken vanuit enkele kernachtig geformuleerde vragen, die ons inziens blijvend van toepassing zullen zijn wanneer we als leraren effectieve, stimulerende leeromgevingen willen inrichten: Wat? Hoe? Wie?

In het volgende gaan we kort in op hoofdstukken van deze literatuurstudie en hoe deze hebben geleid tot de uiteindelijke structuur van dit werk. Daarna geven we enkele richtlijnen voor het gebruik van dit werkinstrument. We sluiten onze inleiding af met een voorstudie van de begrippen 'motivatie' en 'krachtige leeromgeving'.

1.2. Opbouw van deze literatuurstudie

In dit **inleidend hoofdstuk** behandelen we alvast twee van onze basisbegrippen: 'leerbereidheid' (waaronder motivatie, interesse en zelfeffectiviteit worden besproken) en 'krachtige leeromgeving'. De hierop volgende hoofdstukken behandelen vervolgens het "Wat?", "Hoe?" en "Wie?" van krachtige STEM-leeromgevingen.

Het hoofdstuk **"Wat?"** bespreekt welke inhoud in motiverend STEM-onderwijs kunnen worden aangeboden. Het zal duidelijk worden dat niet zozeer het 'weten', maar wel de toepassing van kennis en inzicht belangrijk is. Daarnaast belichten we het belang van interessante toepassingscontexten, 'Nature of Science' en een geïntegreerde aanpak.

Het hoofdstuk **"Hoe?"** bespreekt tal van werkvormen en principes om STEM-onderwijs krachtig en motiverend te maken. Enkele van de besproken aanpakken zijn: de onderzoekende, ontwerpende en probleemoplossende aanpak. We focussen daarnaast op het belang van formatieve evaluatie en het onafhankelijke (zelfregulerende) optreden van leerlingen. De interactie tussen leerlingen is belangrijk en wordt besproken in de hoofdstukken in verband met samenwerkend leren en van gedachten wisselen in de klas (vragen stellen, dialoog en discussie). Verder bespreken we het belang van audiovisuele en digitale leermiddelen in het motiveren van leerlingen en het optimaliseren van hun leerproces. Dit hoofdstuk bevat tal van concrete praktijkvoorbeelden die het de leraar gemakkelijk willen maken om zelf aan de slag te gaan.

In het hoofdstuk **"Wie?"** bekijken we de persoonlijke kenmerken van leerlingen nader: gender, prestatieniveau en leerstijlen. Met het oog op de vraag hoe we leerlingen kunnen stimuleren om voor een studie en carrière in STEM te kiezen, willen we weten welke groepen afhaken tijdens het basis- of het secundair onderwijs en wat de redenen hiertoe zijn.

Het spreekt voor zich dat de veranderende **rol van de leraar** – die evolueert naar een begeleider en coach – eveneens aan bod komt. Deze studie wil daarom het belang van een degelijke professionalisering ter ondersteuning van leraren alsook van onderzoek naar vormen verduidelijken.

Ten slotte willen we nog opmerken dat er binnen STEM-onderwijs niet één 'juiste' onderwijsaanpak bestaat. Met deze review willen we vooral leraren inspireren om een gevarieerde en krachtige leeromgeving te creëren.

1.3. Leeswijzer

Bij het maken van deze review stelden we vast dat de onderwerpen die we behandelen een sterke samenhang vertonen. In die mate zelfs dat een opsplitsing in aparte hoofdstukken een moeilijke opdracht was. Om die samenhang tussen de verschillende hoofdstukken doorheen de tekst duidelijk te maken wordt telkens een verwijzing gemaakt naar het nummer en een korte omschrijving van de gerelateerde paragraaf.

In deze review spreken we regelmatig de leraar/lerares persoonlijk aan. Om het leescomfort te bevorderen hebben we ervoor gekozen om hem/haar steeds te benoemen met 'hem' en 'leraar'. We beseffen dat dit ingaat tegen de principes van hoofdstuk 4 (genderneutraliteit), maar het leek ons de meest leesvriendelijke oplossing.

De getallen in superscript verwijzen naar de literatuurbron en de daarin vermelde werken. Dit voorkomt dat de tekst overladen wordt met verwijzingen naar de auteurs en het jaartal. De volgorde van de getallen is de alfabetische volgorde van de auteurs in de literatuurlijst in bijlage.

Om het gebruiksgemak van deze review te verbeteren maken we ook gebruik van een visuele leeswijzer.



Tips voor de leraar, hiermee kan hij aan de slag



Goed of slecht praktijkvoorbeeld



Definitie, omschrijving of achtergrondinformatie

1.4. Inleiding attitudes en krachtige leeromgeving

Aangezien deze studie wil nagaan welke effecten een krachtige leeromgeving met diverse leer- en evaluatievormen heeft op de motivatie, interesse, leergierigheid en het zelfvertrouwen van leerlingen (anders gezegd: op hun leerbereidheid) en omgekeerd, lijkt het ons nodig om eerst een duidelijk zicht te krijgen op wat deze begrippen inhouden en hoe ze onderling verbonden zijn. Er is namelijk al heel wat onderzoek gebeurd en het lijkt ons dan ook evident dat we onze studie van krachtige leeromgevingen in deze bestaande context situeren.

We zien dat onderzoek steeds opnieuw verschillende parameters (motivatie, zelfeffectiviteit, interesse) vergelijkt die in de loop van dit hoofdstuk aan bod zullen komen en hun wisselende invloeden. Lee (1989, niet gepubliceerd) lijst enkele factoren op die de studiekeuze beïnvloeden: de opvattingen die leerlingen hebben over de aard van een taak, hun succes of falen in het maken van vooruitgang binnen wetenschappelijk inzicht, hun doelstelling in de klas en hun affectieve band ten aanzien van wetenschap. Een andere studie spreekt dan weer van vijf dimensies die blijken bepalend te zijn voor de houding van jongeren ten opzichte van STEM: houding en toekomstbeeld, mens- en maatschappijgerichtheid, praktische instelling, interesse en statusgerichtheid¹⁷⁷. De praktijkvoorbeelden die aanwijzingen geven over hoe deze leeromgevingen kunnen worden opgebouwd, implementeren niet toevallig de tien richtprincipes in de review ter bevordering van de leerlingenmotivatie²⁶⁰ (p. 44-45 voor een overzicht). Daarin worden aspecten besproken zoals een positieve relatie met leerlingen, een veilige leeromgeving, aandacht voor negatieve gevoelens (bv. over een vak), methodes en onderwerpen die

de interesse en de autonomie bevorderen en die uitdagend zijn, duidelijke doelstellingen, feedback en de eigenheid van de leraar zelf. In die zin kan de voorliggende literatuurstudie als een aanvulling maar eveneens als een specifiek op STEM-onderwijs gerichte praktijkstudie bekeken worden.

We volgen hieronder de driedelige indeling die een literatuurstudie over leerbereidheid aanwakken²⁶⁰ voorstelt: 1) motivatie; 2) zelfeffectiviteit; 3) Interesse. Leerbereidheid kan gezien worden als een overkoepelend begrip, waarvan het gemotiveerd zijn slechts een component vormt. Interesse wordt dus los van motivatie gezien en omschreven als "de mate waarin een leerling zich kan verbinden met wat aangeboden wordt" (p.41). Taken die bij de interesses en voorkennis van leerlingen aansluiten, worden als zinvoller ervaren en kunnen op een hogere waardering rekenen. Zelfeffectiviteit gaat dan weer over de "inschatting van leerlingen over hun eigen kunnen en over de vereiste inspanningen om een doel te bereiken", alsook de verwachtingen die leerlingen vervolgens over de evaluatie van hun taken hebben (p.41). Door deze driedeling als leidraad te gebruiken, kunnen we aspecten van motivatie en leerbereidheid ordenen en in samenhang met tal van beïnvloedende factoren zien. Deze inleiding behandelt de leermotivatie in het algemeen, maar we bespreken regelmatig voorbeelden die specifiek van toepassing zijn op de STEM-vakken. Daarnaast wordt ook dieper ingegaan op het begrip 'krachtige leeromgeving' en welke factoren daarbij een rol spelen en ten slotte wordt het belang van de thuissituatie en peers besproken.

1.4.1. Motivatie

In de meeste studies wordt het begrip **motivatie** in intrinsieke en extrinsieke motivatie opgedeeld. Intrinsieke leermotivatie betekent dat "het leren gemotiveerd is vanuit een eigen belangstelling van de leerling, vanuit een interne prikkel" ²⁶⁰ (p.18). Een extrinsieke leermotivatie houdt echter in dat een leerling leert "omdat hij er door iets buiten de taak zelf wordt toe aangezet" ²⁶⁰ (p.18). Onderzoekers zijn het er doorgaans over eens dat een intrinsieke doelstelling tot een betere en langdurige motivatie leidt. Bovendien bouwt een intrinsieke motivatie verder op de voorkennis en interesse die een leerling reeds heeft voor een bepaald thema. De intrinsieke motivatie leidt tot de bereidheid van leerlingen om extra tijd en energie te besteden aan een taak, zonder dat ze het gevoel hebben zich echt te moeten inspannen. Natuurlijk is het wel zo dat omstandigheden gerelateerd aan het curriculum – zoals het beperkt aantal thema's dat kan worden besproken, de onmogelijkheid om eigen ideeën diepgaand te verkennen, een gebrek aan ondersteuning van autonoom handelen – een intrinsieke motivatie in de weg staan, alsook het mentale engagement dat nodig is om op een dieper niveau te leren. Verder kan men weliswaar redeneren dat ook een extrinsieke motivatie, die dus samenhangt met externe factoren zoals de verhouding leerling-leraar, een motiverend effect heeft: het slagen voor examens en toekomstige werkgelegenheid geeft aanleiding tot meer inzet, tot het aandachtig zijn en tot het tijdig afwerken van belangrijke taken die een aanzienlijke inspanning vragen. Toch kan men stellen dat bij een extrinsieke motivatie leerlingen snel afgeleid geraken (door geluiden of wanneer ze beginnen te dagdromen) en dat deze motivatie snel ondermijnd wordt wanneer leerlingen doorhebben dat een bevestiging van de leraar zal uitblijven. Aangezien beide motivatietypes in elke leerling verondersteld worden, zij het dan ook in wisselende mate, is er sprake van motivatietypes eerder dan van leerlingentypes.⁹³

De literatuurstudie van Vansteenkiste et al.²⁶³ bespreekt de samenhang tussen intrinsieke en extrinsieke motivaties enerzijds en intrinsieke en extrinsieke doelstellingen anderzijds. Indien leraren een leeractiviteit inrichten met het oog op een extern doel en niet op een intrinsiek doel, dan ondervinden leerlingen geen plezier aan de taak en ontbreken de persoonlijke waardering, het conceptuele leren en het doorzettingsverlangen, ook al hebben de leerlingen misschien zelf intrinsieke of extrinsieke doelstellingen bij de taak ongeacht hun intrinsieke of extrinsieke opvattingen over de taak. Leraren stellen dus het best intrinsieke doelstellingen voorop en vermijden bij voorkeur extrinsieke doelstellingen, om zo het conceptuele leren en handelen te bevorderen, ook bij leerlingen die doorgaans extrinsieke doelstellingen een hoge waarde toeschrijven²⁶³.

Voor het vak wiskunde specifiek kan men een verband zien tussen de motivatie om het vak te leren en een zelfconcept van de leerling bij het vak⁸⁸. De intrinsieke motivatie en een hoge individuele betrokkenheid leidde tot hogere prestaties (in tegenstelling tot de extrinsieke motivatie)⁴⁶. Toch moeten we voorzichtig zijn en bijvoorbeeld culturele verschillen in acht nemen. Terwijl een hoge extrinsieke motivatie voor westerse leerlingen een negatieve invloed uitoefent op hun wiskundestudies, is de combinatie van een intrinsieke (pleziergerichte) en een extrinsieke (productiviteitsgerichte) motivatie voor Oost-Aziatische leerlingen beter dan een focus op slechts één van beide²⁸⁹.

Nu valt op dat de bovenstaande studie van Vansteenkiste et al.²⁶³ – naast 'motivatie' – ook andere begrippen introduceert: doelstellingen en waarderingen. Ook de review over leerbereidheid ²⁶⁰ (p.28-31) systematiseert het begrip motivatie op basis van doelstellingen. Leerlingen die prestatiedoelstellingen voorop stellen, hechten belang aan status en willen aan hun medeleerlingen of leraren tonen dat ze bekwaam zijn dan anderen (p.28). Leerlingen met een leerdoel daarentegen willen zichzelf ontwikkelen en vatten taken op als een manier om hun competenties te verbeteren (p.28). Parallel hiermee kunnen vermijdingsstrategieën gericht zijn op het vermijden van negatieve sociale reacties enerzijds (p.30) en het vermijden van fouten en een gebrek aan leren anderzijds. Een persoonlijke leerdoelstelling gericht op het leerproces zelf versterkt de motivatie van de leerling en zijn intrinsieke waardering van een taak het meest.

Naast de intrinsieke of extrinsieke doelstellingen van leerlingen oefent ook de mate waarin leerlingen autonoom kunnen handelen een belangrijke invloed op hun motivatie uit. De literatuurstudie over leerbereidheid²⁶⁰ stelt een autonome motivatie vast wanneer leerlingen zelf iets willen, terwijl het moeten (de gecontroleerde motivatie) en zeker de amotivatie (afwezigheid van motivatie) het leerproces ondermijnen (p.20-27).

Ook andere studies belichten **het belang van de autonomie** en de beleving van de leerling²⁶¹. Gaat het om een vrijwillige of een verplichtende motivatie die een leerling ondervindt? Anders gesteld: niet enkel de kwantiteit, de hoeveelheid of intensiteit van de motivatie, maar ook de kwaliteit, het type of de soort motivatie, is van tel. Als leerlingen opgelegde regels volgen om straf te vermijden, dan lokt straf weliswaar motivatie en volgbaar gedrag uit, maar is het meer dan waarschijnlijk dat leerlingen de regels aan hun laars zullen lappen als de straffende leraar niet langer toekijkt. Op een analoge wijze

zal het beloven van beloningen voor goede schoolse prestaties wel gemotiveerd studiegedrag meebrengen, maar zorgt de beloning er tegelijk voor dat oprechte interesse in het studiemateriaal niet kan ontstaan of uitgedoofd geraakt²⁶¹. Uit ander onderzoek blijkt dat het promoten en ervaren van autonomie (gedefinieerd als een gevoel van 'welwillendheid' en keuzevrijheid) zelfs meer cruciaal zijn voor het welzijn en functioneren van leerlingen, dan de mate waarin ze onafhankelijk zijn of met dwang aangemoedigd worden om onafhankelijk te zijn.²⁶² Autonomie gaat dus met een bewustzijn, een besef van autonoom handelen gepaard.

Het belang van autonomie werd vooral in de zelfdeterminatietheorie (zoals ontwikkeld door Deci en Ryan⁶²) bestudeerd. Deze theorie onderscheidt vijf types motivatie (in dalende mate van sterkte): intrinsiek, geïdentificeerd, geïntrojecteerd, extern gereguleerd en niet gereguleerd. De twee eerste behoren tot de autonome motivatie, drie en vier tot de gecontroleerde motivatie en de laatste tot de amotivatie²⁶⁰ (p.20-27). We lichten dit nu verder toe en beginnen bij de gecontroleerde motivatie. De zelfdeterminatietheorie stelt dat het bieden van een zinvolle uitleg bijvoorbeeld ervoor kan zorgen dat leerlingen beter inzien waarom ze gevraagd worden om een bepaalde studiestof in te studeren of bepaalde normen en regels te volgen. Als ze een zinvolle uitleg krijgen, dan stijgt de kans dat ze zich het persoonlijke belang van de opgedragen leertaken en maatregelen zullen eigen maken, waardoor deze maatregelen ook op een meer 'welwillende' en minder verplichtende wijze worden uitgevoerd en nageleefd. In dit geval blijven de leerlingen wel extrinsiek gemotiveerd. Ze zijn extrinsiek gemotiveerd omdat het volgen van de regels niet leuk is op zich (wat intrinsieke motivatie zou zijn), maar een bepaald doel dient, namelijk het vervullen van een waarde waarvan ze de persoonlijke relevantie inzien. Deze vorm van extrinsieke motivatie (geïntrojecteerd) is evenwel duidelijk verschillend van het volgen van klassikale richtlijnen om straf te vermijden (extern gereguleerd). In beide gevallen wordt het gedrag gekenmerkt door een middel-doel structuur, maar terwijl de richtlijnen in het eerste geval met een gevoel van psychologische vrijheid worden nageleefd, worden deze in het tweede geval op een veeleer gedwongen wijze opgevolgd. De geïntrojecteerde regulatie betekent dat men zichzelf onder druk zet om een bepaalde activiteit uit te voeren. In dit geval komt de druk en controle dus niet van buiten uit, maar vanuit zichzelf. Meer specifiek is het zo dat motiverende strategieën die voorheen door anderen werden toegepast, nu worden opgenomen of verinnerlijkt in de persoon en op het eigen gedrag worden toegepast.

Toch kan men stellen dat geïntrojecteerd gedrag, net zoals externe regulatie, nog vrij controlerend is van aard. Een meer autonome vorm van motivatie vormt de geïdentificeerde regulatie. Bij deze vorm van motivatie heeft de persoon zich geïdentificeerd met de persoonlijke waarde van het gedrag en de regulatie dus als een deel van zichzelf aanvaard. Hij ziet met andere woorden de persoonlijke zinvolheid van de activiteit in omdat de activiteit aansluit bij de eigen doelen en waarden. De persoon ervaart in dit geval een sterker gevoel van zelfbepaling en keuze. Anders gezegd, men voert de activiteit op een 'welwillende' of autonome wijze uit. Geïnternaliseerde motivatie vormt volgens de zelfdeterminatietheorie dan weer een veel sterkere drijfveer en ze biedt een betere garantie dat het gedrag op langere termijn nog wordt uitgevoerd in vergelijking met externe regulatie en geïntrojecteerde regulatie. Maar de hoogste motivatie vindt men bij de intrinsieke regulatie, waarbij leerlingen plezier scheppen in taken. Lijnrecht daartegenover staat dan de amotivatie²⁶².

Waarom is het in feite relevant om tussen verschillende graden van autonomie een onderscheid te maken? Waarom niet gewoon tevreden zijn bij om het even welke vorm van motivatie? In de onderwijspraktijk stelt men vaak: "Hoe meer leerlingen gemotiveerd zijn, hoe beter". Deze uitspraak getuigt van een kwantitatieve visie op motivatie. De kwalitatieve visie beklemtoont echter dat meer motivatie niet noodzakelijk gerelateerd is aan betere leeruitkomsten. In deze benadering telt naast de hoeveelheid motivatie ook de aard van de motivatie²⁶⁰ (p.20). Leerlingen die tot de vijf vermelde motivatieprofielen behoren, vertonen een verschillend leer- en prestatieprofiel en ze percipiëren de onderwijsstijl van hun leraren anders. Specifiek wordt vastgesteld dat kwalitatief goed gemotiveerde leerlingen, die hoog scoren op autonome motivatie en laag op gecontroleerde motivatie, het meest optimale leer- en prestatiepatroon vertonen en hun leraren als meest behoefteondersteunend ervaren in vergelijking met de andere motivatieprofielen. De bevindingen liggen volledig in de lijn van de kwalitatieve visie op motivatie en spreken de kwantitatieve visie veeleer tegen. Het blijkt dat een kwalitatief goed gemotiveerde groep, die uitsluitend studeert uit vrije wil (i.c. autonome motivatie) en niet uit verplichting (i.c. gecontroleerde motivatie), het beste leer- en prestatieprofiel vertoont. Deze groep scoort zelfs beter dan een sterk gemotiveerde groep leerlingen, die om zowel autonome als gecontroleerde motieven studeren. Verder blijkt het uitsluitend studeren uit verplichting ook niet de gewenste leervoordelen mee te brengen in vergelijking met weinig gemotiveerd zijn. Samenvattend kan dus gesteld worden dat meer motivatie soms minder gunstige leerresultaten oplevert dan minder of geen motivatie. Omdat sterker gemotiveerd zijn zich niet noodzakelijk vertaalt in betere leeruitkomsten en schoolresultaten, geeft dit aan dat 'meer soms minder betekent'. Kortom, de onderzoeksresultaten blijken vooral de kwalitatieve visie op motivatie van de zelfdeterminatietheorie te ondersteunen. Als leraar stimuleert men het best een autonome motivatie, om zo de leerlingen tot de beste leerprestaties te brengen²²¹.

Welke onderwijsstijl sluit dan het best aan bij de kwalitatieve visie van de zelfdeterminatietheorie? Leraren en leerlingenbegeleiders kunnen de autonome motivatie van leerlingen bevorderen door een leeromgeving te creëren die inspeelt op drie psychologische basisbehoeften van leerlingen: autonomie, competentie en relationele verbondenheid²⁶⁰ (p.20-21). Autonomie betekent het ervaren van keuze en psychologische vrijheid bij de uitvoering van een leeractiviteit. Zelfbekwaamheid houdt in dat leerlingen de effectiviteit van hun studiegedrag ervaren (i.e. het gevoel in staat te zijn om gewenste leeruitkomsten te behalen). De relationele verbondenheid slaat op het ervaren van vriendschap en een gevoel van verbondenheid met medeleerlingen en met leraren. We kunnen vaststellen dat de leerlingen uit de kwalitatief goed gemotiveerde groep hun leraren als meest autonomieondersteunend, structuurbiedend en betrokken ervaren in vergelijking met de leerlingen met de andere motivatieprofielen. Het is dan ook een uitdaging voor de onderwijs- en begeleidingspraktijk, om een school-, klas- en begeleidingsomgeving te creëren die tegemoetkomt aan de basisbehoeften van leerlingen (autonomie, competentie en verbondenheid) en dit via autonomieondersteuning, structuur en betrokkenheid²²¹. De praktijkvoorbeelden die in de volgende hoofdstukken worden besproken, getuigen van deze motiverende onderwijspraktijk.

Ook instructies zijn belangrijk in het bevorderen van de motivatie van leerlingen.²¹⁶ Bij het geven van instructies en opdrachten wisselt de leraar bij voorkeur af tussen zes domeinen. Hij ontwerpt instructies en taken: a) die een scenario of probleem vooropstellen en waarbij leerlingen oplossingen moeten

zoeken (i.e. een onderzoekende aanpak, zie Hoe? 3.2); b) die samenwerking aanmoedigen (i.e. samenwerkend leren, zie Hoe? 3.5); c) die het probleemoplossende en kritische denken verbeteren (zie Hoe? 3.7 (Probleemoplossend) denken); d) die leerlingen helpen om mentale modellen te ontwerpen en conceptuele verandering te ervaren (zie *Wat? 2.1.2. Conceptueel inzicht*); e) die het gebruik van technologie vooropzetten (zie *Hoe? 3.10. Praktische voorwaarden*); f) die inspelen op de overtuigingen die leerlingen en leraren hebben (zie *Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren*). Het is duidelijk dat dit soort instructies en taken de metacognitie en zelfregulatie van leerlingen versterkt.

De studie van Chalupa et al.⁴¹ brengt nog een ander aspect van motivatie op de voorgrond. Zij behandelen bij leermotivatie eveneens de intrinsieke en extrinsieke beloning; de waarde die aan een taak wordt gehecht; het gevoel van autonomie; testangst en leerstrategieën. Ze tonen aan dat individuen sterker intrinsiek gemotiveerd zijn, indien ze de indruk krijgen dat ze in staat zijn om succesvol te handelen en dat ze de situatie op een zinvolle manier kunnen controleren en sturen. We stelden hierboven inderdaad vast dat het begrip motivatie heel vaak in samenhang wordt gezien met waardering, interesse en autonomie. Maar Chalupa et al. benadrukken een andere belangrijke sociale component inherent aan leren: het vertrouwen van de leerling in het eigen kunnen, de overtuiging dat hij een doelstelling zal kunnen behalen. Dit sluit aan bij doelmatigheidsbeleving²⁶⁰ (p.41) en zullen we als zelfeffectiviteit benoemen.

1.4.2. Zelfeffectiviteit

Zelfeffectiviteit is de mate waarin een individu er vertrouwen in heeft dat hij een bepaalde taak kan uitvoeren of een bepaald doel kan bereiken. Een hogere graad aan zelfeffectiviteit vertoont een positief verband met schoolprestaties en zelfwaardering. Zelfeffectiviteit wordt beïnvloed door tal van variabelen, maar vooral door het leren via observatie van een model. Observerend leren vindt plaats wanneer leerlingen iets leren door anderen een taak te zien uitvoeren of een onderwerp te horen bespreken. Modelleren houdt bijvoorbeeld in dat een leraar een complexe taak opsplitst in beheersbare deeltaken en de leerlingen vraagt om op hun beurt een onderdeel te demonstreren. Peer modellen zijn dan ook het meest efficiënt omdat ze het meest herkenbaar zijn voor de leerling. De reden is dat leerlingen vooral dan hun eigen zelfeffectiviteit kunnen versterken wanneer ze een medeleerling met gelijkaardige vaardigheden een taak zien uitvoeren. Er zijn twee manieren om de zelfeffectiviteit van leerlingen op te voeren. Eerst en vooral kan men zowel een expert (de leraar) en een niet-expert (een peer, dus een andere leerling) als modellen inzetten en iets laten voordoen. Daarnaast kan men zoveel mogelijk informatie via feedback aan de leerlingen geven. Feedback dient niet enkel te gaan over welke vaardigheid door de leerling op voldoende of onvoldoende wijze werd ingezet. Feedback moet vooral zoveel mogelijk informatie verschaffen over hoe een leerling het de volgende keer beter kan doen²¹⁶.

Het ondersteunen van de intrinsieke motivatie leidt tot zelfeffectiviteit, tot het geloof van de leerlingen in hun eigen vaardigheden. Het geloof van leerlingen in hun zelfeffectiviteit voorspelt hun slagen in een bepaalde situatie. Vooral voor het vak wiskunde zou zelfeffectiviteit een goede barometer voor de academische performantie zijn⁷⁸. Bovendien gaan leerlingen met een beter ontwikkelde zelfeffecti-

viteit hun cognitieve en metacognitieve leerstrategieën veel effectiever gebruiken en zijn ze zich meer bewust van hun eigen overtuigingen en wat hen motiveert⁷⁸. De motivatie van leerlingen wordt ook bij Lord et al.¹⁵⁶ in samenhang gebracht met: 1) een zelfconcept of zelfbeeld van leerlingen, dus ook het besef van hun zelfeffectiviteit; 2) de zelfregulatie, inclusief het vermogen om leerstrategieën te gebruiken en weerbaar te zijn; 3) de betrokkenheid, het engagement en de participatie; 4) attitudes ten aanzien van onderwijs en leren; 5) invloeden op de leerling zoals op hun zelfachting, maar ook stress en angst. Om het simpel te stellen: hoe beter een leerling zijn eigen denken en handelen doorheeft, hoe makkelijker hij een positieve houding tegenover een vak zal ontwikkelen en in staat zal zijn de eigen studies te sturen. Cognitieve en metacognitieve kennis van de leerling leiden uiteindelijk tot zijn emotionele reactie: "Iemand met een zwakke doelmatigheidsbeleving zal sneller de mogelijke negatieve gevolgen van een handeling voor ogen zien daardoor misschien onterecht van een taak afzien"²⁶⁰ (p.39).

Onderzoek toont verder aan dat de inspanning die een leerling bereid is te leveren voor een taak bepaald wordt door de succesverwachting die hij hierbij heeft. Hierbij kan hij natuurlijk vooral de taak zelf en zijn participatie het belangrijkste vinden ofwel de extrinsieke beloningen die hij met een succesvol afsluiten van de taak associeert. Leerlingen hebben bijvoorbeeld voor het vak wiskunde een relatief hoge succesgraad nodig om het vak als investeringswaardig te aanzien. Ze hebben ook het gevoel dat succes in het vak afhangt van hun vaardigheid en inzet. Verder dragen het ervaren van hulpeloosheid, het gebrek aan succes en de opvatting dat hun falen te wijten is aan onkunde er allemaal toe bij dat leerlingen weinig gemotiveerd zijn om te leren. Deze factoren kunnen ook schade toebrengen aan de vaardigheid om complexe wiskundige informatie te verwerken. Bovendien wordt de motivatie voor wiskunde vroeg ontwikkeld, blijft ze vrij stabiel en wordt ze sterk beïnvloed door de handelingen en attitudes van de leraar. Het doorwegen van herinneringen aan slechte ervaringen verklaart ten dele waarom het enthousiasme van leerlingen voor wiskunde dreigt af te nemen wanneer ze ouder worden en waarom de inschrijvingen voor cursussen wiskunde op hoger studieniveau in aantal zijn gedaald¹⁶⁹. Het besproken onderzoek toont aan dat het dus nodig is om te werken aan de interesse van leerlingen en dan specifiek aan de interesse voor STEM-vakken. Hierop komen we later nog terug.

Binnen de zelfeffectiviteitstheorie speelt het vertrouwen in het eigen kunnen een hoofdrol, maar ook epistemologische overtuigingen beïnvloeden de motivatie. Epistemologische overtuigingen zijn opvattingen over de oorsprong en de aard van kennis. Vaak gaat men ervan uit dat er verschillende overtuigingen en opvattingen zijn over wat kennis inhoudt. In het hoofdstuk over zelfregulerend leren gaan we hier specifiek op in. Wel kunnen we hier al meegeven dat dit een invloed zal hebben op het probleemoplossend en kritisch denken en de vaardigheid om wetenschappelijke problemen op te lossen²¹⁶.

1.4.3. Interesse

Over het algemeen worden twee types van interesse omschreven: de individuele en de situationele interesse. Individuele interesse hangt samen met een relatief stabiele voorkeur voor een bepaald onderwerp en voor een leertaak. Situationele interesse ontstaat op basis van een prikkel in de omgeving van de leerling. Leraren kunnen deze laatste sterk beïnvloeden.¹²⁰ De literatuurstudie over leerbereidheid stelt een vierstappenplan voor om van een uitgelokte interesse naar een onderhouden situationele interesse te evolueren om vervolgens via de ontluikende persoonlijke interesse tot een doorontwikkelde persoonlijke interesse te komen²⁶⁰ (p.33-34). Deze laatste fase biedt het meest kans op een langdurige motivatie.

Algemeen wordt aangenomen dat kinderen effectiever leren wanneer ze geïnteresseerd zijn in wat ze leren. Ze hebben bovendien meer plezier aan wat ze leren. Interesse en competentie correleren met prestatie, terwijl het ondervinden van druk (bv. door toetsen) negatieve effecten heeft. Onderzoek met herhaalde testperioden heeft het blijvende effect aangetoond van positieve interesse enerzijds en negatieve druk anderzijds¹¹². Ook het succes bij verder studeren hangt in sterke mate van interesse en motivatie af. Studies benadrukken het belang van de intrinsieke motivatie en interesse voor academisch slagen. Met betrekking tot wiskundelessen werd verder gesteld dat leerlingen die plezier scheppen in het vak een betere persoonlijke motivatie konden ontwikkelen en omgekeerd. Wanneer leerlingen gemotiveerd zijn om wiskunde te leren, dan besteden ze meer tijd aan wiskundetaken en vertonen ze meer doorzettingsvermogen om wiskundige problemen op te lossen. Ze zijn vaak ook meer geneigd om een groter aantal wiskundecursussen te volgen en een carrière binnen het domein na te jagen⁷⁸. Bijgevolg kan men stellen dat de interesse van leerlingen voor wiskunde een belangrijke impact heeft op hun schoolse, academische en professionele succes binnen het vak en dat het dus zeker essentieel is om hun interesse levende te houden.

Op het vlak van het behouden van de interesse van leerlingen voor STEM blijkt nu net het schoentje te knellen. De internationale TIMSS-studie heeft het verband tussen motivatie en prestatie voor wiskunde onderzocht en kwam tot de vaststelling dat, over het algemeen genomen, positieve houdingen leidden tot een betere presentatie in zowel het vierde leerjaar als in het tweede jaar secundair onderwijs. De verhouding tussen attitudes en prestatie lijkt zelfs nog sterker in de achtste graad. In 2007 kon in de aan deze studie deelnemende EU-landen worden vastgesteld, dat in het vierde leerjaar de leerlingen met een positieve attitude tot 20 punten meer scoorden dan hun negatief ingestelde medeleerlingen¹⁷². In het tweede jaar secundair onderwijs werd zelf een verschil van 42 punten vastgesteld. Dit stemt overeen met de hierboven vermelde studies. Maar beide rapporten kwamen eveneens tot de conclusie dat de leerlingmotivatie afneemt tijdens de secundaire school, een bevinding die de cruciale rol benadrukt van leraren en van een onderwijsproces waarin het gebruik van diverse onderwijsmethoden en de ondersteuning van leerlingmotivatie vooropstaan. De bevindingen van TIMSS tonen trouwens ook dat leerlingen van het vierde leerjaar een attitude tegenover wiskunde vertoonden die positiever was dan die van leerlingen van het tweede jaar secundair onderwijs⁷⁸. Het is dus nodig om een positieve, geïnteresseerde houding bij leerlingen levendig te houden, zodat STEM-vakken ook op latere leeftijd populair blijven.

Onderzoek naar de interesse van leerlingen (eveneens voor het vak wiskunde) geeft verder aan dat goede prestaties samenhangen met zelfvertrouwen binnen het vak, met een hoog affectief en gedrags-engagement, een hoog vertrouwen in het gebruik van technologie en een sterke positieve houding ten aanzien van het leren van wiskunde via ICT. Lage prestatieniveaus voor het vak werden geassocieerd met de (bijna volledige) afwezigheid van deze factoren¹⁷. Nog meer studies hechten belang aan de rol van attitudes. Het is algemeen erkend dat kinderen tijdens het opgroeien een minder positieve houding ten aanzien van school en academische vakken ontwikkelen en ook wetenschap vormt op deze regel geen uitzondering. De houding van leerlingen tegenover wetenschap toonde echter een opvallende terugval tijdens de secundaire schooljaren. Toch zijn er aanwijzingen dat deze evolutie reeds vroeger, op het einde van de lagere school, begint. Een Engelse studie rapporteert een afname in interesse voor wetenschap bij leerlingen tussen tien en veertien in Engeland. In tegenstelling hiermee toont recentelijk onderzoek aan dat de interesse van leerlingen voor wetenschap rond de leeftijd negen à tien jaar hoog ligt. Onderzoekers suggereren dat oudere leerlingen (10-11 jaar) een duidelijk negatievere houding hebben dan jongere leerlingen (8-9 jaar). Deze bevinding geldt ook voor lezen en wiskunde, waarvoor eveneens een dalende interesse wordt vastgesteld naarmate leerlingen ouder worden⁹⁷.

Toch blijkt de samenhang tussen attitude en prestatie niet onomstotelijk bewezen. Sommige studies tonen een zwak tot matig verband aan, terwijl andere studies totaal geen samenhang aantonen. Een meta-analyse van onderzoeken die liepen tussen 1970 en 1991 spreekt van een slechts zwakke correlatie⁹⁷. Afgaande op de verschillende factoren die een invloed kunnen hebben op leerprestaties, lijkt meer onderzoek aangewezen om de correlatie tussen attitude en prestatie te ontrafelen. Een aanzet om de interesse van leerlingen alvast duidelijker te beschrijven en vervolgens te stimuleren, gaan we nu kort bekijken.

Ten slotte zijn er tal van redenen waarom we de interesse voor STEM willen vergroten. Volgens de Europese Unie moet het wetenschapsonderwijs op school ertoe bijdragen dat alle kinderen zich betrokken voelen bij debatten die door wetenschappen en techniek worden geïnspireerd en die ons alledaags leven beïnvloeden, zoals over de klimaatsverandering. Verder dient er een basis gevormd te worden voor toekomstige wetenschappers, techniekexperten en ingenieurs. De eerste reden vormt alleszins de prioriteit voor de landen van de EU¹⁹⁰ en reeds in de basisschool dient de betrokkenheid van leerlingen te worden gestimuleerd. Maar ook het plezier aan het ontdekken en begrijpen van wetenschap en techniek in het basisonderwijs vormt een motivatie voor leerlingen om ook in het secundaire onderwijs en in hun latere studie- of professionele loopbaan verder aan wetenschappen te doen⁹⁷. Ten slotte zijn er veel redenen om wetenschappen in de basisschool te ondersteunen. In elk geval vormt het opbouwen van kennis en bestaande onderzoeksmethodes geen voldoende reden, maar wel het opwekken van nieuwsgierigheid en een positieve attitude, het begeleiden van kinderen in het oplossen van problemen in de fysieke, natuurlijke en menselijke werelden. Het gaat dus niet om kennisoverdracht of om graden of testen succesvol af te leggen, maar wel om het bestuderen van enkele basisconcepten zoals: Waarom drijft ijs op een vijver?. Anders wordt wetenschapsonderwijs contraproductief, vooral als het gepaard gaat met enkel summatieve testen. Toetsing krijgt dus ook een andere rol: het is enkel noodzakelijk in die zin dat er feedback voor leraren en leerlingen uit voortvloeit (zie Hoe? 3.8. Evalueren)⁹⁷.

1.4.4. Krachtige leeromgeving

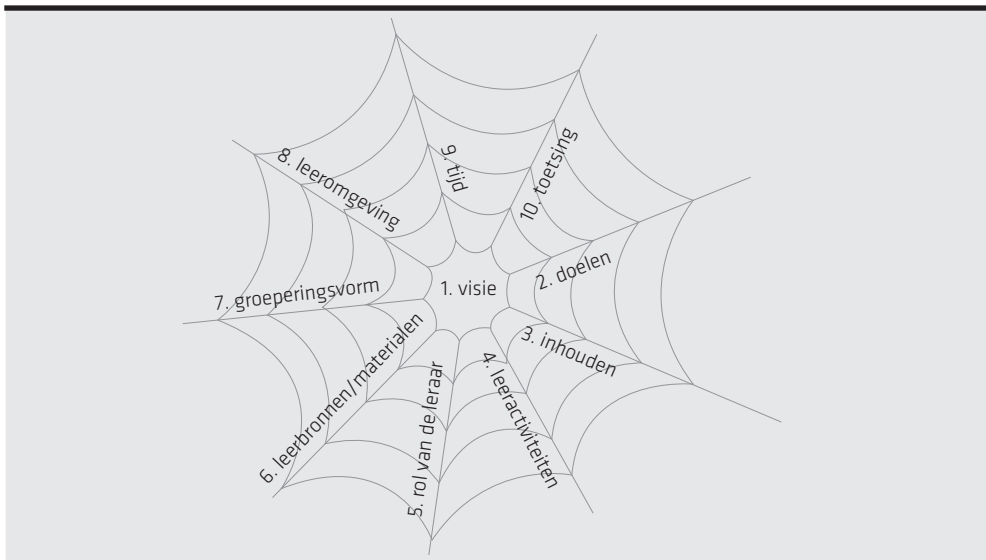
Wat verstaan we onder een krachtige, effectieve leeromgeving? Dit is een leeromgeving waarin leerlingen eerst en vooral relevante, kwalitatieve ervaringen opdoen. Hierbij moet men rekening houden met het soort van mentale activiteit dat men bij de leerlingen beoogt en met het inzicht of het domein waarvoor de ervaring bruikbaar is. Verder moet deze mentale ervaring intens genoeg zijn en dient er een fascinatie, passie en betrokkenheid bij de leerlingen te ontstaan. Ze gaan dan ook sneller klaar zijn voor meer differentiatie, complexiteit en abstractie. In de praktijk houdt men het best met vijf basisregels voor de opbouw van een krachtige leeromgeving rekening: 1) het stimuleren van de exploratiedrang en zo ook de betrokkenheid; 2) het creëren van een rijke en uitdagende omgeving (concrete ervaringen, materialen en activiteiten; toenemende complexiteit van de leerstof; rechtstreeks contact met de werkelijkheid); 3) het gebruik van een "open framework"-model (waarin leraar en leerling beiden een hoge mate van initiatief hebben: de leerlingen maken mee keuzes, terwijl de leraar met een hiermee gepaard gaande onvoorspelbaarheid kan omgaan); 4) het bevorderen van creativiteit en expressie (leerlingen delen hun ervaringen via rollenspel, audiovisuele media, muziek en dans...); 5) het helpen van leerlingen bij het ontdekken en ontwikkelen van hun talenten. Deze basiscomponenten van een krachtige leeromgeving kan men in de volgende hoofdstukken telkens weer terugvinden¹⁴⁰.

In het volgende bespreken we de vragen "Wat?", "Hoe?" en "Wie?" van motiverend STEM-onderwijs. Maar veranderingen binnen onderwijs zijn steeds gebonden aan een context, met name aan het curriculum en aan de vele samenhangende factoren die samen goed onderwijs maken. Het spinnenwebmodel van van den Akker²⁵² biedt een handig uitgangspunt om aan te tonen hoe men ook bij het creëren van vernieuwingen (ook motiverende leeromgevingen voor STEM bekijken we als dusdanig) bedachtzaam te werk kan gaan. Hij gaat uit van tien componenten die in een curriculum aanwezig moeten zijn (Figuur 1). Terwijl de visie het centrum van het web vormt, kan men zich de overige negen componenten als de draden van het web voorstellen. De idee achter deze spinnenwebmetafoor is dat elke component samenhangt met en een invloed heeft op de anderen. Concreet: men kan niet één van hen gaan veranderen, zonder rekening te houden met de andere. Anders verzwakt en breekt het web. Wanneer men bijvoorbeeld ICT in de klas wil introduceren, dan kan men niet zomaar materiaal en voorzieningen gaan aanpassen. Ook de andere componenten van het web moeten worden bekeken.

In de hoofdstukken die volgen worden elk van deze tien componenten van een goed curriculum dan ook nauwlettend in het oog gehouden. De hoofdvragen "Wat?", "Hoe?" en "Wie?" houden daarenboven rekening met de onderlinge samenhang die tussen deze componenten bestaat.

Ook aan de drie voorwaarden tot curriculumverandering wordt in onze beschrijving van een krachtige, samenhangende leeromgeving voldaan: kennis moet essentieel en toekomstgericht zijn, problemen en vraagstellingen moeten sociaal relevant zijn, elementen moeten essentieel zijn voor het leren en voor de lerende. Zo is in deze studie bijvoorbeeld sprake van "tien grote ideeën", i.e. van het focussen op slechts enkele leerdomeinen met een klare kijk op de respectieve doelstellingen, zodat een warrige en stressveroorzakende opeenvolging van nieuwe curriculumveranderingen kan worden vermeden. Verder wordt aandacht besteed aan manieren waarop schools met buitenschools leren kan worden aan-

gevuld. En het stimuleren van motivatie en autonoom leren ten slotte vormt een van de uitgangspunten van deze literatuurstudie²⁵² (p.43-44). Daarbij moeten zelfeffectiviteit, leerdoel, leerstrategieën en leeromgeving worden bekeken om de motivatie van leerlingen voor wetenschapsstudies te kunnen onderzoeken.²⁴⁵



Figuur 1: Spinnenwebmodel van van den Akker²⁵² (p.43).

1.4.5. Socio-culturele invloeden en schoolcultuur

Tot slot lijkt het ons aangewezen om kort de leerlingen en hun vaak erg verschillende achtergrond te belichten. De mate waarin leerlingen motivatie en interesse tonen, wordt in grote mate mee bepaald door de invloeden die ze buiten de school ondervinden. Volgens de literatuurstudie over leerbereidheid aanwakken²⁶⁰ wordt de leerbereidheid van leerlingen door drie invloeden mee bepaald: 1) socio-culturele invloeden; 2) leraarinvloeden; 3) schoolinvloeden (53-112). We willen kort op de socio-culturele invloeden en schoolcultuur ingaan.

Onder socio-culturele invloeden worden invloeden van **familie** en peers verstaan. Familiale invloeden zijn: 1) socio-economische status (p.54-57); 2) opvoedings- en leerklimate thuis (p.57-59). Naar gelang het opleidingsniveau van ouders hoog is, zullen de carrièreverwachtingen van leerlingen ook hoog liggen, althans bij vrouwelijke leerlingen. Rollenmodellen en ondersteuning binnen de familie bleken vooral op de zelfeffectiviteit van meisjes een positieve invloed te hebben, maar niet op die van jongens¹³⁶. Een studie die de samenhang tussen gezinsomstandigheden en het vak wiskunde in enkele landen onderzocht, kwam onder andere tot de volgende vaststellingen. Eerst en vooral bleek dat leerlingen die in een gezin met ruime middelen en minder familieleden opgroeiden, in de meeste landen beter scoorden voor wiskunde (want het al dan niet moeten verdelen van de aandacht en hulp van ouders over één of meerdere kinderen maakt een verschil uit). Daarnaast stond de interesse van

leerlingen voor wiskunde (een kenmerk van intrinsieke motivatie) in samenhang met betere resultaten voor wiskunde, terwijl de samenhang met een extrinsieke motivatie ontbrak. Bovendien scoorden leerlingen die uit eenoudergezinnen kwamen, niet lager in de collectivistische landen (In collectivistische landen wordt het belang van de gemeenschappen boven dat van het individu gesteld)⁴⁶. Onderwijs en schoolcultuur zijn dus niet de enige invloed op het academisch bedrag van kinderen. Bovendien blijkt dat de verwachtingen van ouders omtrent de (wiskunde)prestaties van hun kinderen, hun mogelijke nadruk op het verschil tussen vaardigheid en inzet, de directe en indirecte manieren waarop het leren op school cognitief wordt gestimuleerd en ondersteund door het thuismilieu, dit alles een grote impact heeft op de overtuigingen, attitudes en het gedrag van kinderen²⁰⁴.

Naast de ouders hebben ook **peers** een grote invloed op het ervaren van voldoening en angst binnen onderwijs. Men kan aannemen dat een leerling meer genoegen beleeft aan het vak indien hij ervan uitgaat dat ook een peer het vak op prijs stelt. Bovendien wordt dit effect nog versterkt indien de leerling omringd wordt door meerdere klasgenoten die eveneens een grote waarde aan het vak toekennen. Het omgekeerde patroon ziet men bij angst voor een vak, die door een gebrek aan ondersteuning door peers of door hun gelijkaardige angst wordt gevoed⁸⁵.

De invloed van omgevingsfactoren (zoals socio-economische status en ondersteuning van ouders en peers) op de houding van leerlingen tegenover wetenschappen blijft in sterke mate beperkt tot oudere leerlingen en zelfs dan spreekt het bestaande bewijsmateriaal elkaar tegen. Een geïnteresseerde lezer kan zich wenden tot Osborne et al.¹⁹¹ voor een degelijke samenvatting van het bewijsmateriaal.

Het is belangrijk om de factoren te omlijnen die het sterkst in verband staan met de wiskundeprestaties tijdens de kleuterklas, de eerste graad en de derde graad. Het gaat om: aan onderwijs voorafgaande factoren (o.a. socio-economische status), factoren gerelateerd aan kansen (o.a. graad van blootstelling aan wiskundige inhoud) en factoren betreffende aanleg (o.a. reeds aanwezige wiskundige vaardigheden). Statistisch kan aangetoond worden dat wiskundeprestaties in sterke mate kunnen voorspeld worden door een combinatie van deze drie factoren. Toch was aanleg de belangrijkste factor. Van zodra men deze drie factoren stabiel hield binnen een toetsgroep, bleek bovendien de invloed van gender en etniciteit eerder beperkt³⁶. In Vlaanderen bleek uit de Periodieke Peilingen van 2008-2009 dat een onderpresteren voor het vak wiskunde samenhangt met de taal die thuis wordt gesproken, namelijk indien de thuistaal afwijkt van de taal die in de klas wordt gebruikt. In dit geval was er een lage intrinsieke motivatie en een lage socio-economische achtergrond⁷⁸.

Van invloed op het prestatieniveau van leerlingen is uiteraard ook de **schoolcultuur**. Belangrijk voor leerlingen is de toegang die ze al dan niet hebben tot kansen om te leren. De prestatiekloof tussen leerlingen van verschillende socio-economische en etnische groepen werd in het verleden duidelijk aangetoond. Veel factoren dragen tot deze kloof bij, zoals armoede, maar ook structurele verschillen die staten, scholen en districten zouden kunnen oplossen. Zo dragen bijvoorbeeld de verschillen in verwachtingen die leraren hebben en andere school- of klasgebonden factoren (zoals de toegang tot gepaste laboratoriumfaciliteiten, bronnen, voorraden) bij tot een kloof voor ondervertegenwoordigde groepen op vlak van resultaten voor wetenschappen⁵¹.

Omdat meerdere invloeden op leerlingenprestaties denkbaar zijn, werden van scholen uit ten aanzien van ouders en voogden enkele adviezen naar voren gebracht om wiskundeprestaties te verbeteren. Ouders en voogden stellen bij voorkeur hoge verwachtingen, want de prestaties van leerlingen voor het vak wiskunde worden gevormd – en beperkt – door wat van hen wordt verwacht. Best gaan ze ervan uit dat het leerproces een moeizaam proces is, maar dat de inzet, niet de vaardigheid op zich, moet beklemtoond worden. Verder wordt wiskunde best gezien als iets dat te begrijpen is en waarin men inzicht kan verkrijgen. Men vermijdt dat een negatieve attitude ten aanzien van wiskunde wordt overgedragen. Het is uit den boze om kinderen te vertellen dat ze zich van bepaalde onderdelen niks moeten aantrekken omdat die toch nooit zullen worden gebruikt. Best vraagt men een kind wat het die dag in de wiskundeles heeft gedaan. Vragen om details en verklaringen is zeker nodig. Bovendien is men er beter op voorbereid dat het huiswerk van een kind meer zal inhouden dan simpele computation worksheets. Het wijzen op betekenisvolle problemen waarvoor getallen en vormen nodig zijn tijdens de alledaagse dag maken wiskunde tastbaar. Men dient kinderen te vragen om te verklaren wat het doet. Als ouder is men een voorstander van diepgang in wiskunde in boeken, toetsingen en instructie. Het voorzien van planning en een regelmatig moment elke schooldag om te werken aan diepgang in wiskunde is een verdere vereiste, evenals de ondersteuning van professionaliseringsinitiatieven voor leraren en administrators.¹²⁶ Kortom, niet enkel de factoren binnen de klas spelen een rol bij de motivatie het academisch succes van de leerlingen, ook hun familie en peers blijken een belangrijke determinant te zijn.

HOOFDSTUK II

WAT?

2.1. Wat bied je aan binnen STEM-onderwijs?

Willen we deze vraag beantwoorden, moeten we eerst stilstaan bij de vraag wat we eigenlijk willen bereiken binnen STEM-onderwijs, wat onze doelen zijn. In dit hoofdstuk gaan we in op deze vraag en kijken we ook of deze doelen vervat zijn binnen de eindtermen. Een antwoord op deze vraag naar de doelstellingen zal voor een groot stuk de inhoud van het STEM-onderwijs bepalen. Daarna gaan we in op enkele aandachtspunten die we op basis van enkele belangrijke onderzoeken hebben geformuleerd: de focus op conceptueel inzicht, het belang en de invloed van context en een interdisciplinaire aanpak op leereffect en motivatie en aandacht voor Nature of Science.

2.1.1. Wat wil je bereiken met STEM-onderwijs?

Tijdens een zomer in de Catskills Mountains van New York, toen Feynman nog een jongen was, vroeg een andere jongen hem: "Kijk naar die vogel daar. Welk soort vogel is dat?". Feynman antwoordde: "Ik heb er geen flauw idee van." De andere jongen antwoordde: "Jouw vader leert je echt wel niks!". Maar de vader van Feynman had hem iets geleerd over de vogel, maar dan op zijn eigen manier. Dit is hoe Feynman zich de woorden van zijn vader herinnert: "Zie je die vogel daar? Dat is een Spencer's Warbler". (Ik wist dat hij de echte naam niet kende.) "... Je kunt de naam van die vogel in alle talen van de wereld benoemen, maar wanneer je daarmee klaar bent, dan weet je nog altijd niets over die vogel. Je zult enkel iets weten over mensen in verschillende oorden en hoe ze de vogel noemen. Dus laat ons even naar de vogel kijken en zien wat hij aan het doen is - dat is wat telt."

(het verschil tussen het kennen van de naam van iets en het kennen van iets, R.P. Feynman ¹⁵⁰).

Bovenstaande anekdote van R. Feynman illustreert heel mooi dat kennis op zich (zoals de naam van een vogel, het kennen van een theorie of een wetmatigheid) niet veel inhoudt. Kennis staat namelijk steeds in functie van een doel dat je als leraar wilt bereiken. De vraag 'Wat wil je bereiken?' is echter ook vaak de moeilijkste vraag.

Laat ons hiervoor een kijkje nemen naar de kenmerken van experts die aan het werk zijn binnen het wetenschappelijk-technisch werkveld. Onderzoek geeft inderdaad aan dat experts een brede basis van feitelijke kennis hebben¹⁵⁰. Het is echter belangrijk dat zij in staat zijn om feiten en ideeën binnen de context van een conceptueel kader te plaatsen en dat ze deze kennis opnieuw gebruiken en/of toe-

passen⁷¹. Kennis wordt dus vooral toegepast, maar daarvoor moet men de contexten kennen waarbinnen kennis toepasbaar is, alsook in staat zijn om een transfer te maken naar andere context.

Wat betekent dit nu voor het onderwijs? Kort en krachtig gezegd, leerlingen moeten in staat zijn om te gebruiken wat ze leren. Daarvoor moeten ze de belangrijkste concepten begrijpen, een brede achtergrond hebben (ter ondersteuning) en weten hoe ze dit inzicht effectief kunnen toepassen³¹. Net zoals binnen het professionele handelen van de expert, zou ook binnen onderwijs kennis (inhoud) steeds in dienst moeten staan van hogere orde vaardigheden en attitudes.

Van Graft en Kemmers²⁵⁴ deden onderzoek naar wetenschap en techniek binnen het basisonderwijs. Ze vragen zich af wat nu in feite belangrijk is voor wetenschap en techniek: de inhoud of het proces om deze inhoud te verwerken?

"Het natuuronderwijs heeft een dubbel voordeel omdat het zowel een manier van werken behelst als ook een aantal ideeën: het betreft zowel een proces als een product. De proceskant van natuuronderwijs houdt in dat kinderen leren informatie verwerken, ideeën testen en verklaringen vinden. Het product van natuuronderwijs zijn ideeën die kunnen worden gebruikt om nieuwe ervaringen te begrijpen. Ook voor ontwerpend leren geldt dat zowel het proces (de ontwerpcyclus en alles wat daar bij komt kijken) als de productkant bijdragen aan de kennis en vaardigheidsontwikkeling van kinderen."²⁵⁴ (p.34)

In Vlaanderen spreekt Pascal Smet in zijn oriëntatienota²²⁷ over 'competentieontwikkeland onderwijs'. Scholen, leerplannen, koepels en beleidsmakers moeten veel meer vertrekken vanuit 'te bereiken competenties'. Hierin worden competenties gedefinieerd als "de bekwaamheid om kennis, vaardigheden en attitudes in het handelen op een geïntegreerde wijze aan te wenden voor maatschappelijke activiteiten." Met deze activiteiten worden handelingen in het persoonlijke leven, de professionele context, maar ook bredere handelingen (zoals participatie aan maatschappij) bedoeld. Het gaat dus niet enkel om competenties die leerlingen nodig hebben in een latere job of binnen een hogere wetenschappelijk studie, maar om **de brede geletterdheid** van de leerlingen, waarbij jongeren worden opgeleid tot kritische en verantwoordelijke burgers.

De theorie: vertaling van deze brede geletterdheid naar eindtermen

In Vlaanderen vormen leerplannen en vooral de (vakgebonden) eindtermen – waarop de leerplannen gebaseerd zijn – de basis van onze onderwijsdoelen. Aangezien ze dus de vraag 'Wat wil je bereiken?' behandelen, moeten we er hier een blik op werpen. Zowel voor lager als secundair onderwijs vinden we voor de STEM-disciplines de onderverdeling in kennis – vaardigheden – attitudes terug (eindtermen onderwijs Vlaanderen onder verantwoordelijkheid van AKOV = agentschap voor kwaliteitszorg in Onderwijs en Vorming, <http://www.ond.vlaanderen.be/curriculum/>).

- Zo maken de eindtermen wiskunde in het lager onderwijs gebruik van volgende onderverdeling: 'begripsvorming/feiten en procedures' (kennis), 'strategieën en probleemoplossende vaardigheden' en 'attitudes'. Binnen de 1^{ste} graad voegt men binnen het luik kennis nog een onderverdeling 'samenhang tussen begrippen' toe en spreekt men enkel over vaardigheden. In de 2^{de} graad (vakgebonden eindtermen wiskunde) zijn de vaardigheden en attitudes versmolten tot 'algemene eindtermen'.
- De eindtermen voor techniek voor zowel lager als secundair onderwijs spreken over 'kerncomponenten van techniek' (= kennis); 'techniek als menselijke activiteit' en 'techniek en samenleving' (vaardigheden en attitudes t.a.v. techniek zitten vooral vervat in de laatste twee delen). In de 2^{de} graad zijn de eindtermen techniek opgenomen in de vakoverschrijdende eindtermen 'technisch-technologische vorming' met als onderscheid 'techniek begrijpen' (= kennis), 'technisch begrijpen' (vaardigheden) en attitude.
- Voor natuur(wetenschappen) vinden we heel wat inhoudelijke eindtermen terug (=kennis), waarbij de verdeling in het lager en de 1^{ste} graad van het secundair onderwijs eerder thematisch is, in de 2^{de} graad vakgebonden (biologie – chemie – fysica). In wereldoriëntatie (lager onderwijs) spreekt men van algemene vaardigheden en attitudes binnen het deel natuur. In het secundair onderwijs worden deze vaardigheden en attitudes vertaald naar 'wetenschappelijke vaardigheden' en een deel 'wetenschap en samenleving'. Men gaat in de 2^{de} graad nog een stap verder door de vaardigheden te benoemen binnen het luik 'Onderzoekend leren/leren onderzoeken'.
- Binnen de vakoverschrijdende en leergebiedoverschrijdende eindtermen vinden we een aantal vaardigheden en attitudes die binnen de STEM-disciplines aan bod (kunnen) komen, zoals: zich communicatief kunnen uitdrukken, kritisch zijn, meningen formuleren, samenwerken, creativiteit en doorzettingsvermogen.

De praktijk: voornaamste onderzoeksresultaten

Hieronder worden kort een aantal van de belangrijkste resultaten die we in de internationale literatuur vonden, beschreven:

'Leerlingen ervaren STEM-onderwijs als abstract en irrelevant.'

Een Europees rapport⁷⁷ geeft aan dat in verschillende Europese landen wetenschapsvakken **te theoretisch en abstract** blijven. Belangrijke concepten en ideeën worden zonder experimenten, observaties en interpretaties aangebracht. Wetenschapsonderwijs is overladen met kennis/inhoud, wat onder meer te wijten is aan een explosie van (wetenschappelijke) kennis en informatie in onze huidige maatschappij. Hierdoor heerst de perceptie bij de leerlingen dat wetenschap(sonderwijs) **irrelevant**, niet toepasbaar en moeilijk is. Leerlingen zien en maken geen connectie tussen hun dagelijkse leven en de aangereikte leerstof⁷⁷. Het hoeft geen verder betoog dat dit een sterke invloed heeft op de motivatie die leerlingen hebben ten aanzien van STEM.

Dat leerlingen de relevantie niet altijd (willen) begrijpen blijkt uit volgend onderzoek²⁰⁴: Aan achtjarige leerlingen werd de volgende onzinnige vraag gesteld: 'Er zijn 26 schapen en 10 geiten op een schip. Hoe oud is de kapitein?' Volgens Reusser²⁰⁴ gaven drie op vier leerlingen een numeriek antwoord op deze vraag. De reden hiervoor is niet het gebrek aan intellect bij deze kinderen, maar is te wijten aan de gedecontextualiseerde regels/procedures die binnen de lessen wiskunde gemaakt worden.

Volgens Wynne Harlen⁹⁸ moet (STEM-)onderwijs leerlingen essentiële ideeën uit wetenschap en techniek aanreiken. Deze ideeën moeten hen helpen bij het nemen van beslissingen als kritische burgers. Dit houdt duidelijk een focus op competenties als geheel van kennis, vaardigheden en attitudes in. Veel scholen slagen hier volgens Harlen niet in⁹⁸. De aandacht gaat nog steeds vooral naar kennis in plaats van naar vaardigheden en attitudes. Kennis (of zelfs inzicht) op zich kan echter geen einddoel zijn. Kennis zou leerlingen in staat moeten stellen om gebeurtenissen, verschijnselen of processen die zij als relevant ervaren, te begrijpen of te verklaren.

Op een gelijkaardige manier verwijst Pascal Smet²²⁷ naar het opleiden tot kritische en goed geïnformeerde burgers. Net op dit vlak scoren we in Vlaanderen zwakker dan in andere landen. Uit een internationaal vergelijkend onderzoek blijkt dat we op kennisvlak betrekkelijk goede scores neerzetten, maar dat leerlingen qua attitude als kritische burger eerder zwak scoren.

STEM-onderwijs moet meer focussen op conceptueel inzicht dan op het memoriseren van kennis.

Concepten en ideeën binnen STEM zijn per definitie heel abstract. Het probleem stelt zich echter niet door de abstractie zelf, maar wel wanneer deze abstracte ideeën niet gelinkt worden met en opgebouwd worden vanuit concrete ervaringen van leerlingen⁹⁸. Veel moeilijke concepten worden dan via mnemotechnische strategieën aangeleerd. Zo lossen leerlingen bijvoorbeeld binnen een les fysica vaak een oefening op aan de hand van een 'trial-and-error' methode van de verschillende formules die ze nog kennen, in de hoop om zo tot de juiste oplossing te komen. Van conceptueel inzicht is hier uiteraard helemaal geen sprake.

Baptist¹² bevestigt dit door te stellen dat de lessen te inhouds- en prestatiegericht zijn en te weinig aandacht schenken aan het leren. Binnen wiskunde is onder meer aangetoond⁷⁸ dat het gebruik van dergelijke technieken op de prestaties van leerlingen een eerder negatief effect heeft. Men kan hieruit besluiten dat ofwel mnemotechnieken een weinig efficiënte manier zijn om wiskunde te leren, ofwel dat eerder zwakke leerlingen de neiging hebben deze technieken toe te passen. Gelijkaardige vaststellingen kunnen we ook bij leraren doen⁷⁷. Zo blijkt dat leraren die zich onzeker voelen binnen STEM, al dan niet door onvoldoende inzicht, vooral gebruik maken van deze technieken in plaats van te focussen op het conceptuele inzicht van hun leerlingen⁷⁷.

Wil men een brede wetenschappelijke en technologische geletterdheid voor alle leerlingen bereiken, zijn er volgens ons nog belangrijk aandachtspunten: het aanbieden van aantrekkelijk STEM-onderwijs met relevante leerinhouden die aansluiten bij de interesses van kinderen en jongeren; het nastreven van STEM-competenties met een sterke focus conceptueel inzicht, dat leerlingen in staat stelt inhouden daadwerkelijk te gebruiken en toe te passen (en dit in functie van hogere orde vaardigheden en attitudes).

Deze opmerkingen in acht genomen, bespreken we de vraag 'Wat?' verder aan de hand van vier vragen. Zoals reeds eerder werd aangehaald, houden deze vragen verband met wat STEM-onderwijs idealiter omvat:

- Hoe kan je focussen op conceptueel inzicht?
- Wat is het belang van contextgericht STEM-onderwijs?
- Een interdisciplinaire aanpak binnen STEM-onderwijs: waarom wel/niet?
- Hoe integreer je Nature of Science (mathematics, technology) binnen onderwijs?

2.1.2. Hoe kan je focussen op conceptueel inzicht?

Conceptuele kennis of inzicht (conceptual understanding) is een vaak gebruikte term binnen STEM-onderwijs, maar voor leraren is het niet altijd duidelijk wat hiermee bedoeld wordt. Wel, het is net deze kennis of dit inzicht die tot de hogere orde vaardigheden kunnen leiden (cfr. besproken in het begin van dit hoofdstuk). Conceptuele kennis is meer dan het weten van (vaak geïsoleerde) feiten en methodes. Het laat je inzien waarom een wiskundig, wetenschappelijk of technologisch idee belangrijk is. Door de mate van abstractie – die toeneemt naarmate leerlingen in het secundair onderwijs komen – zijn deze concepten breed toepasbaar⁹⁸. Conceptuele kennis moet dus ook inzicht geven in de verschillende contexten waarbinnen deze kennis bruikbaar is.

Door gebruik te maken van verschillende manieren van voorstellen, zullen leerlingen verschillende oplossingsmethodes gebruiken. Het Sinus-programma en de onderzoeksgroep Sinus Bavaria²⁷ wijzen op het belang van de verbeeldingskracht bij het bereiken van conceptueel inzicht binnen wiskunde. De schematische voorstelling van abstracte concepten als een verhouding, vermenigvuldiging... kan leerlingen erbij helpen om de brug te slaan tussen het concrete en het abstracte. In de literatuur vinden we genoeg concrete voorbeelden van dergelijke schematische voorstellingen (zo kennen we allemaal het pizza-model om een breuk voor te stellen). Echter, willen we de ideeën van kinderen achterhalen (zie ook verder), dan is het belangrijk dat ze hun eigen voorstellingen construeren.



Conceptueel inzicht in de som van 2 breuken¹²⁷

Leerlingen moeten twee verschillende breuken bij elkaar optellen, bijvoorbeeld $\frac{1}{3} + \frac{2}{5}$.

Enkele leerlingen beginnen onmiddellijk met een tekening te maken, andere gebruiken tastbaar materiaal om de som van deze twee kwantiteiten voor te stellen. Een andere mogelijkheid is dat ze de volledige vergelijking $\frac{1}{3} + \frac{2}{5} = ?$ als een verhaal concreet proberen voor te stellen. Een vierde groepje maakt gebruik van een getallenlijn, waarop ze elke breuk voorstellen als een segment op de as.

Het Eurydice-rapport⁷⁸ vermeldt twee belangrijke randvoorwaarden wanneer men zich als leraar op conceptueel leren wil focussen. Ten eerste moet men discussie stimuleren, bijvoorbeeld door verschillende werkwijzen met elkaar te vergelijken en te gaan onderzoeken. In bovenstaand voorbeeld van de 'som van twee breuken' zouden leerlingen gelijkenissen en verschillen in hun oplossingen met elkaar kunnen vergelijken en bediscussiëren. Op deze manier zal de samenhang tussen de verschillende concepten en ideeën groeien (zie Hoe? 3.7. Probleemoplossend denken). Ten tweede is het belangrijk dat leerlingen werken aan complexe en open opdrachten. Attard⁹ spreekt over hogere orde vragen die vooral het denken en niet zozeer de procedurele kennis stimuleert. Het rapport⁷⁸ geeft echter ook aan dat men best niet kiest voor één welbepaalde strategie (bv. enkel de focus op conceptueel leren leggen). Ten slotte zijn andere (meer traditionele) strategieën ook effectief. Een duidelijke en vlotte instructie en modellering via een schematische voorstelling door de leraar, waarna leerlingen oefeningen maken, blijkt ook efficiënt om vaardigheden aan te leren. Een doordacht evenwicht tussen de twee bovenstaande methodes blijkt wenselijk, weliswaar met een sterkere nadruk op conceptueel leren. Zo wijst onderzoek van Van Schaik²⁵⁷ aan dat het proces van samen kennis en modellen op te bouwen (zie Hoe? 3.5. Samenwerkend leren) kan leiden tot een beter begrip van de modellen en dit in tegenstelling tot situaties waarin de leraar de modellen kant-en-klaar aanbiedt.

i

Wat zijn modellen?

Hoewel er veel definities zijn definiëren wij modellen zoals Van Oers²⁵⁶ "... als elke materiele, gematerialiseerde (bijvoorbeeld grafisch weergegeven) of mentaal voorgestelde constructie, opgebouwd uit identificeerbare elementen en relaties, die de handelingen van een gebruiker op een bepaalde manier structureert... ". Deze modellen functioneren als 'tools' voor oriëntatie en communicatie. Een model kan bijvoorbeeld de ontwerper helpen om hoeken te berekenen, zodat het staal in één keer goed afgezaagd kan worden, in plaats van via 'trial and error'. De wiskundige formule hiervoor functioneert dan als een tool voor oriëntatie. Als een tekening door leerlingen gebruikt wordt om het ontwerp te bespreken, dan dient het als tool voor communicatie²⁵⁷ (p.147).

Verdere automatisering – i.e. het inoefenen van aangeleerde procedures – is een krachtig middel waardoor leerlingen uiteindelijk makkelijker en vooral sneller wiskundige en wetenschappelijke problemen kunnen oplossen, maar brengt ook problemen met zich mee als er onvoldoende conceptueel inzicht aanwezig is. Men moet daarom voorzichtig zijn met geheugensteuntjes, mnemotechnieken, regeltjes... Leerlingen mogen die niet uit het hoofd leren zonder te weten wat deze regeltjes precies inhouden en onder welke voorwaarden ze mogen toegepast worden²⁶⁶. Ben-Hur²⁴ spreekt over een duidelijk onderscheid tussen procedurele en conceptuele kennis. Dat leerlingen vooral het eerste luik inoefenen (en minder het tweede luik) blijkt onder meer uit de recentelijke peilingen voor wiskunde, afgenomen in 2011 op het eind van de tweede graad:

"In direct herkenbare opgaven kunnen leerlingen begrippen, stellingen of formules toepassen. Ze bereiken voor bepaalde onderwerpen dus een basisniveau. Transfer naar nieuwe situaties, interpretatie van resultaten of generaliserende beweringen en het omgaan met opgaven waarbij de oplossing niet gevonden wordt door rechtstreekse toepassing van een begrip, eigenschap of formule zijn voor veel leerlingen echter te moeilijk. Daaruit blijkt dat veel leerlingen de essentie van die begrippen, stellingen of formules niet vatten²⁶⁸ (p.41)."

Naast de moeilijkheid dat concepten en ideeën binnen STEM op zich abstract zijn, moeten we binnen het conceptuele denken rekening houden met een bijkomende randvoorwaarde: Kinderen en jongeren ontwikkelen van jongs af aan eigen beelden van de wereld, die vaak in contrast staan met de 'correcte' of wetenschappelijke ideeën⁷⁸.



Staat de zon of de aarde centraal?

Het geocentrisme (of het idee dat niet de zon, maar de aarde centraal staat) is een idee dat heel intuïtief en normaal gegroeid is: We zien in het oosten de zon opkomen en in het westen ondergaan. Ons gezond verstand vertelt ons vervolgens dat de zon rondom de Aarde draait. Het wetenschappelijke idee dat de Aarde om haar eigen as draait (en op deze manier deze illusie creëert) is eerder contra-intuïtief. In wetenschappen blijken heel wat ideeën eerder contra-intuïtief te zijn. Wat zegt dit uiteindelijk over de manier hoe we STEM moeten onderwijzen? Is het wenselijk dat we van leerlingen verwachten dat ze zelf de wetenschappelijke ideeën kunnen ontdekken?¹⁵⁸

Deze zogenaamde preconcepten interfereren dus op één of andere manier met de concepten binnen STEM²⁵⁴. Ze worden vaak ook 'alternatieve' of 'naïeve concepten' genoemd, of 'misconcepties' als ze inconsistent zijn met de (wetenschappelijk) juiste inhoudelijke betekenis. Hoewel ze heel sterk aanwezig zijn in de wetenschapsvakken (vooral dan binnen de abstracte concepten van fysica en chemie), vind je ze ook terug binnen wiskunde en techniek. Zo denken leerlingen vaak dat wanneer je een getal vermenigvuldigt met een ander getal, het steeds een groter getal oplevert.

Verder onderzoek naar de conceptuele kennis van leerlingen geeft aan dat deze alternatieve ideeën vaak hardnekkig zijn, zeker wanneer traditioneel (passief) onderwijs gehanteerd wordt⁷³.

Ondertussen is er, vooral binnen het wetenschapsonderwijs, vanuit constructivistische leeropvattingen onderzoek gedaan en heeft men het idee van 'conceptual understanding' herwerkt tot 'conceptual change'⁴. Leerlingen bouwen nieuwe kennis en inzicht voornamelijk op via wat ze reeds weten en vooral waarin ze geloven. Deze alternatieve ideeën mogen daarom niet als een negatief begrip opgevat worden, daar ze wel degelijk het mentale resultaat zijn van eigen ervaringen. Deze visie van constructief leren en de cruciale rol die voorkennis hierin speelt, wordt door Verschaffel et al.¹³⁵ met betrekking

tot rekenonderwijs bevestigd. Leerlingen worden dus best aangemoedigd om zoveel mogelijk hun eigen ideeën en methoden te verwoorden⁹.

De meest interessante en moeilijkste vraag luidt dan ook: Hoe kan de voorkennis – waaronder deze misconcepties – aan de nieuwe (wetenschappelijke 'correcte') inhouden gekoppeld worden? Heel wat modellen werden hiervoor ontwikkeld, waaronder het uitlokken van een cognitief conflict²⁰⁰. Men tracht leerlingen afstand te laten nemen van hun oude ideeën door een cognitief conflict uit te lokken. Dit kan gebeuren door leerlingen een probleem aan te bieden waar hun manier van kijken niet meer volstaat om het verschijnsel te verklaren (zie Hoe? 3.8. Evalueren).

Er moeten echter een aantal kanttekeningen gemaakt worden. Zo haalt Limón¹⁵⁰ een aantal problemen aan die zich voordoen wanneer leraren een dergelijk conflict willen uitlokken om een eerste stap naar een conceptuele verandering te bewerkstelligen. Hij breekt het idee niet af, maar stelt zich wel vragen bij de praktische implementatie. Ten eerste moeten de inhouden waarrond het probleem/conflict opgebouwd wordt, betekenisvol zijn. Dit is een noodzakelijke voorwaarde aangezien pas dan leerlingen gemotiveerd en geïnteresseerd zijn en hun voorkennis geactiveerd wordt. Ten tweede is het vaak onduidelijk wat precies verstaan wordt onder deze conceptuele verandering: Hoe treedt deze precies op? Welke voorkennis wordt er precies en in welke mate geactiveerd? Ten slotte besluit hij dat radicale conceptuele veranderingen, binnen bepaalde opvattingen, eerder moeizaam verlopen.

Een tweede, misschien wel belangrijkere kanttekening maakt Reusser²⁰⁴ bij het constructivistisch onderwijs in het algemeen. Hij wijst op mogelijke negatieve effecten van deze aanpak, zeker wanneer deze ideeën heel strikt worden toegepast. Binnen het constructivistisch onderwijs worden leersituaties gecreëerd waar leerlingen met behulp van kennis uit vroegere ervaringen in staat moeten zijn om nieuwe of gewijzigde kennis te construeren. Dit doen ze onder meer door in interactie te treden met de omgeving en via discussie/dialog met medeleerlingen (zie Hoe? 3.5. Samenwerkend leren en Hoe? 3.6. Vragen stellen, dialoog, discussie en debat). Het eerdere voorbeeld van breuken is hier een geïdealiseerd voorbeeld van. Reusser vindt dit een duidelijke overschatting en stelt dat leerlingen niet in staat zijn om in een paar uur te construeren of te ontdekken waar mens en maatschappij jaren of eeuwen voor nodig hadden. Indien er onvoldoende structuur en ondersteuning voorzien wordt aan de leerlingen, leidt deze aanpak eerder tot een negatief resultaat. Ondersteuning ziet hij vooral in de rol van de leraar: als rolmodel, als facilitator, als inhoudelijk expert, als voorziener van strategieën en methodes, als motivator, als ondersteuning voor minder sterke leerlingen... Conceptuele opbouw gebeurt dan best met voldoende variatie, dus niet enkel door te focussen op leerling-activerende werkvormen zoals leerlingenproeven, concept cartoons en onderzoekende aanpak, maar ook door het gebruik van demonstratieproeven, realistische oefeningen en problemen ... (zie Hoe?).

Wynne Harlen⁹⁸ stelt een geleidelijke (conceptuele) opbouw van een aantal wetenschappelijke kernideeën voor. Dit rapport is ontwikkeld door tien internationale experts binnen wetenschapsonderwijs en beschrijft een aantal principes voor het wetenschapsonderwijs voor alle leerlingen en streeft naar een brede wetenschappelijke geletterdheid. Dit betekent dus ook voor de jongeren die wetenschap als irrelevant en oninteressant beschouwen. Volgens haar moeten we deze jongeren een aantal kernideeën

meegeven die hen in staat stellen verschijnselen en gebeurtenissen rondom zich te begrijpen, interpreteren en misschien zelfs te verklaren. Deze denkoefening resulteerde in het verwoorden van '10 ideeën van de wetenschap' (en 4 ideeën over wetenschap):

1. Al de materie in het heelal bestaat uit zeer kleine deeltjes.
2. Objecten kunnen elkaar vanop een afstand beïnvloeden.
3. Om de beweging van een object van richting te doen veranderen, is een netto kracht nodig.
4. De totale hoeveelheid energie in het heelal blijft altijd hetzelfde, maar energie kan worden omgezet als er dingen veranderen of gebeuren.
5. De samenstelling van de Aarde en zijn atmosfeer én de processen die er plaatsvinden, bepalen het aardoppervlak en het klimaat.
6. Het zonnestelsel is een zeer klein deel van de miljoenen sterrenstelsels in het heelal.
7. Organismen zijn opgebouwd uit en worden geregeld door middel van cellen.
8. Organismen vereisen energie en materialen waarvoor ze vaak afhankelijk zijn van of in concurrentie zijn met andere organismen.
9. Genetische informatie wordt doorgegeven van de ene generatie organismen op de andere.
10. De diversiteit aan organismen, levend en uitgestorven, is het resultaat van evolutie.

Belangrijker dan de ideeën zelf is de aanpak om binnen STEM-onderwijs tot deze ideeën te komen. Er is niet enkel nood aan interessante en boeiende leerervaringen, maar er moet een duidelijke progressie zijn vanuit interesses naar deze overkoepelende ideeën toe. Concrete doelen, leerinhouden, concepten moeten vastgelegd worden voor verschillende leeftijden. Waarnemingen, verschijnselen of gebeurtenissen – zoals een blikje cola dat aandampt of de vaststelling dat toiletpapier uit verschillende lagen bestaat – vormen het vertrekpunt om tot onderliggende 'kleinere' ideeën te komen. Door verdere abstractie, door connecties te maken met andere ervaringen, door deze ideeën breder toepasbaar te maken, komt men meer en meer tot een kernidee binnen de wetenschap. Zo leidt het 'kleine' idee dat wormen goed zijn aangepast aan het ondergronds leven tot het 'grotere' idee dat levende wezens evolueren over lange tijdperiodes en zo in specifieke omstandigheden kunnen functioneren. Dit impliceert echter dat eindtermen, curricula en leerplannen flexibel genoeg moeten zijn.

Harlen beseft hier maar al te goed dat het te optimistisch is naar dergelijke wetenschappelijke kernideeën te willen toegroeien zonder verandering binnen de eindtermen, leerplannen en curricula.

2.1.3. Wat is het belang van contextgericht onderwijs?

Bij het oplossen van problemen speelt de context een belangrijke rol. Contexten dicht bij de leefwereld van de leerlingen vergroten de kans op een correcte oplossing. Leerlingen doen het dan behoorlijk goed. Een minder vertrouwde context zorgt voor meer moeilijkheden.²⁶⁸ (p.41)

Binnen STEM-onderwijs speelt de context uiteraard een essentiële rol, alleen al wanneer men kijkt naar de doelen die men wil bereiken: Leerlingen moeten immers aangeleerde inhouden, concepten en inzichten toepassen in een bepaalde context. Sterkere leerlingen slagen er in om de transfer te maken naar andere contexten²³¹. Het tegenstelde resultaat, namelijk een volledig context-loze logica, vindt men echter terug bij zwakke leerlingen. Dit laatste wordt mooi geïllustreerd door Reusser²⁰⁴ (zie ook gelijkaardig voorbeeld over geiten en schapen):



Op de vraag "Op een weide zijn er 125 schapen en 5 honden. Hoe oud is de herder?" antwoordde een leerling van het vierde leerjaar: " $125 + 5 = 130...$ Dat is te veel, en $125 - 5 = 120$, dat blijft te veel... terwijl $125/5 = 25...$ Dat kan kloppen. Ik denk dat de herder 25 jaar oud is."

In wat volgt, beschrijven we de effecten van contextgericht onderwijs op de motivatie en attitude van leerlingen enerzijds en op het leereffect en de prestatie anderzijds.

Het ontbreken van contextueel STEM-onderwijs kan onder meer leiden tot een negatief effect op de motivatie en attitude (zie ook besluiten besproken in de eerste paragraaf). Deze resultaten worden nogmaals bevestigd door het Eurydice-rapport over wetenschapsonderwijs⁷⁹: de lage interesses voor wetenschap hebben gedeeltelijk te maken met het feit dat de leerinhouden vaak als een verzameling van losstaande, 'gedecontextualiseerde', waarde vrije en objectieve 'feiten' worden voorgesteld. Gelijkaardig komt het Bètaplatform in Nederland¹⁷⁷ tot de vaststellingen dat het voor veel jongeren compleet onduidelijk is waarom ze deze vakken krijgen, waar ze in de toekomst precies voor nodig zijn en wat het nut is van STEM voor de maatschappij.

Willen we deze attitude aanpakken, hebben we dus nood aan meer betekenisvolle, authentieke en realistische contexten waarin de alledaagse ervaringen van de leerlingen in contact komen met inzichten van het STEM-onderwijs⁷⁹. Met andere woorden, leerlingen moeten zich aangesproken voelen door de contexten waarbinnen inzichten aangebracht worden. Leraren die gebruik maken van meer contextgerichte curricula geven aan dat de motivatie en interesse voor het vak chemie stijgt²⁴⁹. Zo zijn er gelijkaardige onderzoeksresultaten^{84, 287} die een positief effect meten van betekenisvolle contexten op de interesse en motivatie van leerlingen ten aanzien van wetenschap en techniek. Zain et al.²⁸⁷ hebben onderzoek gedaan naar de attitude bij zwakkere leerlingen. Volgens hen is het belangrijk dat de leraar kennis van de culturele achtergrond en diversiteit van zijn leerlingen heeft. Op die manier is hij in staat leerervaringen te organiseren, die net de link leggen tussen STEM en de moedertaal en cultuur van de leerlingen, met een duidelijk positief effect als gevolg.

De invloed van betekenisvolle authentieke contexten op het leereffect (met name het verhogen van inzicht en vaardigheden) is minder uitgesproken. Er zijn onderzoeken die een duidelijk positief beeld

schetsen over contextgericht onderwijs, zoals bv. probleemgestuurd onderwijs. Het voorschotelen van een wiskundig probleem, gemodelleerd naar een betekenisvolle authentieke context, zorgde ervoor dat alle kinderen zonder enige uitzondering bij de oplossing van het probleem hun wiskundige vaardigheden konden aanwenden¹⁶⁰. Volgens het Eurydice-rapport over wiskundeonderwijs⁷⁸ is er min of meer een consensus binnen onderzoek dat methoden zoals probleemgestuurd onderwijs en een contextgerichte aanpak deels effectief zijn om de leerprestaties en attitude ten aanzien van wiskunde te verbeteren.

Toch is er ook weerstand tegen deze neiging om inhouden zoveel mogelijk via een realistische, authentieke context aan te brengen. Dit uit zich onder meer in de kritiek op het realistische rekenonderwijs in Nederland. We moeten hier wel aan toevoegen dat dit rekenonderwijs veel meer inhoudt dan het gebruik van contexten (die een verbinding maken met de realiteit en op die manier betekenis geven aan het procedurele abstracte rekenen). Dit rekenonderwijs behelst een volledige didactiek met veel aandacht voor onder meer eigen oplossingsstrategieën van leerlingen, het interactieve karakter van het leerproces... De voornaamste kritiek op deze didactiek is dat het mettertijd niet veel meer met wiskunde te maken heeft. Zo blijkt uit onderzoek naar het effect (rekenniveau) van realistisch rekenonderwijs versus traditionele methoden¹³⁵ dat er nauwelijks een effect waarneembaar is, geen uitgesproken positieve en ook geen negatieve effecten. Bovendien zijn er enkele studies, waaronder het MORE-project, die licht in het voordeel van de traditionele aanpak pleiten. Een veel gehoorde kritiek van aanhangers van het realistisch rekenonderwijs is het gebruik van gestandaardiseerde testen binnen dit onderzoek die vooral de meer traditionelen vaardigheden meten en niet andere vaardigheden zoals het probleemoplossende vermogen.

Dat contextuele ondersteuning een effectief middel blijft om de brug te slaan tussen het abstracte en het concrete (zeker voor leerlingen die problemen hebben met het abstracte karakter van STEM), wordt hier niet betwist. In Nederland adviseert het Bètaplatform⁹² een koppeling van leerinhoud aan praktijk en dit vooral bij havoleerlingen (het op één na hoogste niveau). Deze koppeling maakt het makkelijker om de abstracte theorie beter te begrijpen en onthouden. Ook in Vlaanderen²⁶⁶ adviseert de overheid om het curriculum wiskunde binnen de B-stroom aan te passen met een accent op inzichtelijke toepassingen en bruikbaarheid in het dagelijkse leven of in een beroepscontext.

Naast het gebruik van levensechte en authentieke contexten wordt in onderzoek ook vaak de impact van sociale en maatschappelijke contexten beklemtoond. Het masterplan Bèta en Technologie⁹¹ adviseert bijvoorbeeld om STEM minder abstract te maken door gebruik te maken van herkenbare maatschappelijke onderwerpen zoals gezondheid. In literatuur spreekt men van science-technology-society aanpak (STS)⁷⁹ of socio-scientific issues (SSI)²³ als vertrekpunt om wetenschappelijke ideeën aan te leren. Met deze SSI bedoelt men 'meningsverschillen over mogelijke persoonlijke, sociale en/of maatschappelijke problemen die te maken hebben met wetenschap en techniek'²³. Zij zijn als het ware triggers om STEM-onderwijs aan op te hangen.

Binnen deze aanpak heeft men onderzoek verricht naar het gebruik van actuele thema's uit de milieu-problematiek, zoals klimaatverandering, opwarming van de aarde, het broeikaseffect^{23, 75, 143}. Maar ook

minder maatschappelijke onderwerpen, zoals het menselijk lichaam¹⁰¹ of een onderzoek naar waterkwaliteit binnen de les chemie²⁴⁹ kwamen aan bod. Alle studies wijzen op een positief effect van deze thema's op de motivatie van leerlingen. Wetenschappelijke en technologische concepten in interactie met sociale en maatschappelijke thema's helpt hen om hun zelfvertrouwen op te krikken en motiveert hen om verder onderzoek rond het onderwerp uit voeren¹⁴³. Meer zelfs, leerlingen worden maatschappelijk en sociaal geactiveerd, hun kritische zin en participatie worden sterk gestimuleerd. Naast deze positieve attitude ten opzichte van STEM blijkt dat een dergelijke contextgerichte aanpak verder ook vaardigheden zoals creativiteit stimuleert².

Ook heeft men binnen STS een positief effect op de leerprestatie opgemerkt. Lester et al.¹⁴³ heeft bij leerlingen uit het basisonderwijs vastgesteld dat ze na een STS-aanpak (context opwarming van de Aarde) een duidelijk maatschappelijk engagement vertonen, maar ook omgekeerd dat ze vanuit dit engagement een beter inzicht krijgen in de concepten die gebruikt werden, zoals het broeikaseffect in relatie met klimaatopwarming, de invloed van CO₂ in dit proces...

Toeval of niet, veel van deze voorbeelden vinden we terug binnen de contexten die beschreven zijn in de vakoverschrijdende eindtermen voor het secundair onderwijs (gezondheid, duurzame ontwikkeling, socio-economische en socio-culturele samenleving)²⁶⁵.

De hierboven beschreven STS-contexten benadrukken vooral de sociologische aspecten van wetenschap en techniek. Hiermee bedoelt men o.a. het in vraag stellen van waarden die eigen zijn aan wetenschap en techniek, de maatschappelijke impact en trends van wetenschappelijke kennis. Contextgericht onderwijs gaat echter nog breder door ook de historische en filosofische aspecten van STEM te belichten⁷⁹. Het historische perspectief houdt onder meer in dat men de veranderingen in wetenschap en wetenschappelijke ideeën historisch gaat plaatsen. Een voorbeeld hiervan zijn de ideeën van Aristoteles die tegenover die van Copernicus en Galilei worden geplaatst (heliocentrisme versus geocentrisme). Een filosofische benadering roept vragen op over de aard van wetenschap en techniek en de grenzen waarbinnen wetenschap 'geldig' is: Wat doet wetenschap precies? Hoe werkt het? En wat is de relatie met techniek en wiskunde? In de vakliteratuur spreekt men over 'Nature of Science' (NoS). Dit wordt in een volgende paragraaf verder besproken.

We willen tot slot nog wijzen op een aantal mogelijke valkuilen. Zo waarschuwt Eilam⁷⁵ voor het gevaar dat leerlingen deze thema's, indien niet goed aangepakt, kunnen zien als 'just another school subject' (naast hun andere vakken zoals geschiedenis, filosofie, taal, cultuur en maatschappij). De doelen die STS en contextgericht onderwijs voor ogen hebben, dreigen hierdoor te verdwijnen. Leraren geven aan dat de integratie van moeilijkere onderwerpen uit hun vakgebied in een context niet makkelijk is. Ze vrezen er ook voor dat het niveau in de klas zal dalen²⁴⁹. Lester¹⁴³ bevestigt dat een dergelijke contextgerichte aanpak niet zo evident is. Zo zijn duidelijke instructies van de leraar, aangevuld met concreet en gestructureerd lesmateriaal, noodzakelijk. Volgens hem dienen leraren hier nog verder in getraind te worden.

2.1.4. Een interdisciplinaire aanpak binnen STEM-onderwijs: waarom wel/niet?

Een interdisciplinaire of geïntegreerde aanpak heeft sowieso een sterke contextgerichte inslag. Dit hoofdstuk zal dus regelmatig verwijzen naar het voorgaande waarin we contexten bespraken. Het spreekt voor zich dat ook de effecten op motivatie en het leereffect voor een stuk gelijkaardig zullen blijken. We bespreken de interdisciplinaire aanpak echter apart omdat we het belang ervan in de verf willen zetten. Deze aanpak contrasteert dan ook sterk met het volledig apart aanbieden van STEM 'in vakjes'. Binnen een interdisciplinaire aanpak gaat het dus om inhouden die behandeld worden vanuit verschillende vakken (zowel binnen als buiten STEM). Men spreekt soms van een multi- of trans-disciplinaire aanpak.

Vooraleer we de effecten van de interdisciplinaire aanpak verder beschrijven, willen we nog opmerken dat interdisciplinair werken niet noodzakelijk gelijk gesteld wordt met het versmelten van verschillende vakgebieden tot één vak. Denk bijvoorbeeld aan het vak wereldoriëntatie. Het is niet omdat geen onderscheid gemaakt wordt tussen techniek en wetenschap dat men logischerwijze geïntegreerd werkt. Zo kan men binnen dit vak de leerinhouden perfect apart geven (techniek versus natuur; ze staan immers in de eindtermen apart vermeld). Een gelijkaardige opmerking kan je maken voor het vak natuurwetenschappen (met betrekking tot het onderscheid fysica – biologie – chemie).

In het voorafgaande hoofdstuk werd gepleit voor levensechte en betekenisvolle contexten, zoals het menselijk lichaam of klimaatopwarming. In zulke levensechte situaties heeft het weinig zin om een strikt onderscheid te maken tussen de verschillende disciplines. Een integratie (al dan niet volledig) van de wetenschapsvakken, biologie, fysica en chemie lijkt in zo een context heel logisch. Het omgekeerde, namelijk de opsplitsing ervan, is eerder een geforceerde en kunstmatige ingreep⁷⁹. Een ander argument is dat vanuit een holistische benadering een (betere) opbouw van kennis en inzicht mogelijk is. Deze aanpak leidt tot nieuwe manieren van denken, tot inzicht in het groter geheel en uiteindelijk ook tot een beter inzicht. Ten slotte stimuleert een integrale aanpak van wetenschappen zowel leraren als leerlingen⁷⁹. Deze vaak gehoorde argumenten die in dit rapport beschreven werden, beperken zich echter tot het wetenschapsonderwijs. Er wordt dus geen verbreding gemaakt naar andere STEM-disciplines. De voorbeelden die hieronder beschreven worden, geven echter aan dat er heel wat voordelen zijn aan een interdisciplinaire STEM-aanpak, zij het dan vooral door de meerwaarde die een dergelijke integratie biedt op het conceptueel inzicht en (vakoverschrijdende) vaardigheden.

De STS-aanpak (Science Technology & Society) die we in het vorige hoofdstuk bespraken, werkt vanuit maatschappelijk relevante thema's en integreert tegelijkertijd inhouden vanuit wetenschap en techniek. Deze interdisciplinaire aanpak heeft een duidelijke impact op de motivatie en het leereffect bij leerlingen. Techniek blijkt een goede voedingsbodem te zijn om interdisciplinair te werken in de klas⁸⁴. Techniek wordt vandaag de dag immers complexer en bestrijkt meer en meer verschillende takken (niet enkel wetenschap, maar bijvoorbeeld ook maatschappij en ethiek). Onderwerpen vanuit techniek kunnen daarom binnen de klas interessante topics vormen die leerlingen aanzetten en motiveren, zoals o.a. STS dit doet. Een andere tip voor leraren in het voortgezet onderwijs vind je hieronder.

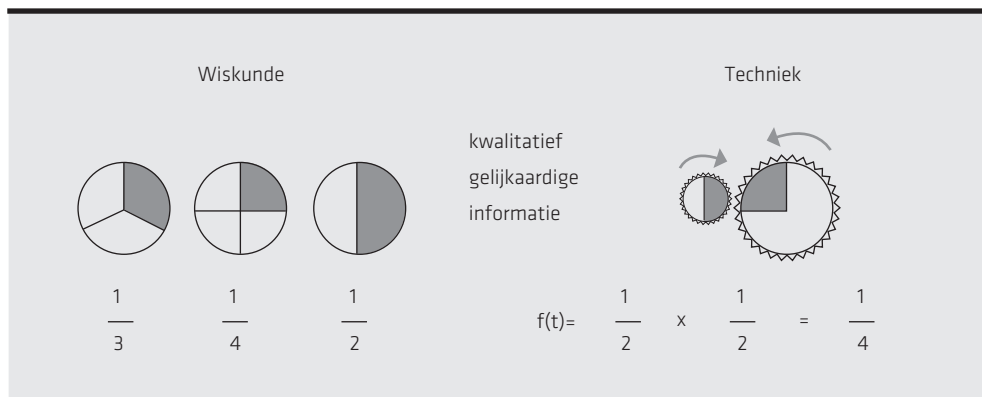


Tip voor leraren in het voortgezet onderwijs:

"Ontleed in de techniek- of natuurkundeles eens een dvd-speler. Met schema's en illustraties loop je stap voor stap door de ontwikkeling van lasertechniek en opnametechniek. Het apparaat is zelfs uit elkaar te schroeven. Zo blijf je ... dicht bij de techniek die jongeren dagelijks om zich heen hebben."¹⁷⁷ (p.33)

De integratie van wetenschap en techniek (meer bepaald de technologische en wetenschappelijke vaardigheden) wordt belicht door van Graft et al.²⁵⁴ en Lewis¹⁴⁵. Zij wijzen op de gelijkenissen van 'design' binnen techniek en 'inquiry' binnen wetenschap. Van Graft spreekt over onderzoekend en ontwerpend leren als een complementaire handeling binnen wetenschap en techniek.

Techniek kan ook gebruikt worden als een betekenisvolle leersituatie voor het modelleren van wiskundige concepten⁵ (Figuur 2 in tekstvak). Dit wil zeggen dat techniek een levensechte context voorziet om abstracte wiskunde concepten betekenis te geven. Hieronder is een voorbeeld beschreven waarbij men tandwielen gebruikt als een vertrekpunt om tot bewerkingen met breuken te komen.



Figuur 2: Transfer van wiskunde naar techniek via schematische weergave⁵ (p.105)

Een dergelijke wiskundige modellering vanuit een concrete context vinden we ook binnen wetenschappen. Munier et al.¹⁷⁸ bestudeert een interdisciplinaire wiskunde-fysica aanpak om het wiskundige begrip 'hoek' bij tien tot twaalfjarigen aan te brengen. Bepaalde verschijnselen of waarnemingen vanuit de fysica (zoals weerkaatsing) bieden hier een betekenisvolle ondersteuning om het abstracte concept 'hoek' te modelleren. Een dergelijke interdisciplinaire aanpak hanteerde ook Simpson et al.²²³ door beweging door middel van wiskundige concepten te gaan modelleren. Interessant aan deze studie was dat het resultaat van deze opdracht een verscheidenheid aan voorstellingen van beweging voortbracht.

Interactie tussen deze verschillen (discussie, uitwisseling, presenteren door online communities) leidde tot een betere wiskundige modellering.

Een interdisciplinaire aanpak hoeft zich echter niet te beperken tot de STEM-disciplines. Een rapport over de onderzoekende aanpak¹¹⁴ stelt voor om ook niet-wetenschappelijke domeinen te betrekken. Er moet binnen een onderzoekende aanpak aandacht zijn voor wiskunde, maar ook voor taal en geschiedenis.

Hoewel de perceptie bestaat dat kunst en STEM elkaar weinig te bieden hebben, kan kunst op een zinvolle manier binnen STEM geïntegreerd worden. Niet enkel om de interesses van leerlingen op te wekken of inhouden op een memorabele manier aan te brengen (door een verhaal, toneel of poëzie), maar door vakoverschrijdende vaardigheden zoals creativiteit te stimuleren¹⁵⁸. Kunst en wetenschap hebben meer met elkaar gemeen dan wordt gedacht. Zo laat kunst, net zoals wetenschap, leerlingen veel grondiger en nauwkeuriger iets observeren, noteren en representeren. De integratie van kunst binnen wiskunde biedt ook heel wat mogelijkheden¹⁰⁸. Activiteiten binnen kunst zoals ontwerpen, weven, hout bewerken, beeldhouwen... vergen heel wat meer wiskundige vaardigheden dan algemeen angenommen wordt.

Ten slotte willen we nog meegeven dat, wanneer creatieve vaardigheden binnen STEM-onderwijs worden aangesproken, dit best niet gebeurt vanuit één welbepaald vakgebied⁶³. Stel dat je bijvoorbeeld binnen probleemgestuurd onderwijs creativiteit wil stimuleren, dan wordt het sterk aangeraden om dit vanuit ideeën uit diverse invalshoeken of disciplines aan te pakken. Kruisbestuiving door interdisciplinair te werken is hier dus een must.

Net zoals in de vorige paragraaf willen we eindigen met een aantal belangrijke kanttekeningen. Zo is er een duidelijke kritiek op het gebruik van een interdisciplinaire aanpak binnen het wetenschapsonderwijs⁷⁹. Zo ontbreekt er echt empirisch bewijs dat aantoonde dat de keuze voor integratie leidt tot een positieve impact op motivatie en leereffect. Eén van de redenen hiervoor is dat het zeer moeilijk is de effecten binnen een interdisciplinaire aanpak te gaan isoleren van andere invloeden op het leereffect van de leerlingen. Er wordt zelfs gesteld⁷⁹ dat deze aanpak kan leiden tot minder conceptueel inzicht aangezien vakspecifieke concepten minder in detail worden besproken. Een andere kritiek luidt dat leraren niet opgeleid zijn om op deze manier les te geven. Ze zijn immers maar opgeleid binnen een aantal domeinen, waardoor ze noch de inhouden, noch de vaardigheden bezitten om interdisciplinair STEM-onderwijs te geven.

2.1.5. Hoe integreer je Nature of Science (mathematics, technology) binnen onderwijs?

Science does not purvey absolute truth, science is a mechanism. It's a way of trying to improve your knowledge of nature, it's a system for testing your thoughts against the universe and seeing whether they match. Isaac Asimov

Dat STEM vaak als een verzameling van abstracte, gedecontextualiseerde en objectieve feiten wordt voorgesteld, leidt niet enkel tot een lage interesse, maar eveneens tot het feit dat leerlingen hierdoor een verkeerd beeld krijgen van wat wetenschap, wiskunde en techniek precies inhouden.

Wat doet wetenschap precies? Hoe werkt het? En wat is de relatie met techniek en wiskunde? In de literatuur spreekt men over Nature of Science (NoS). We gebruiken hier bewust de term 'Nature of Science' (NoS) omdat deze binnen internationale kringen alom gekend en verspreid is. Een vertaling naar het Nederlands zou alleen maar voor begripsverwarring zorgen. Blijkbaar bestaat er onder wetenschapsfilosofen, -historici en -leraren geen echte consensus over NoS¹⁴¹. De verschillen hierover zijn echter veel te abstract en diepgaand voor leerlingen uit het basis- en secundair onderwijs. De vlag 'NoS' dekt hier ook niet de volledige lading aangezien we ons niet beperken tot wetenschap, maar ook kijken naar wiskunde en techniek.

Een brede geletterdheid van leerlingen, zoals deze besproken werd aan het begin van dit hoofdstuk, vraagt ook net inzicht in deze NoS inhouden¹³². Uit onderzoek¹⁸⁰ blijkt dat STEM-onderwijs waarin NoS expliciet aan bod komt, een positieve invloed heeft op de attitudes van leerlingen. NoS laat leerlingen de relevantie en waarde van wetenschap ervaren.

Een tweede belangrijke doelstelling van NoS is leerlingen te laten begrijpen dat wiskunde, wetenschap en techniek menselijke activiteiten zijn waarvoor heel wat creativiteit en verbeelding nodig was/is en dat kennis dus een menselijke constructie is en niet zomaar 'ontdekt' werd¹²⁵.

Leerlingen hebben dus niet alleen een verkeerd beeld van de leerinhouden (cfr. de eerder besproken misconcepties), maar bezitten ook vaak vreemde ideeën over het vak zelf. Enkele mythes die bij leerlingen circuleren:

- ▶ Er bestaat één enkele wetenschappelijke methode om aan onderzoek te doen¹⁴¹.
- ▶ Een wetenschapper zal uiteindelijk op elke vraag over de natuur een 'correct en onvoorwaardelijk antwoord' vinden¹⁴¹.
- ▶ Een wetenschapper laat zijn persoonlijke opvattingen, ideeën, ... niet tussen komen tijdens zijn werk. Wetenschap is hierdoor waardenvrij en objectief¹⁴¹.
- ▶ Sterk zijn in wiskunde staat gelijk aan het kunnen uitvoeren van een algoritme om zo tot de juiste oplossing te komen¹⁰⁸.
- ▶ Wiskunde is berekeningen maken¹⁰.

Zo stelt Harlen⁹⁸, naar analogie van de 'ten big ideas', vier ideeën **over** wetenschap voor:

1. Wetenschap veronderstelt dat er voor ieder effect één of meer oorzaken zijn.
2. Wetenschappelijke verklaringen, theorieën en modellen zijn deze die het best passen bij de feiten die gekend zijn op een bepaald moment.
3. De kennis die door de wetenschap is voortgebracht, wordt door techniek gebruikt om producten te creëren voor menselijke doeleinden.
4. Toepassingen van wetenschap hebben vaak ethische, sociale, economische en politieke consequenties.

De vraag die we ons vervolgens moeten stellen, is hoe en via welke inhouden we aandacht moeten besteden aan de NoS binnen STEM. Een vaak gehoorde opvatting is dat leerlingen wel automatisch tot dit inzicht komen wanneer ze binnen de lessen aan het werk gezet worden door middel van bijvoorbeeld een onderzoekende aanpak. Lederman en Abd-El-Khalick¹⁴¹ zijn het hier niet mee eens. Zij stellen vast dat nog teveel leerlingen geloven dat wetenschappelijke theorieën en wetten bewezen zijn (onvoorwaardelijk), dat wetenschap objectief is, los van creativiteit en menselijke verbeelding. Zij pleiten voor een expliciete benadering van deze NoS-ideeën. Deze inzichten worden onder meer bevestigd door Khishfe en Abd-El-Khalick¹²⁵ en Peters¹⁹⁷. Bij een expliciete benadering van NoS worden onder meer concrete leeractiviteiten gebruikt en wil men op deze manier het vaak 'foute' beeld dat leerlingen hebben over wetenschap doorprikken. Dit doen ze onder meer door te vertrekken vanuit topics zoals 'wetenschap als een menselijke activiteit', 'wetenschappelijk onderzoek', 'wetenschapsgeschiedenis', 'wetenschap en maatschappij', Peters gaat zelfs nog een stap verder en besluit dat deze aanpak niet alleen inzichten met betrekking tot NoS bevordert, maar ook conceptuele inzichten in het vak zelf.

HOOFDSTUK III

HOE?

3.1. Hoe kan je wiskunde-, wetenschaps- en techniekonderwijs vorm geven?

Om een antwoord te bieden op deze vraag, gingen we in de vakliteratuur op zoek naar overkoepelende didactische aanpakken die de interesses, de motivatie, de nieuwsgierigheid en het zelfvertrouwen van meisjes en jongens voor wetenschap, techniek en wiskunde aanwakkeren en bij voorkeur ook effect hebben op hun leerprestaties. We kunnen hier Scott citeren (p.51): "Lesgeven is een responsieve activiteit die afhankelijk is van verschillende externe factoren maar toch kunnen sommige aanpakken meer effectief zijn dan anderen"²¹⁷. Uit de literatuur⁵¹ omtrent de STEM-vakken –(natuur)wetenschap, wiskunde en techniek – blijkt dat effectieve aanpakken inspelen op vroegere interesses en ervaringen van leerlingen, ze bouwen verder op wat deze reeds weten en bieden hen talrijke ervaringen om zich te engageren in deze wetenschappelijke domeinen. Literatuur ter zake toont eveneens aan dat een grote diversiteit aan werkvormen de leraar in staat stelt om in te spelen op verschillende noden van leerlingen⁷⁷. Bovendien kan door een variatie aan werkvormen de motivatie van leerlingen verhoogd worden, zodat ze zich meer inspannen voor de (als moeilijk ervaren) vakken zoals wiskunde en wetenschap⁹². Ook het recente Eurydice-rapport⁷⁸ over wiskundeonderwijs benadrukt het belang van variatie tijdens de lessen: opdat onderwijsmethoden en bijhorende opdrachten de motivatie van leerlingen zouden verhogen, moeten ze boeiend en divers zijn en daarenboven verband houden met het dagelijkse leven van jongeren. Verder wordt bijvoorbeeld in het rapport van de UK⁷⁸ gesuggereerd om zeker een creatieve houding en een samenwerkende aanpak te bevorderen bij jongeren die wiskunde uitdagend en speciaal vinden. Op deze manier wil men een mogelijke negatieve attitudeverandering ten aanzien van wiskunde bij deze specifieke jongeren vermijden. Uiteraard zijn alle jongeren hier bij gebaat.

Naast motivatie, diversiteit en interesse speelt ook een onderzoekende aanpak een cruciale rol in het creëren van effectief onderwijs. Het rapport van de Europese Commissie⁷⁷ over een nieuwe pedagogie voor wetenschap omschrijft wetenschap, techniek en wiskunde als de standaard wetenschappelijke vakken. In dit rapport wordt duidelijk aangegeven dat aanpakken die gebaseerd zijn op onderzoek veel effectiever zijn dan traditionele aanpakken. In realiteit blijkt echter dat deze aanpakken in een groot deel van Europa geen ingang vinden in de klaspraktijk. In het rapport van de Europese Commissie wordt onder de onderzoekende aanpak bovendien ook de probleemoplossende aanpak verstaan. In deze studie hebben we er echter voor geopteerd om beide aanpakken (onderzoekend en probleemoplossend) afzonderlijk te bespreken, ook al zijn er meerdere gelijkenissen. De reden hiervoor is dat de onderzoekende aanpak meer aansluit bij wetenschapsonderwijs, terwijl de probleemoplossende aanpak vooral in wiskunde- en techniekonderwijs aan bod komt.

Ook het rapport van Zoller²⁹⁴ staat kritisch tegenover traditionele aanpakken. Dit rapport bespreekt methodes binnen techniek en wetenschapsonderwijs in het basisonderwijs en dit in het kader van STES (science, technology, engineering en society). Zoller argumenteert dat traditionele aanpakken binnen wetenschap, die een sterke focus hebben op het 'kennen', uiteindelijk weinig zullen bijdragen tot de ontwikkeling van denkvaardigheden van een hoger niveau. Nochtans zijn deze denkvaardigheden erg noodzakelijk voor zowel STES- als STEM-onderwijs. Aanpakken die denkvaardigheden van een hoger niveau stimuleren – zoals creatief denken, probleemoplossend denken, besluitvorming en transfer – moeten volgens het rapport in onderwijs geïntegreerd worden.

We stellen vast dat er meerdere visies over een juiste didactische aanpak circuleren. Harlen⁹⁶ bijvoorbeeld stelt voor om verschillende aanpakken te combineren om zo tot 'de beste pedagogie' voor wetenschappen te komen. Harlen⁹⁶ (p.35) onderscheidt de volgende verschillende aanpakken: individueel en sociaal constructivisme; bevorderen van discussie; dialoog en argumentatie; bevorderen van onderzoek; toepassen van formatieve evaluatie.

Op basis van bovenstaande gegevens zullen we in dit deel – Hoe kan je wiskunde-, wetenschaps- en techniekonderwijs vorm geven? – onder andere ingaan op onderzoekende en probleemoplossende aanpakken, op het stimuleren van dialoog, discussie en argumentatie, op samenwerkend leren, op zelf-regulerend leren, op mogelijke leermiddelen en op het toepassen van formatieve evaluatie.

Voor de volledige inhoudelijke samenstelling van deze review gingen we ook te rade bij Jan van den Akker²⁵². Hij heeft een spinnenwebmodel ontworpen dat de verschillende delen in een curriculum duidelijk visualiseert. Zoals we reeds in de inleiding aangaven, definieert hij tien componenten: visie van het curriculum, doelen en objectieven, inhoud, leeractiviteiten, rol van de leraar, materialen en bronnen, groepering, locatie, tijd en evaluatie. Deze tien componenten plaatst hij in een web, waarbij de visie in het midden staat en de negen overige componenten op de draden in het web worden geplaatst. Dit spinnenweb illustreert enerzijds de interactie en samenhang tussen de verschillende componenten, maar anderzijds ook de kwetsbaarheid van het web indien we als leraar geen balans nastreven. Wanneer je teveel aandacht besteedt aan één van de componenten, dan zal het spinnenweb breken. Een leraar dient dus aandacht te hebben voor de verschillende componenten. In dit deel – Hoe kan je wiskunde-, wetenschaps- en techniekonderwijs vorm geven? – komen vooral de hoe-kwesties aan bod, zoals didactiek, leermiddelen, het wanneer en waar.

We hebben dit onderdeel opgevat als een soort van FAQ katern. Hieronder vind je de vragen die achtereenvolgens aan bod komen. Je kunt uiteraard ook zelf kiezen welke vraag je beantwoord wilt zien.

- ▶ Onderzoekende aanpak: wat, waarom en hoe?
- ▶ Simulaties en experimenten: zijn ze effectief?
- ▶ Hoe het technisch proces en het ontwerpproces vorm geven?
- ▶ Samenwerkend leren of niet? Hoe organiseer je het?
- ▶ Hoe van gedachten wisselen in de klas?
- ▶ Hoe evalueren?

- ▶ Hoe (probleemoplossend) denken in de klas stimuleren?
- ▶ Hoe zelfregulerend leren stimuleren?
- ▶ Wat zijn de praktische voorwaarden? Middelen, tijd en ruimte.
- ▶ Welke partners betrekken bij STEM-onderwijs?

3.2. Onderzoekende aanpak: wat, waarom en hoe?

It is nothing short of a miracle that modern methods of instruction have not yet entirely strangled the holy curiosity of inquiry. Albert Einstein

Op onderzoek gebaseerd wetenschapsonderwijs blijkt in Europa meer en meer aan belang te winnen. De Europese Commissie spreekt over een nieuwe vorm van wetenschapsonderwijs waarbij onderzoek en een onderzoekende aanpak centraal staan⁷⁷. Onder wetenschap vallen in deze context alle STEM-disciplines, dit zijn wetenschap, techniek, wiskunde en voor basisonderwijs dus ook wereldoriëntatie⁷⁷.

In dit deel gaan we eerst in op de betekenis van de term onderzoek voor onderwijs. Vervolgens verkennen we het begrip 'onderzoekende aanpak' en gaan we na waarom je deze aanpak zou toepassen. In een derde deel zoeken we naar kenmerken van onderzoekende én motiverende onderwijskundige aanpakken, om in een laatste deel onderzoekende aanpakken te belichten die op technologie gebaseerd zijn.

3.2.1. Wat is onderzoek en wat betekent onderzoek voor onderwijs?

Deze vragen kunnen niet zo makkelijk beantwoord worden, wat blijkt uit de vele definities en benaderingen die er bestaan. Een vrij uitgebreide definitie vinden we terug in een document van de Europese Commissie⁷⁷ (p.9): "Onderzoek is het intentioneel proces van het uiteenrafelen van problemen, bekritisieren van experimenten, zoeken naar alternatieven, plannen van onderzoeken, onderzoeken van veronderstellingen, zoeken naar informatie, construeren van modellen, bespreken met collega's en het vormen van coherente argumenten." Krajcik et al.¹⁷⁵ (p.284) daarentegen verwoorden de aard en functie van onderzoek als volgt: "Onderzoek stimuleert de ontwikkeling, de transformatie en de representatie van ideeën en het helpt lerenden te begrijpen hoe kennis in verschillende disciplines werd gegenereerd." Ze hebben het m.a.w. over het inzicht in hoe wetenschappelijke disciplines zijn ontstaan en te werk gaan, terwijl de Europese Commissie veeleer een stappenplan en diverse deelvaardigheden binnen onderzoek belicht.

Minner et al.¹⁷¹ geven dan weer aan dat onderzoek verwijst naar ten minste drie verschillende categorieën van activiteiten: wat wetenschappers doen, hoe leerlingen leren en de pedagogische aanpak die leraren gebruiken. Minner et al. bekijken onderzoek veel sterker vanuit een leercontext. Ook Alberts¹⁷³ vertrekt vanuit de positie van de lerende. Onderzoek is voor hem, als wetenschapper, deels een ingesteldheid en deels een vaardigheid die geleerd moet worden door ervaring. 'Ingesteldheid' omschrijft hij als nieuwsgierig zijn, de nieuwsgierigheid hebben om 'Waarom?' en 'Hoe?' te vragen. Het goede nieuws daarbij is dat jonge kinderen van nature uit nieuwsgierig zijn. Alberts constateert echter dat deze nieuwsgierigheid en de natuurlijke drang om te exploreren en te onderzoeken verdwijnen in de loop van hun schoolloopbaan. Voor hem ligt de uitdaging er daarom in om een educatief systeem te creëren dat de natuurlijke nieuwsgierigheid van kinderen uitbaat, zodat ze hun motivatie voor het leren behouden, niet alleen tijdens hun schooljaren maar eveneens gedurende hun hele verdere leven. Voor hem is het belangrijk een curriculum te ontwikkelen dat berust op degelijk leerling- en klasonderzoek, dat zijn ingang kent in het kleuteronderwijs en in moeilijkheidsgraad stijgt doorheen de opeenvolgende schooljaren. Een dergelijk curriculum beklemtoont het belang van onderzoek en niet het louter memoriseren en kunnen oproepen van feiten. Het belang van een onderzoekende houding wordt eveneens benadrukt door Harlen die stelt dat het stimuleren en ontwikkelen van een onderzoekende houding en bijhorende vaardigheden essentieel zijn in de opvoeding van kinderen en jongeren wil men hen voorbereiden op een steeds veranderende maatschappij⁹⁷. In wat volgt onderbouwen we het standpunt van Alberts en Harlen. In onderwijs is het belangrijk om een onderzoekende houding te stimuleren en leerlingen kansen te bieden om hun natuurlijke nieuwsgierigheid te behouden.

In dit hoofdstuk willen we dus kijken hoe leerling- en klasonderzoek in onderwijs concreet een plek kunnen krijgen. Dergelijk onderzoek kan verschillende vormen aannemen¹⁷⁴, afhankelijk van de klascontext, de leeftijd van de leerlingen, de discipline en de ervaring van leraar en leerlingen. In dit deel komen verschillende van deze vormen of aanpakken aan bod. Naast het op onderzoek gebaseerde onderwijs, bestaan er bovendien nog andere aanpakken die gebaseerd zijn op constructivisme en die de leerling dus zien als actief agens in de persoonlijke constructie van nieuwe kennis. We denken hierbij onder andere aan ontdekkend leren en probleemoplossend leren²⁴³. Het is vaak niet zo makkelijk om een onderscheid te maken tussen deze verschillende aanpakken⁷⁷. In deze review gaan we dieper in op zowel de onderzoekende aanpak (dit onderdeel) als het probleemoplossende denken (zie Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken). Het ontdekkende leren wordt slechts summier behandeld in dit hoofdstuk.

We willen echter vooraf enkele kanttekeningen maken bij onderzoek in onderwijs. Vooraleer je onderzoek in jouw lessen invoert, denk je best eens goed na. Zoals Fisher zegt¹⁷⁴ (p.262): "Als je gelooft dat het je verantwoordelijkheid is om zoveel mogelijk feiten over te brengen op je leerlingen in een zo kort mogelijke tijd, dan is een onderzoekende onderwijsaanpak wellicht niets voor jou." Bovendien geef je best niet alles op een onderzoekende manier. Zoals Harlen⁹⁶ (p.6) zegt: "Sommige zaken, zoals conventies, namen, en basisvaardigheden voor gebruik van instrumenten, worden efficiënter gegeven onder de vorm van directe instructie". Voor Harlen is het vooral belangrijk dat een onderzoekende aanpak wordt gebruikt wanneer leraren als doel hebben bij leerlingen steeds sterkere inzichten in ideeën of concepten te ontwikkelen. De nood aan een onderzoekende aanpak in onderwijs is gebaseerd op

het geloof dat het belangrijk is dat leerlingen echt verstaan wat ze leren, dat ze zelf hun concepten opbouwen of heropbouwen (wat Harlen dus omschreef als 'inzichten verwerven') en dat ze niet zomaar inhoud en informatie herhalen²⁸⁴.

Het is tevens belangrijk te beseffen dat onderzoek binnen wetenschapsonderwijs anders is dan onderzoek in andere domeinen. Onderzoek binnen wetenschapsonderwijs omvat naast vaardigheden zoals het verzamelen en interpreteren van resultaten, de ontwikkeling van modellen over hoe de fysische wereld in elkaar zit⁹⁶. Verder blijkt het omschrijven van onderzoek binnen onderwijs moeilijk te zijn door de verscheidenheid binnen verschillende disciplines. Ook al is het mogelijk om binnen verschillende disciplines op een onderzoekende manier te werken, toch stellen we vast dat de meeste studies onderzoekende aanpakken beschrijven in het domein wetenschap, met een duidelijke voorkeur voor fysica, al dan niet met verwijzingen naar techniek. Aanpakken die beschreven worden voor lager onderwijs situeren zich in het domein natuur.

3.2.2. Wat verstaan we onder een onderzoekende aanpak en waarom zou je deze toepassen?

Wat is een onderzoekende aanpak?

Uit de geraadpleegde literatuur blijkt dat dé definitie van een onderzoekende onderwijsaanpak niet bestaat. Voor Alberts¹⁷³ houdt een onderzoekende aanpak wel minstens in dat aan leerlingen de kans wordt gegeven om een probleem, dat eerder al opgelost werd door een wetenschappelijke ontdekking, te conceptualiseren en dat ze vervolgens worden aangezet om te worstelen met mogelijke verklaringen alvorens hen uiteindelijk het antwoord wordt aangereikt. Hij illustreert dit met een voorbeeld uit eigen praktijk.



Leerlingen moeten de kans krijgen om een probleem te conceptualiseren en te worstelen met mogelijke verklaringen:

Het membraan dat elke cel omgeeft moet de eigenschap hebben van selectieve permeabiliteit: het membraan moet voedingsstoffen zoals suikers laten instromen en afvalstoffen zoals koolstofdioxide laten uitstromen. De vele grote moleculen die de cel vormen, moeten echter binnenin worden gehouden. Uit wat voor materiaal is een dergelijk membraan gemaakt, die bovendien nog kan uittrekken als de cel groeit zonder te lekken? Alleen als leerlingen eerst uitgedaagd worden om een tijdje met dit probleem te worstelen, zullen ze in staat zijn om plezier te beleven aan de illustratie van en uitleg over het natuurlijke mechanisme dat de cel omsluit ¹⁷³.

Schraw et al.²¹⁶ benadrukken het belang van een authentieke onderzoekende aanpak. Ze verwijzen naar de studie van Chinn en Malhotra²¹⁶ waarin een onderscheid wordt gemaakt tussen simpele onderzoeks-

activiteiten en authentiek onderzoek. Volgens Chinn en Malhotra houdt simpel onderzoek onder andere in: het geven van onderzoeksvragen in plaats van deze te laten genereren door leerlingen; het niet aanwezig zijn van een experimentele controle; het formuleren van simpele argumenten en besluiten. Authentiek onderzoek daarentegen daagt kinderen en jongeren uit om zelf vragen te formuleren, om te komen tot verdiepende argumenten en besluiten. Volgens Schraw et al. bevordert alleen een authentiek onderzoekende aanpak de actieve reflectie over een probleem en de opbouw van een conceptueel inzicht in dit probleem. Leerlingen zijn dan eveneens beter in staat om hun eigen leren te controleren en fouten of gaten in hun denkwijzen of opvattingen te evalueren.

Minner et al.¹⁷¹ gebruiken een eigen raamwerk om aan te geven of van een onderzoekende aanpak sprake is of niet. Het raamwerk werd ontwikkeld voor onderzoekende aanpakken binnen wetenschap. Een onderzoekende aanpak wordt gekarakteriseerd door de aanwezigheid van drie aspecten: 1) de aanwezigheid van inhoud (wetenschappen); 2) de betrokkenheid van de leerling op de inhoud; 3) de verantwoordelijkheid van de leerling voor leren, het actief denken van leerlingen, de betrokkenheid in de onderzoekscyclus of een onderdeel ervan. In dit hoofdstuk gaan we dieper op dit raamwerk in. Uit het bovenstaande blijkt dat we onderzoekende aanpakken op basis van hun kenmerken verder kunnen classificeren. Laten we eens kijken hoe we classificaties kunnen opstellen. Het laatste Eurydice-rapport⁷⁹ over wetenschapsonderwijs in Europa verwijst naar het model van Bell et al.²¹ om verschillende onderwijsaanpakken op te delen. Bell maakt een onderscheid tussen 'bevestigend onderzoek', 'gestuurd onderzoek', 'begeleid onderzoek', en 'open onderzoek' (zie kader). Echter, volgens het raamwerk van Minner et al.¹⁷¹ zijn bevestigend en gestuurd onderzoek géén onderzoekende aanpakken omdat ze teveel uitgaan van de leraar en te weinig de leerling zelf 'ownership' laten nemen van het eigen leren.



Bevestigend onderzoek: De onderzoeksvraag en de procedure wordt aan de leerlingen gegeven, en de verwachte resultaten zijn vooraf gekend.

Gestuurd onderzoek: De leerlingen onderzoeken een vraag die door de leraar gegeven is volgens een voorgeschreven procedure.

Begeleid onderzoek: De leerlingen krijgen een vraag van de leraar maar kiezen zelf de methodes en dus ook de oplossingen voor het onderzoek. Dit betekent dat de leerlingen zelf het onderzoek moeten ontwerpen op basis van een gegeven vraag. De leraar zal wel nagaan of het onderzoek goed is opgezet.

Open onderzoek: De leerlingen formuleren zelf een onderzoeksvraag, ze staan in voor het onderzoeksonderwerp en de oplossingen. Bij open onderzoek is er een minimale begeleiding van de leraar²¹.

In deze literatuurstudie volgen we Minner et al. bij het omschrijven van onderzoekende aanpakken als enkel die aanpakken waarin begeleid en open onderzoek worden gestimuleerd. Open onderzoek is enkel mogelijk als er eerst verschillende begeleide onderzoeken hebben plaatsgevonden en de leerlingen inzichten hebben verkregen in het onderzoeksproces (zie verder).

Niet alleen het al dan niet begeleiden is een factor binnen onderzoek. Er bestaan tevens verschillende types onderzoek. In het AKSIS-project¹⁵⁸ worden zes verschillende vormen van onderzoek geïdentificeerd die kunnen uitgevoerd worden in een klas op basis van onderzoeksvragen: exploratie, 'fair-test', patronen zoeken, classificeren en identificeren, modellen onderzoeken, technologisch onderzoek. Een omschrijving van deze verschillende vormen is te vinden in het tekstvak.

In twee andere studies wordt specifiek aandacht geschonken aan argumentatie, de bijhorende onderzoeksaanpak wordt argument-gedreven onderzoek genoemd^{129, 270}.



Exploratie biedt de mogelijkheid om objecten en natuurlijke gebeurtenissen te observeren. Observaties kunnen de nieuwsgierigheid van kinderen opwekken en aanleiding geven tot vragen.

Fair-test is gebaseerd op het observeren en verkennen van de relatie tussen variabelen. Dit betekent dat één variabele (de onafhankelijke variabele) wordt gewijzigd en dat men observeert of meet welk effect dit heeft op de andere variabelen (de afhankelijke variabele), terwijl alle andere factoren gelijk worden gehouden.

Patronen zoeken is een soort onderzoek waarvan de betrouwbaarheid van het resultaat verhoogt als je de grootte van de steekproef laat toenemen. Patroonzoekend onderzoek biedt kinderen de mogelijkheid om hun meet- en andere wiskundige vaardigheden te gebruiken en om hun manier van kijken kritisch te verdedigen op basis van het bewijsmateriaal.

Classificeren en identificeren betekent het indelen van de wereld rondom ons. Dit helpt ons om orde te brengen in wat anders chaos zou lijken. Classificeren betekent dat kinderen zorgvuldig en systematisch dingen moeten verzamelen en groeperen op basis van observeerbare gegevens (eigenschappen). Deze nauwkeurige observaties kunnen gebruikt worden om hen aan te moedigen in het beschrijven van verschillen en gelijkenissen van materialen of objecten. De informatie die men zo verkrijgt, kan aanleiding geven tot verdere vragen die dan op andere manieren kunnen onderzocht worden.

Modellen onderzoeken. Modellen worden in wetenschap gebruikt om de werkelijkheid te simuleren, ze laten het toe om ideeën en verklaringen uit te proberen en na te gaan of ze zin hebben. Zo kunnen kinderen bijvoorbeeld denken dat de fasen van de maan worden veroorzaakt door de schaduw die de aarde werpt op het maanoppervlak. Door gebruik te maken van fakkels en aangepaste ballen kunnen kinderen de fasen van de maan modelleren en hun hypothese testen. In dit geval zal het model aantonen dat de zienswijze van de kinderen niet betrouwbaar is en dat ze hun idee of concept moeten herdenken.

Technisch onderzoek. Een technisch ontwerp doet een beroep op wetenschappelijke vaardigheden en concepten. Bijvoorbeeld, het ontwerp van een zonnehoed is gebaseerd op het inzicht in de eigenschappen van de materialen waaruit een dergelijke hoed gemaakt is. Kinderen kunnen verschillende materialen uittesten en zo een inzicht in de eigenschappen ervan ontwikkelen. Dan kunnen ze deze kennis gebruiken voor hun ontwerp ¹⁵⁸ (p.53-56).

Waarom een onderzoekende aanpak toepassen?

Op basis van de grootschalige literatuursynthese die Minner et al.¹⁷¹ uitvoerden, is het duidelijk dat onderzoekende aanpakken – die leerlingen actief betrekken in het leerproces – het conceptueel leren verhogen. Uit een studie van Tuan et al.²⁴⁶ blijkt dan weer dat een dergelijke onderzoekende aanpak de motivatie significant verhoogt (zie voorbeeld). In deze studie werd een groep van veertienjarigen (zeven klassen), die gedurende tien weken op een onderzoekende manier les kregen, vergeleken met een groep veertienjarigen (zeven klassen) die op een traditionele manier wetenschapslessen kreeg. Uit het onderzoek blijkt verder dat bij een onderzoekende aanpak alle leerstijlen worden aangesproken. Bij sommige leerlingen heeft het samenwerken een positief effect, terwijl bij anderen het onderzoek op zich motiverend werkt.



In de lessen over het scheiden van mengsels maakt de leraar een mengsel van zand en zout en vraagt aan de leerlingen om uit te zoeken hoe ze het zand en het zout zouden scheiden. Elke leerling schrijft het antwoord op een werkblad, ze bediscussiëren het in groep en schrijven het antwoord van de groep op. De leraar geeft daarna essentiële kennis over het scheiden van mengsels en demonstreert op welke manieren het zand en het zout kunnen gescheiden worden. Hierop volgend geeft de leraar aan elke groep een niet gekend mengsel en laat de groepen discussiëren over verschillende manieren waarop ze het mengsel kunnen scheiden. De leraar laat de groepen de fysische eigenschappen van het mengsel nagaan en laat hen het internet gebruiken om informatie op te zoeken om voorspellingen te kunnen doen i.v.m. de samenstelling van hun mengsel. Daarna moeten de groepen strategieën noteren over hoe ze het mengsel zouden scheiden. Op basis hiervan voeren de leerlingen experimenten uit in het laboratorium, de leraar voorziet het nodige materiaal. De leerlingen hebben de vrijheid om zoveel mogelijk methoden uit te proberen. Op het einde bespreekt de leraar met de leerlingen de eigenschappen van het mengsel, de meest efficiënte manier om te scheiden, de problemen die ze tegenkwamen, de manier waarop ze deze problemen hebben aangepakt (werkwijze) en de eventuele fouten waarmee ze werden geconfronteerd. De leerlingen moeten hun onderzoeksrapport indienen zodat de leraar de prestaties en de vooruitgang van de leerlingen kan evalueren.

Een ander voorbeeld in verband met dit onderwerp vind je onder Hoe? 3.6. Vragen stellen, dialoog, discussie en debat.

Patrick en Yoon¹⁹⁴ constateerden in een andere kleinschalige studie (Global Warming project – www.letus.northwestern.edu/projects/gw) eveneens dat, hoewel de betrokken leerlingen allen heel gemotiveerd waren tijdens een zes weken durend project met een onderzoekende aanpak, er duidelijk verschillen waren in de aard van hun motivatie, wat dan weer aanleiding gaf tot verschillen qua inzicht in de inhoud. Ze stelden vast dat prestatiegerichtheid, of de manier waarop men wordt gezien door anderen, de aandacht wegneemt van het inzicht in de inhoud. Een gerichtheid op meesterschap geeft daarentegen aanleiding tot een verhoogd inzicht. De resultaten van deze studie geven aan dat leraren niet enkel aandacht moeten hebben voor het niveau van de motivatie en betrokkenheid maar eveneens voor de aard van de motivatie (zie Inleiding 1.3. Motivatie en krachtige leeromgeving).

Positieve effecten van een onderzoekende aanpak komen eveneens in andere studies naar voor. Brotman en Moore³³ bijvoorbeeld kwamen tijdens hun analyse van meerdere empirische studies tot de vaststelling, dat onderzoekende aanpakken een bijzonder positieve effect hebben op de interesse en attitude van meisjes ten opzichte van wetenschap, zeker wanneer deze meisjes reeds vroeg in contact kwamen met deze aanpakken. De invoering van onderzoekende aanpakken in lagere scholen in de UK heeft dan weer als resultaat dat wetenschap nu het lievelingsonderwerp is van veel kinderen in de lagere school¹¹⁴.

Wang et al.²⁷³ onderzochten het effect van een onderzoekende aanpak op Taiwanese lagere en secundaire schoolleerlingen (acht tot veertien jaar) over de periode 1997-2009. Uit hun meta-analyse blijkt dat een onderzoekende aanpak de leerresultaten verbetert op het gebied van conceptueel inzicht en wetenschappelijke procesvaardigheden en daarenboven leidt tot een meer positieve houding ten opzichte van wetenschap. Toch zijn er een aantal kanttekeningen te lezen in deze studie. Zo is het mogelijk dat ook andere factoren een invloed hebben op de attitude van leerlingen, zoals hun wetenschappelijk inzicht en hun interactie met peers en leraren. Bovendien kan het onderwerp zelf invloed hebben op het effect van een onderzoekende aanpak. Bij aardrijkskunde bijvoorbeeld was het effect op conceptueel inzicht en op attitude beperkter dan bij fysica of chemie. In het vak aardrijkskunde kan, omwille van het onderwerp, vaak geen gebruik gemaakt worden van materialen voor experimenten. Bovendien waren de effecten van onderzoekende aanpakken bij leerlingen secundair onderwijs minder duidelijk dan bij leerlingen lager onderwijs. De onderzoekers veronderstellen dat dit te wijten is aan de kleinere bereidheid van leraren secundair onderwijs om nieuwe aanpakken uit te proberen en aan hun beperkte ervaring met het toepassen van effectieve onderzoekende aanpakken.

Het is inderdaad zo dat leren op een onderzoekende manier voor leerlingen een totaal andere manier van leren is. Een onderzoekende aanpak vereist meer van leerlingen, het vraagt immers participatie in het leerproces, het opnemen van de eigen verantwoordelijkheid voor het leren en een intellectuele inspanning¹⁰⁰. Het is de rol van de leraar om leerlingen hierin te ondersteunen. De leraar zal in een onderzoekende aanpak dus een meer coachende rol moeten opnemen¹⁰⁰.

Opnieuw willen we enkele kanttekeningen aanbrengen, omdat niet alle onderzoekers zich positief uitspreken over onderzoekende aanpakken. Kirschner et al.¹³³ bijvoorbeeld benoemen deze aanpakken als niet effectief. Ze hebben het evenwel over onderzoekende aanpakken waarin een minimale begelei-

ding wordt gegeven. Minimaal begeleide aanpakken leggen een zware last op lerenden, want er wordt van hen een heel grote cognitieve verwerking verwacht. Dit resulteert in een beperkte verwerking van nieuwe informatie en hindert het leerproces. Het is dus belangrijk om leerlingen, die uiteindelijk nog groentjes zijn in een wetenschappelijke discipline, voldoende structuur en scaffolding te bieden. Niet-begeleide instructie kan tot negatieve resultaten leiden, omdat leerlingen misconcepties of onvolledige of ongeorganiseerde kennis verwerven. Geleidelijk aan overgaan van begeleid onderzoek naar open onderzoek is dus de boodschap.

Gelijkaardige conclusies vinden we terug in publicaties over ontdekkend leren. Soms leren leerlingen in mindere mate van ontdekkend leren¹³⁴, maar meer van directe instructie. Als er geen interventie van de leraar is buiten de suggestie van het leerdoel, als er geen begeleidende vragen en geen feedback over de kwaliteit van de geselecteerde materialen, exploraties of zelf-evaluaties worden gegeven, dan mist ontdekkend leren zijn doel. Leerlingen kunnen bij een ontbrekende begeleiding door de leraar heel gefrustreerd geraken, bijvoorbeeld omdat iets niet lukt.

Cuevas et al.⁵⁵ spreken bovenstaande kritiek niet tegen, maar concluderen uit hun studie dat een leraar-gestuurde aanpak, met instructie en scaffolding, die nadien overgaat naar een meer leerling-gestuurde aanpak, het onderzoekend vermogen van alle betrokken leerlingen (negen tot tien jaar) verbetert, ongeacht hun achtergrond. Bovendien maakten de laag presterende en de anderstalige leerlingen indrukwekkende leerwinsten. We verwijzen hier graag naar Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren.



Scaffolding: Een duidelijke definitie vinden we op p.9 van de SLO-publicatie²⁰: “Het Engelse woord “to scaffold” betekent “een steiger bouwen”. In de didactiek wordt het begrip gebruikt om aan te geven dat leerlingen tussenstapjes nodig kunnen hebben om bepaalde taken uit te voeren. De leraar (de expert) bouwt daartoe een “steigertje” waarop de leerling (de novice) even kan gaan staan om zijn hoger gelegen doel te bereiken.”

We kunnen besluiten dat dé onderzoekende onderwijsaanpak niet bestaat en dat het niet altijd duidelijk is welke onderzoekende aanpak bestudeerd werd in de effectenstudies. Cuevas et al.⁵⁵ geeft dit eveneens aan: “De variëteit aan definities van wetenschappelijk onderzoek in de onderzoeksgemeenschap, gekoppeld aan de verschillende interpretaties door leraren en leerlingen, zorgt voor moeilijkheden bij het uitvoeren van vergelijkend onderzoek en het interpreteren van resultaten. Dus, als je de resultaten van studies over onderzoekende aanpakken wil vergelijken, dan moet het duidelijk zijn welk type aanpak gebruikt werd in elke studie.”

Toch stellen we vast dat er grote analysestudies zijn die (duidelijk) aantonen dat bepaalde onderzoekende aanpakken een positief effect hebben op de motivatie en de interesse van kinderen en jongeren. Zoals we reeds aanhaalden, ontwikkelden Minner et al.¹⁷¹ een raamwerk om onderzoekende aanpakken van niet-onderzoekende aanpakken te kunnen onderscheiden. Hierop zullen we wat dieper ingaan.

3.2.3. Wat zijn kenmerken van onderzoekende en motiverende aanpakken in onderwijs?



Die dag ging de les over beenderen. Tijdens de vorige sessie hadden alle leerlingen voor zichzelf de beenderen in het lichaam getekend op een voorgetekend lichaam. In deze sessie werden de leerlingen in groepen van vier verdeeld en kregen ze als groep de opdracht om de beenderen opnieuw te tekenen op een voorgetekend lichaam. Hiervoor moesten ze als groep bespreken welke beenderen bestonden en welke niet, in een andere kleur werden de beenderen getekend waar discussie over was. Tijdens de daaropvolgende bespreking met de hele klasgroep waren er onverenigbaarheden en vragen. Eén ervan betrof de hoeveelheid beenderen die er zijn in de ruggengraat, één of meerdere? Andere vragen kwamen boven en de leerlingen zochten antwoorden in hun boek, heel goed wetende waar ze naar zochten.

Naar een voorbeeld uit het Pollen project, een Europees project dat zich richt op basisonderwijs.²⁸⁴

Kunnen we bovenstaande aanpak een onderzoekende aanpak noemen? Hebben alle onderzoekende aanpakken een effect op de motivatie van kinderen en jongeren? Wat zijn kenmerken van onderzoekende aanpakken? We zochten een antwoord op deze vragen in de vakliteratuur. Zoals reeds aangegeven ontwikkelden Minner et al.¹⁷¹ een raamwerk om aanpakken binnen wetenschap te kunnen benoemen als onderzoekend of niet. In hun studie kenmerken onderzoekende aanpakken zich door:

- ▶ inhoudelijk te kiezen voor een onderwerp uit de wetenschap. In het bovenstaande voorbeeld is dit biologie.
- ▶ betrokkenheid van leerlingen met wetenschappelijke fenomenen. In het voorbeeld worden secundaire bronnen gebruikt, met name discussie en boek.
- ▶ betrokkenheid van leerlingen in op zijn minst één onderdeel van de onderzoekscyclus: vragen, ontwerp, data, conclusies of communicatie. In het voorbeeld is het duidelijk dat vragen worden toegelaten en dat leerlingen worden uitgedaagd om hierop een antwoord te zoeken. Groepsdiscussies worden bevorderd.
- ▶ gebruik van pedagogische aanpakken die de verantwoordelijkheid van de leerling voor leren, actief denken van de leerling en/of hun motivatie stimuleren. In het voorbeeld gaan de leerlingen zelf op zoek naar antwoorden en bepalen ze zelf de vragen. Leerlingen gaan na, via discussie en verder onderzoek, welke beenderen het lichaam bevat.

Ook al handelt de studie van Minner et al.¹⁷¹ over onderzoekende aanpakken binnen wetenschap specifiek, toch kiezen we ervoor om deze kenmerken als leidraad voor onderzoekende aanpakken binnen STEM in het algemeen te nemen. Verschillende ervan zijn immers generaliseerbaar voor de andere disciplines en geven, naar onze mening, een goed beeld van de typische kenmerken van een onderzoekende aanpak. Hieronder gaan we in op deze kenmerken.

Betrokkenheid van leerlingen t.a.v. wetenschappelijke fenomenen

Volgens Minner et al.¹⁷¹ kan men de betrokkenheid van leerlingen onder andere op volgende wijzen bekomen: het manipuleren van materialen, het observeren van wetenschappelijke fenomenen, het observeren van een demonstratie van wetenschappelijke fenomenen, het uitvoeren van experimenten, het gebruik van secundaire bronnen zoals boeken, het internet, mondelinge gegevens (discussies), data van anderen¹⁷¹.

We maken hier graag een kanttekening over observeren. Volgens de auteurs van het POLLEN-project is observeren één van de belangrijkste vaardigheden²⁸⁴. Leerlingen observeren veel dingen maar ze nemen, net zoals volwassenen overigens, niet alles waar. Om iets goed te kunnen begrijpen is het belangrijk dat leerlingen nauwkeurig kijken naar specifieke eigenschappen van een fenomeen. Wanneer dit niet het geval is, kunnen hun observaties – de gegevens die ze verzamelen – irrelevant zijn voor de vraag die ze moeten beantwoorden of het probleem dat ze moeten oplossen. Met andere woorden, om iets te zien, moet je weten waar je moet naar kijken en wat je zou moeten zien, je moet gericht observeren. Hierin ligt een belangrijke taak voor de leraar en de instructie. Vaak wordt aan leerlingen immers gevraagd om iets nauwkeurig te observeren. Maar wat betekent dit? Waar moeten ze dan naar kijken? Bijvoorbeeld, gevraagd worden om twee bloemen te observeren is een totaal andere opdracht dan gevraagd worden om de bloemen te observeren en de gelijkenissen en verschillen te noteren. Opdat leerlingen onderzoeksvaardigheden goed zouden leren hanteren, hebben ze dergelijke vormen van begeleiding nodig (zie verder).

Als je meer informatie wilt over mogelijke experimenten en simulaties, bekijk dan Hoe? 3.3. Simulaties en experimenten.

Betrokkenheid in de onderzoekscyclus¹⁷¹

Bij dit kenmerk blijven we graag wat langer stilstaan. Achtereenvolgend behandelen we de fasen in een onderzoekscyclus, het al dan niet chronologisch doorlopen van deze verschillende fasen en de begeleiding van leerlingen bij een onderzoekende aanpak. Maar we beginnen met een inspirerend voorbeeld (zie tekstkader).

Uit welke fasen bestaat een onderzoekscyclus?

Eén van de voorwaarden voor Minner et al.¹⁷¹ om een aanpak als onderzoekend te classificeren is dat de leerlingen betrokken worden in minstens één fase van de onderzoekscyclus. Zij omschrijven de onderdelen van de onderzoekscyclus als volgt: vragen, ontwerp, data, conclusie en communicatie. In andere publicaties worden de fasen in het onderzoeksproces anders benoemd en soms verder onderverdeeld of eerder samengenomen. Er bestaan in de literatuur verschillende modellen om dit onderzoeksproces te omschrijven. We lijsten hieronder enkele voor jullie op. Naar ons oordeel lijkt het OVUR-model een makkelijk en werkbaar model te zijn, het model komt sterk overeen met het model dat Minner et al. vooropstellen, het luik communicatie is echter niet opgenomen.

Het OVUR-model bestaat uit vier componenten nl., oriënteren, voorbereiden, uitvoeren en reflecteren.

Dit model vinden we terug in de publicatie van Strubbe et al. 'Onderzoekscompetent in de klas'²³⁴ en in de publicatie 'Onderzoekend leren stimuleren: effecten, maatregelen en principes'.⁵⁹



In een project over beweging en kracht verkenden de leerlingen de volgende onderzoeksvraag: 'Waarom moet ik een helm dragen als ik fiets?' Tijdens het 8 weken durende project worden leerlingen van het tweede jaar secundair onderwijs uitgedaagd tot onderzoek in het domein fysica, en meer bepaald het onderwerp botsing. Het project start met een korte maar dramatische videoband, waarin wordt geïllustreerd hoe fietsongevallen kunnen resulteren in een hersenletsel. Daarna volgt er een serie van demonstraties waarbij een onbeschermd ei wordt gebruikt in een rijdende kar – wat de leerling moet voorstellen die met een fiets rijdt – om het mogelijke resultaat van een botsing te illustreren. Deze demonstratie wordt hernomen doorheen het project en dient als verankerende ervaring waar leerlingen kunnen naar terugrijpen wanneer ze verschillende concepten verkennen zoals traagheid, snelheid, versnelling en kracht, alsook de onderlinge relatie tussen deze concepten. Dit vormt de focus voor het finale ontwerp: de leerlingen ontwerpen een helm om het ei te beschermen bij de botsing. De leerlingen ontwerpen experimenten om de relatie tussen massa en traagheid te onderzoeken. Ze bestuderen snelheid en versnelling door gegevens te verzamelen door gebruik van bewegingssondes, die hen toelaten om deze data onmiddellijk op een computerscherm te zien. Ze leren tevens hoe ze bewegingsgrafieken moeten lezen en interpreteren. Ze onderzoeken eveneens de versnelling op basis van de zwaartekracht en de massa. Ze gebruiken de bewegingssondes een tweede keer voor het ontwerp en het uittesten van de helmen op het ei. Deze ontwerpen en de resultaten van het testen worden gepresenteerd voor en bediscussieerd met de hele klasgroep¹⁷⁵ (p.292).

- De publicatie van Strubbe et al.²³⁴ richt zich naar de vakken biologie, chemie en fysica in het secundair onderwijs en is vooral interessant omwille van de verschillende uitgewerkte voorbeelden op basis van bovenstaand model. De auteurs bepleiten een holistische aanpak van onderzoeksvaardigheden en passen het OVUR-model toe op zowel onderwijsleergesprekken, leerlingenproeven, simulaties als demonstraties. De auteurs tonen aan dat zelfs een goed uitgedacht onderwijsleergesprek kan opgevat worden als een onderzoeksactiviteit. In de publicatie is er eveneens aandacht voor de andere voorwaarden die Minner et al. vermelden, nl. het betrekken van leerlingen bij wetenschappelijke fenomenen door gebruik te maken van secundaire bronnen, demonstraties, simulaties en experimenten; het stimuleren van het actieve denken van leerlingen door onder andere het stimuleren van vragen, voorspellingen en hypothesen. In deze publicatie worden reeds een aantal voorbeeldvragen, voorspellingen en hypothesen gegeven ter ondersteuning van de leraar.

- In de publicatie over onderzoekend leren⁵⁹ worden het onderzoekend leren, het effect ervan en de verschillende fasen in een onderzoekscyclus op basis van het OVUR-model onder de loep genomen. Er wordt een link gelegd tussen onderzoekend leren en de onderzoekscompetentie. De publicatie omvat zowel informatie voor het basis- als voor het secundair onderwijs en is niet specifiek afgestemd op de STEM-disciplines.

Het OOL-model: Onderzoekend en Ontwerpend leren volgens het zevenstappenplan²⁵⁵. 'Lessenreeks voor de basisschool op basis van Onderzoekend en ontwerpend leren'²⁵⁵. Deze lessenreeksen werden uitgetest in drie klassen van het zesde leerjaar. Laten we een voorbeeld bekijken (zie tekstvak). Als je meer wilt weten over ontwerpend leren, dan verwijzen we graag naar Hoe? 3.4. Technisch proces.



Het OOL-model: Onderzoekend en Ontwerpend leren volgens het zevenstappenplan²⁵⁵

De lessenreeks 'We ontwerpen en bouwen een dierentuin' bestaat uit vijf lessen. Tijdens les 1 worden onderzoeksvragen over wilde dieren verzameld, tijdens les 2 worden eisen opgesteld voor het dierenverblijf, in les 3 wordt het dierenverblijf ontworpen, tijdens les 4 wordt het dierenverblijf gebouwd en tijdens les 5 wordt het dierenverblijf gepresenteerd. Op basis van een bevraging, blijkt dat de leraar met deze aanpak een meer conceptuele diepgang kan bereiken. Daarnaast bemerkte de leraar dat er een versnelling is in de persoonlijke ontwikkeling (zelfstandigheid), het samenwerken met anderen, de betrokkenheid, het doorzettingsvermogen en het ontstaan van meer onderling vertrouwen. De leraar vindt wel dat deze manier van werken veel tijd vraagt. Het voordeel is echter dat er aan verschillende vakken tegelijk (wetenschap, techniek, rekenen en taal) wordt gewerkt.

5E Instructie Model³⁵.

'5 E' staat voor vijf fases: De 'Engagement' fase, de 'Exploration' fase, de 'Explanation' fase, de 'Elaboration' fase en de 'Evaluation' fase.

De '5 E'-onderzoeksaanpak valt onder de noemer van begeleid onderzoek. De leraar voorziet de materialen en het probleem dat moet worden onderzocht. De leerlingen voeren hun eigen procedures uit om het probleem op te lossen en dit onder leiding van de leraar. Deze onderzoeksaanpak wordt gezien als een effectieve onderzoeksaanpak die vooral wetenschappelijke kennis en begrip verbetert.

Het onderzoeksweb¹⁷⁵

Dit onderzoeksweb bestaat uit drie cyclussen, namelijk de voorspellings-, de observatie en verklaringscyclus. Dit onderzoeksweb zorgt ervoor dat vroegere kennis met nieuwe kennis wordt gelinkt.¹⁷⁵

Moeten alle fasen in het onderzoeksproces chronologisch doorlopen worden?

Uit de ervaringen binnen het POLLEN-project²⁸⁴, een Europees project met als doelgroep het basisonderwijs, leiden we af dat een onderzoeksproces geen lineair proces is, of dat het stap voor stap moet gevolgd worden. Afhankelijk van het onderwerp en de aard van het onderzoek, kan de leraar bepaalde fasen benadrukken. Bovendien zal één enkele sessie bijna nooit alle fasen kunnen omvatten. In het POLLEN-project hanteert men een model met volgende onderdelen: exploreren, onderzoeken, conclusies trekken en communiceren. Voorbeelden uit het basisonderwijs zijn te vinden in de handleiding van het POLLEN-project: <http://www.pollen-europa.net/>.

Ook Wu en Hsieh²⁸⁵ benadrukken dat het onderzoeksproces geen lineair proces is en geven aan dat leerlingen doorheen de verschillende fasen op een complexe manier tewerk kunnen gaan. Bijvoorbeeld, de leerlingen kunnen hun onderzoeksvraag aanpassen en hun onderzoek herontwerpen indien duidelijk wordt dat ze met hun data de vraag niet kunnen beantwoorden, zonder daarbij reeds conclusies bekomen of gecommuniceerd te hebben. Wu en Hsieh geven verder aan dat niet alle fasen steeds aanwezig zijn in een onderzoekende aanpak, dit hangt af van het type onderzoek. Zij geven als voorbeelden het opbouwen van verklaringen over fenomenen zoals de klimaatsverandering en het analyseren van de databank van het weerstation. Dit kunnen onderwerpen zijn voor interessante onderzoeksprojecten zonder dat de leerlingen zelf empirische data moeten verzamelen of praktische experimenten moeten uitvoeren. Wu en Hsieh onderscheiden trouwens zeven fasen in het onderzoeksproces: vragen stellen en afbakenen, zoeken naar informatie, ontwerpen van onderzoeken, uitvoeren van onderzoek, analyse van data en conclusies maken, artefacten creëren en delen en communiceren van bevindingen.

Doorheen het onderzoeksproces worden verschillende onderzoeksvaardigheden geleerd, zoals het stellen van vragen, het observeren, het verzamelen van data, het evalueren van verklaringen. Wu en Hsieh²⁸⁵ geven aan dat tijdens hun studie verschillende onderzoeksvaardigheden significant verbeterden, echter niet het evalueren van verklaringen (wat als reflecteren kan gezien worden). Dit geeft aan dat verschillende fasen in een onderzoek tot verschillende leeropportunities aanleiding geven en gelinkt zijn met de ontwikkeling van specifieke onderzoeksvaardigheden. Gelijkaardige conclusies worden gemaakt in de uitgebreide review rond onderzoekend leren⁵⁹.

Wanneer we bovenstaand gegeven samennemen met het feit dat in een onderzoekende aanpak niet steeds alle fasen aan bod komen, is het belangrijk om als leraar na te gaan welke fasen wel aan bod komen/kwamen en aan welke specifieke vaardigheden dus gewerkt wordt/werd. Het is dus aan te raden om verschillende soorten onderzoek toe te passen in je onderwijs of aandacht te hebben voor specifieke fasen binnen een groter onderzoek.

In andere delen van deze review belichten we meer specifieke vaardigheden, zoals het stellen van vragen, argumenteren, het uitvoeren van experimenten. We verwijzen hiervoor naar de Hoe? 3.6. Vragen stellen, dialoog, discussie en debat.

Hebben leerlingen structuur en begeleiding nodig bij het uitvoeren van onderzoek?

Dejonckheere et al.⁶⁵ onderzochten of kinderen van negen en elf jaar (éénzelfde experiment, maar twee keer uitgevoerd bij deze twee verschillende leeftijden) in staat waren om een wetenschappelijk onderzoek op te stellen met het voor hen beschikbare materiaal, nadat hen eerst geleerd was hoe ze de variabelen in een experiment kunnen controleren. Het onderzoek werd uitgevoerd door drie verschillende groepen. Aan de eerste groep werd de techniek van de wetenschappelijke denkcirkel – een oriëntatiefase, een exploratiefase, een uitvoeringsfase en een evaluatiefase – aangeleerd met metacognitieve ondersteuning (d.m.v. een stappenplan). Aan deze kinderen werd gevraagd om elke stap te verwoorden. Ze werden aangemoedigd om de onderzoeksvraag in eigen woorden te herformuleren, om verschillende oplossingen voor het probleem te zoeken, om meer bewust te zoeken naar een oplossingsstrategie en om aandacht te besteden aan het vergelijken van hun oplossing met de oorspronkelijke onderzoeksvraag. De tweede groep kreeg dezelfde techniek aangeleerd maar dan zonder metacognitieve ondersteuning. Een controlegroep kreeg geen specifieke uitleg, m.a.w. de techniek werd hen niet aangeleerd. Uit deze studie blijkt dat een goede instructie (zie instructie eerste groep) onontbeerlijk is bij het leren opstellen van eenvoudige wetenschappelijke onderzoeken. Daarnaast konden de onderzoekers constateren dat de kinderen die metacognitieve ondersteuning kregen, minder impulsief reageerden en dat de tijd die ze gebruikten om het probleem op te lossen langer was. De studie geeft aan dat 11-jarige kinderen hun wetenschappelijk probleemoplossend vermogen kunnen leren sturen wanneer de leraar hen een middel of een structuur aanbiedt om het beoogde gedrag aan te leren. Deze bevindingen konden enkel bij de groep van elfjarigen worden vastgesteld. (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren)

Uiteraard is bovenstaande studie maar een voorbeeld waarbij een specifieke onderzoekende aanpak werd gebruikt, maar de studie toont wel aan dat kinderen begeleiding nodig hebben bij het uitvoeren van onderzoek en dat de wijze van instructie, het type onderzoek en de begeleiding dienen aangepast te zijn aan de leeftijd en/of het niveau van de leerlingen. Dit wordt, zoals we eerder aangaven, bevestigd door Kirschner¹³³. Bovenstaande betekent echter niet dat jonge kinderen niet in staat zouden zijn om op een onderzoekende manier te werken. Zoals Windschitl²⁸³ zegt, is er in de literatuur een aanzienlijke hoeveelheid bewijsmateriaal te vinden voor de stelling dat heel jonge kinderen beschikken over eenvoudige denkvaardigheden die noodzakelijk zijn om te redeneren en onderzoek uit te voeren. Het is echter aan de educatieve omgeving om deze tools in te schatten en er rekening mee te houden. In het POLLEN-project²⁸⁴ bijvoorbeeld zijn verschillende voorbeelden te vinden van een onderzoekende aanpak bij jonge kinderen uit kleuter- en lager onderwijs.

Zohar²⁹³ geeft aan dat leerlingen bij het zelfstandig uitvoeren van onderzoek over bepaalde complexe redeneerwijzen moeten beschikken. Vaak bezitten leerlingen deze vaardigheid nog niet en dit geldt zowel voor leerlingen uit lager als secundair onderwijs. Wanneer de leraar hier onvoldoende aandacht aan besteedt, kunnen er zich bij open onderzoek verschillende problemen voordoen. Zohar geeft een overzicht (zie tekstvak voor voorbeelden).

- ▶ onvoldoende of irrelevante hypothesen,
- ▶ geen controle van de variabelen,
- ▶ mismatch tussen het onderzoeksprobleem (de onderzoeksvraag) en het onderzoeksontwerp,
- ▶ problemen bij de verwerking van de data,
- ▶ verwarring tussen afhankelijke en onafhankelijke variabelen.



Onvoldoende of irrelevante hypothesen

De hypothese, geformuleerd door een groep leerlingen die wou uitzoeken of verschillende bewaarperiodes een effect hadden op het gehalte vitamine C in sinaasappelsap, was: 'Het gehalte aan vitamine C in het sap verandert in een andere toestand (van vloeibaar naar vast)'²⁹³ (p.408).

Geen controle van de variabelen

Een groep leerlingen formuleerde hun onderzoeksvraag als volgt: 'Zal het gehalte aan vitamine C verlagen wanneer het sap wordt verwarmd tot verschillende temperaturen, voor verschillende tijden?' Het onderzoeksontwerp van de leerlingen hield in dat ze het sinaasappelsap verhitten tot verschillende temperaturen gedurende verschillende tijdsperiodes. Twee variabelen werden dus tegelijk gewijzigd²⁹³ (p.408).

Mismatch tussen het onderzoeksprobleem (de onderzoeksvraag) en het onderzoeksontwerp

Leerlingen definieerden het volgende onderzoeksprobleem: "Zal het toevoegen van suiker het gehalte aan vitamine C in citroensap verhogen?" Hun onderzoeksontwerp was echter gebaseerd op het vergelijken van huisgemaakte en bevroren limonade²⁹³ (p.409).

Problemen bij de verwerking van de data

Een groep die een enquête organiseerde om de frequentie van vegetariërs te onderzoeken in een groep van verschillende leeftijden, maakten op basis van de resultaten een taartdiagram. De leden van de groep begrepen niet dat het volledige taartdiagram steeds honderd percent voorstelt en wisten niet of het volledige diagram overeenstemde met de hele bevolking in hun onderzoek of enkel met de vegetariërs²⁹³ (p.409).

Verwarring tussen afhankelijke en onafhankelijke variabelen

In een bevraging over diëten, probeerden leerlingen hun resultaten te presenteren aan de hand van een grafiek. Ze werden geobserveerd terwijl ze aan het discussiëren waren over welke variabelen afhankelijk en onafhankelijk waren. Uiteindelijk gaven ze op en beslisten ze om te gokken²⁹³ (p.409).

Zohar geeft aan dat deze problemen een serieuze impact zullen hebben op hoe leerlingen hun kennis opbouwen tijdens het onderzoek. Het is daarom heel belangrijk om deze problemen het hoofd te bieden tijdens de instructie. Zohar constateert dat leraren vaak op de hoogte zijn van deze problemen bij hun leerlingen, maar dat ze die slechts af en toe aanpakken in de klas. Toch blijkt dat deze problemen herhaaldelijk en systematisch moeten aan bod komen, bij elke onderzoekende aanpak. Als leraar is het belangrijk om niet alleen aandacht te hebben voor inhoudelijke doelen maar eveneens herhaaldelijk specifieke redeneerdoelen (noodzakelijk in de verschillende fasen van onderzoek) in te plannen. De problemen die hierboven vermeld staan, kunnen een hulp zijn bij het plannen van een gestructureerd onderzoekende aanpak, zonder de verantwoordelijkheid voor leren bij de leerling weg te nemen.

In het 'ThinkerTools' onderzoekscurriculum, gericht naar leerlingen secundair onderwijs¹⁷⁵, is er specifiek aandacht voor het metacognitieve en worden leerlingen aanzet om te reflecteren over hun eigen onderzoek.

Bell et al.²¹, die verschillende vormen van een onderzoekende aanpak onderscheidt (zie 3.2.2.), bevestigt de nood van een geleidelijk opbouwende onderzoekende aanpak. Hoewel het uiteindelijke doel is om leerlingen open onderzoek te laten uitvoeren, is het onmogelijk om dit onmiddellijk van hen te verlangen. Leerlingen moeten geoefend worden in een onderzoekende aanpak en moeten geleidelijk aan van meer gestuurd onderzoek, via begeleid onderzoek tot open onderzoek komen.

Dergelijke vormen van begeleid en open onderzoek moeten meermaals toegepast worden, zo niet zullen wetenschapprojecten van lage kwaliteit zijn en blijven. Het is dus logisch dat leerlingen doorheen hun schoolcarrière, zowel in basis- als secundair onderwijs, meerdere keren de kans krijgen om aan begeleid en open onderzoek te doen, om zo steeds bekwaamer te worden in de verschillende onderzoekende vaardigheden. Hiervoor is het eveneens belangrijk dat, naast de begeleiding door de leraar, gepaste materialen en hulpmiddelen worden voorzien²⁸³. Hier wringt echter het schoentje, want in handboeken staan vaak zogenaamde 'kookboek'-onderzoeken, die enkel onderzoek van niveau 1 en 2 stimuleren²¹. Voor Windschitl²⁸³ is het alleszins duidelijk dat software leraren kan ondersteunen in het toepassen van begeleid en open onderzoek (zie Hoe? 3.10. Praktische voorwaarden: leermiddelen)

Het belang van ondersteuning door de leraar wordt eveneens benadrukt door Fisher¹⁷⁴. Het vraagt tijd en geduld om leerlingen te laten nadenken over vragen en om hun discussies naar gepaste antwoorden te leiden. Terzelfdertijd is er de druk om verder te werken, wat leidt tot de constante uitdaging om niet te vervallen in vertellend lesgeven. Toch is het oké en zelfs noodzakelijk om af en toe in de vertelmodus over te gaan. Het belangrijkste is om het stellen van goede en verdiepende vragen te blijven bewaken. (zie Hoe? 3.6. Vragen stellen, dialoog, discussie en debat)

Op basis van een gevalstudie – met één setting, één leraar, één school en authentiek onderzoek – kwam Crawford⁵² tot een aantal beweringen die overeenstemmen met wat hierboven wordt aangehaald over begeleiding van onderzoek in onderwijs. 1) Onderzoek is gesitueerd in een context; 2) Leraren moeten onderzoek omarmen als onderwerp en als pedagogische aanpak; 3) De samenwerking tussen leraar en leerlingen stimuleert onderzoek; 4) De rol van de leraar en de leerlingen is complex en veranderlijk; 5) Er is een hogere betrokkenheid van leraren vereist dan bij het traditionele lesgeven.

Begeleid onderzoek is eveneens mogelijk in inclusieve klassen. Dit wordt aangetoond in het ontwerp-onderzoek van Palincsar et al.¹⁹³. In deze ontwerpstudie worden de ontwikkeling en het effect bestudeerd van een begeleide onderzoekende aanpak op vier inclusieve klasgroepen van het vierde en vijfde leerjaar. Sommige leerlingen in deze klassen hebben leer- en/of emotionele problemen. De ontwikkelde begeleide onderzoekende aanpak is gebaseerd op de GlsML methode (begeleid onderzoek dat multiële geletterdheden ondersteunt). De aanpak wordt toegepast op twee onderzoeken, met name 'Hoe interageert licht met objecten' en 'Zinken en drijven'. De aanpak is onderverdeeld in verschillende fasen: de betrokkenheidsfase, de onderzoeksfase, de uitlegfase, de rapporteerfase. Uit deze ontwikkelingsstudie blijkt dat er in inclusieve klassen aandacht moet zijn voor de volgende aspecten:

- ▶ de eerste redeneringen gebeuren in kleine groepen (veilige context). Dit verhoogt het vertrouwen van leerlingen om hun ideeën te delen tijdens klasdiscussies.
- ▶ het ondersteunen van 'print' geletterdheid, bijvoorbeeld door het voorzien van een verklarende woordenlijst voor termen, die leerlingen kan helpen bij het schrijven en communiceren van bewijzen, conclusies (precies en beknopt)...
- ▶ het bieden van meer aanwijzingen voor het laboboek (onderzoeksboek) – bijvoorbeeld: 1) Beschrijf of teken wat je ziet; 2) Leg uit in woorden of met tekeningen wat je ziet. Anders geformuleerd: leerlingen met schrijfproblemen zijn gebaat bij het gebruik van tekeningen om resultaten weer te geven, hypothesen voor te stellen...
- ▶ de betrokkenheid van collega's of paraprofessionelen om de ideeën van leerlingen te vertalen.

Uit bovenstaande studies en bronnen blijkt overduidelijk dat in een onderzoekende klas de groepssfeer essentieel is¹⁰⁰, omdat er van leerlingen en leraren verwacht wordt dat ze samenwerken tijdens de onderzoeken, hun ideeën bediscussiëren en hun bevindingen communiceren. Een lerende klasgemeenschap beschrijft een situatie waar leraren en leerlingen betrokken zijn in een collectief proces van leren dat leidt tot gedeeld begrip (zie Hoe? 3.5. Samenwerkend leren)

Verantwoordelijkheid van de leerling voor leren

Dit aspect heeft te maken met de rol van de leerling als lerende. Een onderzoekende aanpak die de verantwoordelijkheid van de leerling voor leren stimuleert, zal leerlingen laten deelnemen aan beslissingen over hoe en wat ze leren, zal hen uitdagen om te identificeren waar zij en anderen hulp nodig hebben, zal verwachten dat ze hulp vragen en zal bijdragen aan de vooruitgang van de groepskennis¹⁷¹. Deze verantwoordelijkheid voor leren kan binnen elke fase van de onderzoekscyclus genomen worden (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren).

Voor een leraar betekent het delen van de verantwoordelijkheid voor leren met de leerlingen een belangrijke verschuiving van de macht. De leerlingen worden actoren in plaats van ontvangers. Ze stellen vragen die de leraren nooit gedacht hadden te moeten beantwoorden. De leerlingen proberen verschillende bronnen van kennis en inzicht te betrekken bij het onderwijs en verwijzen bijvoorbeeld eveneens naar TV en media alsook naar wat ze via hun ouders reeds weten. Een dergelijke onderneming kan de leraar het gevoel geven dat er risico's worden genomen, deels omdat het niet mogelijk is om alle antwoorden te weten op de vragen die leerlingen stellen. Het meest belangrijke dat je als leraar moet beseffen, is dat het oké is om niet alle antwoorden te kennen. Als leraar kun je de leerlingen uitdagen

om antwoorden te zoeken op de vragen die ze stellen en om deze informatie vervolgens te delen met de klas. Het respect en de kameraadschap die tussen de leraar en de leerlingen groeien in dergelijke leerling-gestuurde klassen zijn een prachtige beloning¹⁷⁴.

Actief denken van leerlingen



Een klas van zeven- en achtjarigen brengt haar tijd door met het verkennen van ijsballonnen, met het maken van nauwkeurige tekeningen vanuit observatie en met het aanraken van en luisteren naar het ijs. 'Waarom kan ik het horen kraken?' vragen ze. 'Waarom is het niet overal hetzelfde?' 'Zal het smelten?' 'Zal een grote ijsballon makkelijker smelten dan een aantal kleine blokjes?' 'Hoeveel weegt het?' 'Waarom blijft mijn vinger er aan kleven?' Alistair wou weten of de ijsballon zou blijven drijven. Hij veronderstelde dat – hoewel de ijsblokjes drijven in gashoudende dranken – de grote ijsballon te zwaar zou zijn om te drijven. Een klasgenootje herinnerde zich dat een ijsberg drijft: Was dat dan hetzelfde? De kinderen bespraken wat ze wisten over ijsbergen en ze onderzochten hun ideeën door de ijsballon in een wassertank te leggen, de ijsballon dreef. Dit gegeven zette Alistair aan tot diepere gedachten. Hij merkte op dat wanneer hij de ijsballon in het water plaatste, het waterniveau in de tank steeg. Zijn volgende vraag intrigeerde iedereen. 'Wat zal er gebeuren met het waterniveau als de ijsballon smelt?' ¹⁵⁸ (p.46)

Het actief denken van leerlingen verwijst naar hoe leerlingen betrokken zijn met de inhoud zelf. Een onderzoekende aanpak die dit vooropstelt, zal aandacht hebben voor het gebruik van logica en creatief denken, zal vroegere kennis aanspreken en/of gevolgtrekkingen maken¹⁷¹.

Fisher¹⁷⁴ onderstreept het belang van het opwekken van vroegere kennis. Zij spreekt in die zin over alternatieve concepties, misconcepties of naïeve concepties, termen die ze door elkaar gebruikt (zie Wat?)



Alternatieve conceptie is een idee van een lerende die aanzienlijk verschilt van het wetenschappelijke concept.

Misconceptie is een misvatting of een fout die bij de leerling sterk leeft. Misvattingen zijn op grote schaal aanwezig in de klas, ongeveer twintig tot zestig percent van de leerlingen in een klas hebben misconcepties.

Naïeve conceptie/opvatting. Naïeve opvattingen zijn persistent, goed ingebed in iemands cognitieve ecologie en moeilijk te corrigeren, zeker niet door didactische methoden³ (p.267-268).

In het Pollen-project²¹¹ worden de termen 'preconcepties' of 'initiële concepties' vernoemd. De onderzoekers die betrokken waren in dit grootschalige Europese project geven aan dat leerlingen, onafhankelijk van hun cultuur of leeftijd en ongeacht wat ze deden op school, meestal veel ideeën hebben over de verschijnselen die ze zelf ervaren of tegenkomen in hun omgeving. Het is belangrijk om vertrouwd te zijn met deze ideeën omdat dit je als leraar helpt om hun manier van redeneren te kennen, omdat je van hieruit verdere vragen kunt stellen en omdat je kunt nagaan of de leerlingen de concepten die in de les aan bod kwamen wel hebben begrepen.

Er bestaan verschillende manieren om preconcepties van kinderen en jongeren te weten te komen en hun actief denken te stimuleren. Enkele voorbeelden zijn het gebruik van conceptcartoons, het gebruik van poppen... (zie Hoe? 3.10. Praktische voorwaarden: leermiddelen)

Een andere manier om voorkennis te activeren is het doen van voorspellingen. Op basis van voorkennis kan aan leerlingen gevraagd worden om voorspellingen te doen over wat zal gebeuren tijdens een demonstratie, wat ze zullen vinden wanneer ze naar informatie zoeken, of wat het resultaat van een experiment zal zijn. Ze kunnen individuele voorspellingen maken, deze delen met een groep, redenen voor hun voorspellingen bespreken en, indien ze ideeën uitwisselen, zelfs tot een consensus komen van wat zal gebeuren. Ook leraren kunnen een voorspelling maken, ze kunnen daarbij luidop denken om aan te geven op welke gegevens ze zich baseren om te bepalen wat zal gebeuren¹⁷⁵.

Volgens Fisher¹⁷⁴ is het zelfs zo dat het uitdagen van leerlingen tot het maken van voorspellingen, het grootste verschil is tussen onderzoeksexperimenten en standaard biologie experimenten. Hij¹⁷⁴ geeft verder aan dat voorspellingen van leerlingen vereisen dat ze een mentaal model maken van een gebeurtenis, dat ze een simulatie uitvoeren en zichzelf inzetten om tot een verwacht resultaat te komen. Video's van groepen leerlingen tonen aan dat de meest interessante discussies plaatsvinden als leerlingen voorspellingen maken over een gebeurtenis en ze achteraf hun voorspellingen vergelijken met het resultaat. Wanneer hun observaties verschillend zijn van hun voorspellingen, zullen leerlingen makkelijk veronderstellen dat ze het experiment verkeerd uitgevoerd hebben. Ze staan er niet bij stil om hun meningen of opvattingen in vraag te stellen. Pas wanneer ze inzien dat alle groepen hetzelfde hebben geobserveerd, zullen ze vragen beginnen stellen bij hun mentale modellen en voorspellingen. Veel leraren gebruiken opzettelijk abnormale en onverwachte gebeurtenissen om gekende misconcepties aan te vechten en leerlingen de dingen op een nieuwe manier te laten zien.

Motivatatie van de leerling

Dit aspect refereert naar de persoonlijke investering van de leerling in het leerproces. Een onderzoekende aanpak die de persoonlijke motivatie vooropstelt, zal de nieuwsgierigheid, het enthousiasme en de concentratie van de leerling stimuleren en erop verder bouwen¹⁷¹.

3.2.4. Integratie van ICT in een onderzoekende aanpak

Volgens Windschitl²⁸³ werden en worden in wetenschap computers nog steeds gebruikt om feiten aan te brengen, als hulp bij het vinden en verwerken van informatie, om het oplossen van problemen te vergemakkelijken en om conceptuele verandering te stimuleren. Het handelsmerk van wetenschappelijk leren is echter, volgens Windschitl, open onderzoek waarbij leerlingen onafhankelijk onderzoek kunnen uitvoeren. In zijn overzichtsartikel bewijst hij dat verschillende soorten software een rijke leeromgeving kunnen creëren voor jonge kinderen (tien tot elf jaar) met als doel het voeren van onderzoek. Hij geeft aan dat zelfs de jongste leerlingen kunnen betrokken worden in onderzoek en dat speciale software de onderzoeksvaardigheden van klassen kan stimuleren. Daarnaast onderschrijft hij dat deze software een hulp kan zijn bij het vinden van patronen in data, het uitvoeren van systematisch onderzoek en het creëren van levendige modellen van natuurlijke fenomenen.

Dit wordt eveneens onderbouwd door Zhang et al.²⁸⁸, maar zij gaan nog een stap verder door aan te geven dat de komst van mobiele technologieën het onderwijs ertoe aanzet om na te denken over hoe leerlingen, door middel van deze hulpmiddelen van de 21^{ste} eeuw, beter wetenschap kunnen leren. Volgens hen kunnen conventionele didactische materialen (handboeken en dergelijke) leerlingen niet voorbereiden om op een onderzoekende manier te leren of om sociale en zelfgestuurde leerlingen te worden die overal en op gelijk welk moment kunnen leren.

De pleidooien van Windschitl en Zhang voor de integratie van ICT en digitale media in een onderzoekende aanpak, stofferen we hieronder met een aantal voorbeelden. In deze review zijn nog andere voorbeelden te vinden van ICT integratie in STEM-onderwijs. Een overzicht vind je onder: Hoe? 3.10. Praktische voorwaarden: leermiddelen, tijd, locatie.'

Mobiel leren gecombineerd met 5E Leer Cyclus in het lager onderwijs¹⁵²

In deze studie wordt het gebruik van digitale tabletten (mobiele technologie) geïntegreerd in een bestaande onderzoeks aanpak, namelijk de 5E leercyclus (zie 3.2.3). Uit de studie blijkt dat deze integratie ervoor zorgt dat onderzoek niet enkel in de school kan gebeuren maar ook in de omgeving buiten de school, of via een combinatie van beide. De leerlingen uit het vierde leerjaar die meewerkten aan de studie gaven de voorkeur aan deze manier van werken omdat ze observatie, onderzoek en 'hands-on' activiteiten in de hand werkten.

Een mobiele en onderzoekende leerervaring voor leerlingen lager onderwijs²⁸⁸

In deze studie zijn drie lessen wetenschap omgevormd tot een curriculum waarin mobiele technologie is geïntegreerd. Dit mobiel gebaseerd curriculum is bovendien onderzoekend en collaboratief van aard. De leerlingen nemen deel aan verschillende activiteiten en maken verschillende artefacten. Er wordt gewerkt in groepen van vier of vijf. Ze dienen taken te volbrengen binnen een zekere tijdsspanne en op basis van instructies die ze via hun smartphone ontvingen. Elke leerling maakt ondertussen een breed scala aan documenten aan, die gekoppeld worden aan een specifieke eenheid in het curriculum, i.e. aan concept kaarten, tekstdocumenten, foto's en video's. Al het werk van de leerlingen wordt opgeslagen op de smartphones, mits een back-up op de GoManageserver.

De leraar wordt in deze omgeving gezien als facilitator. Uit de studie blijkt dat de leraar meer tijd kon besteden aan de leerlingen met leermoeilijkheden. Het gebruik van deze mobiele leeromgeving verhoogt eveneens de mogelijkheid om misconcepties van leerlingen te identificeren. Bijvoorbeeld in een les waar 'Sketchy' – een tekenprogramma – wordt gebruikt, tekent een leerling een spin zoals een insect met zes poten en een paar antennes.

Door gebruik te maken van deze mobiele omgeving formuleren de leerlingen hun eigen vragen en voelen ze zich minder geremd in het stellen van vragen. Sommige leerlingen exploreren nieuwe applicaties met als doel te leren. Algemeen kan gesteld worden dat de leerlingen meer betrokken en gemotiveerd zijn. De leerlingen doen het significant beter bij het wetenschapsexamen op het eind van het jaar.

Het WiMVT systeem²³⁵

Dit WiMVT systeem (web-based inquirer with modeling and visualization technology) is ontwikkeld voor het secundair onderwijs en omvat een web-gebaseerde leeromgeving op basis van een onderzoekende aanpak met integratie van modellerings- en visualisatie technologie.

Deze studie is een ontwerpstudie waarin het WiMVT systeem wordt ontwikkeld en het prototype ervan voor een eerste keer wordt uitgetest. Het systeem wordt ontworpen om leerlingen secundair onderwijs te helpen in het opbouwen van inzichten in wetenschappelijke concepten en het wetenschappelijke onderzoeksproces. Het wil bovendien leerlingen helpen om kritische leervaardigheden te ontwikkelen. Het is opgezet als ondersteuning van gezamenlijk onderzoek, 'real-time' sociale interactie, progressief modelleren en het voorziet op meerdere manieren 'scaffolding' voor de leerlingen. Gezien de beperkte evaluatie (test van het prototype bij een beperkte groep leerlingen) kan over de effectiviteit nog niet zoveel gezegd worden, maar het systeem heeft wel potentieel. De pilootstudie gebeurde rond onderwerpen van fysica, o.a. elektriciteit. Het merendeel van de leerlingen vond de activiteiten op de web-gebaseerde leeromgeving interessanter en boeiender dan wat ze eerder gewoon waren.

In het artikel wordt de volledige bouw van de web-gebaseerde leeromgeving gegeven en vind je op het einde richtlijnen over hoe ICT-ontwerpers de kloof tussen het ontwerp en de toepassing in de klas kunnen dichten.

InStep: ICT geïntegreerd in een onderzoekende aanpak voor leerlingen secundair onderwijs¹²⁸

In deze studie wordt onderzocht wat de effectiviteit is van een begeleide onderzoeks aanpak die ICT integreert, op de houding van meisjes tegenover wetenschap en op hun kennis over enkele wetenschappelijke concepten. Deze concepten zijn onder andere de lucht-/waterkwaliteit, alternatieve energie, de gezondheid van de mens. Vijfendertig leerlingen uit het tweede middelbaar namen deel aan een programma 'Groene aarde verbetert met onderzoek en technologie' van een week dat zich baseert op een onderzoekende aanpak en de integratie van ICT. Uit de studie blijkt dat na een week de houding van de leerlingen tegenover wetenschap en wetenschapsgerelateerde carrières is verbeterd en dat hun kennis over de geselecteerde wetenschappelijke concepten is verhoogd.

3.3. Simulaties en experimenten zijn ze effectief?

Lessen die een fysieke activiteit, een actieve leersituatie met concreet materiaal of een game inhouden⁹, worden door leerlingen doorgaans als 'fun' ervaren en behoren tot hun favoriete lessen. Tot deze populaire actieve methoden behoren experimenten en simulaties. Traditioneel worden deze twee methoden in wetenschapsonderwijs als plaatsvervangend ten aanzien van elkaar behandeld¹¹⁶. Dat hoeven ze niet te zijn, want een combinatie van beide is effectiever¹¹⁶. Experimenten en simulaties maken daarenboven vaak deel uit van een onderzoekende aanpak (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak).

In dit deel gaan we achtereenvolgens in op simulaties en experimenten. Gezien beide methoden sowieso reeds een hoog amusementsgehalte hebben en dus advies omtrent het toevoegen van een 'fun factor' overbodig maken, kijken we vooral met een kritische blik naar hun effect op leren.

3.3.1. Simulaties

Simulatie is een werkwijze die vooral binnen wetenschappen en wereldoriëntatie wordt gebruikt. Waarom? Wetenschappelijke concepten of ideeën kunnen heel abstract zijn. Meestal zijn deze concepten niet intuïtief. Om ze zinvol te maken voor kinderen is het nodig om duidelijke en bruikbare mentale modellen van deze concepten te maken. Er zijn een aantal strategieën die leraren kunnen gebruiken om wetenschappelijke concepten te visualiseren¹⁵⁸. Hiertoe behoren (zie tekstvak voor meer informatie en voorbeelden):

- ▶ Gebruik van analogieën
- ▶ Rol modellering
- ▶ Fysieke modellen
- ▶ Gebruik van informatiebronnen
- ▶ Elektronische simulaties

Bovenvermelde elektronische simulaties blijken vier grote voordelen⁴⁷ te hebben: 1) Ze stimuleren de motivatie en interesse van leerlingen voor leren; 2) Ze verkorten de tijd om data te verzamelen zodat leerlingen meer tijd kunnen spenderen aan het analyseren van data en het trekken van conclusies; 3) Het is mogelijk om experimenten uit te voeren die moeilijk haalbaar zijn in de concrete wereld; 4) Ze helpen om abstracte wetenschappelijke concepten te visualiseren.

Wanneer passen we simulaties toe? Wanneer het moeilijk is om een 'real-life' experiment op te zetten. Vaak zijn deze onderwerpen voor de meeste leerlingen saai en niet aantrekkelijk. Voorbeelden hiervan zijn onder andere 'kinetische energie', 'theoretische principes van elektriciteit' en 'overdracht en behoud van mechanische energie'. Een simulatieprogramma kan het leren over deze onderwerpen vergemakkelijken omdat het de betrokkenheid van de leerlingen vergroot. Immers, de houding van de leerlingen zal wijzigen, hun interesse neemt toe en ze nemen actief deel aan deze simulaties⁴⁷. Simulatieprogramma's worden echter best gecombineerd met 'hands-on' activiteiten¹¹⁶. Een combinatie van beide leidt tot betere leerwinsten dan wanneer ofwel simulatie ofwel 'hands-on' activiteiten worden gebruikt. Een simulatie kan leerlingen helpen bij het verstaan van theoretische principes. Om

echter tot conceptuele verandering te komen is het belangrijk om de intuïtieve concepten van leerlingen verder uit te dagen. Dit kan door uit te testen of de wetten en principes die ontdekt werden door simulatie, in werkelijkheid eveneens van toepassing zijn. Samenwerkend leren tijdens het werken met simulaties, kan het effect van het praktisch werk dat ze zelf deden verhogen⁴⁷.



Gebruik van analogieën

Wanneer we aan leerlingen vragen om zich elektriciteit voor te stellen dan kunnen ze elektriciteit vergelijken met water dat door een pijp stroomt. Op deze manier kunnen ze een abstract idee omzetten naar iets dat ze zich kunnen voorstellen en kunnen ze er over discussiëren. Toch heeft deze vergelijking zijn grenzen en moeten we deze analogie enkel binnen deze grenzen gebruiken. Ook kunnen analogieën misconcepten genereren. Een elektronenstroom heeft enkele vergelijkbare maar eveneens totaal verschillende eigenschappen van een waterstroom (vb. elektronen bewegen door een rooster van een lage naar een hoge potentiaal terwijl waterdruppels van een hoge naar een lage druk bewegen).

Rol modellering

Kinderen of leerlingen kunnen bijvoorbeeld deeltjes in vloeistoffen, vaste stoffen of gassen naspelen. Rollenspel is meestal gebaseerd op een analogie en heeft dus zijn beperkingen.

Fysische modellen

Fysische modellen kunnen leerlingen helpen om een concept te visualiseren en om te bespreken hoe het werkt. Fysische modellen zetten kinderen en leerlingen eveneens aan om hypothesen te formuleren over hoe elk onderdeel werkt, wat dus een vorm van onderzoek is. Dit kan bv. over het spijsverteringsstelsel en de verschillende onderdelen ervan gaan.

Gebruik van informatiebronnen

Hierbij willen we bemerken dat het niet altijd evident is om websites te vinden die afgestemd zijn op de leeftijd van de leerlingen. Het kan dus zijn dat te complexe informatiebronnen voor heel wat frustraties zorgen.

Elektronische simulaties

Dergelijke simulaties kunnen leerlingen helpen om erg wetenschappelijke concepten te onderzoeken, die moeilijk via 'hands-on' activiteiten kunnen gebeuren. Simulaties kunnen gevonden worden op het internet en kunnen (wat de meeste wetenschappelijke concepten betreft) eveneens verkregen worden op CD-ROM. Populaire modellen zijn de elektrische stroom, de verandering van toestand, kiemen, de fotosynthese en het zonnestelsel. We moeten ons echter bewust zijn van het feit dat leerlingen deze modellen anders kunnen interpreteren dan hoe we het ons als leraar voorstellen¹⁵⁸. Leerlingen moeten dan ook met elkaar en met de leraar spreken over deze simulaties.

3.3.2. Experimenten en “hands-on” activiteiten

Vooral binnen wetenschappen worden heel wat experimenten opgezet of uitgevoerd, er zijn echter eveneens voorbeelden te vinden voor de vakken wiskunde en techniek.

Leerlingen lager onderwijs verkiezen tijdens de les wetenschap ‘hands-on’ activiteiten boven niet ‘hands-on’ activiteiten⁹⁷. Een stijgende hoeveelheid praktisch en onderzoekend werk zorgt er immers voor dat leerlingen meer genieten van wetenschap⁹⁷. Experimenten spelen ook binnen fysica onderwijs een belangrijke rol in de motivering van leerlingen²⁴². Het gaat bovendien niet om complexe maar om eenvoudige experimenten. Dit gegeven kunnen we halen uit een bevraging van jongeren tussen veertien en vijftien jaar²⁴². Zij moesten aangeven wat hen het meest aanspreekt bij fysica. Dat blijken eenvoudige experimenten te zijn met volgende kenmerken: transparantie, verhoogde leerlingenactiviteit, makkelijk realiseerbaar, verhoogde creativiteit van de leerlingen en de leraren, lage kost, motiverend en gericht op het voorkomen en remediëren van misconcepties²⁴². Eenvoudige experimenten zijn zeker interessant omdat ze geen complexe en dure apparatuur vereisen en leerlingen in staat zijn om ze zowel in de klas als thuis uit te voeren. Leermiddelen die in deze eenvoudige experimenten kunnen gebruikt worden, zijn onder andere het eigen lichaam, speelgoed (zoals tollens), olie, verf, water en flessen. In principe gaat het hier om het leren kennen van materialen. Binnen de wetenschap is materiaalkennis tenslotte heel belangrijk voor zowel wetenschappers als ingenieurs. Leerlingen kunnen eveneens genieten van de kans die ze krijgen om zelfstandig materialen¹⁷⁴ te verkennen en om tot eigen onderzoek te komen, dit alles op een vrij in te vullen manier. In sommige klassen lager onderwijs wordt dan ook tijd voorzien, ongeveer twintig tot dertig minuten, om leerlingen dit te laten doen.

Praktische ‘hands-on’ activiteiten met materialen, waarin wordt geëxperimenteerd met hoeveelheden en mentale methoden, zijn de beste wiskundige start voor kinderen¹⁸⁵. Daarnaast moeten er heel wat mogelijkheden zijn om een wiskundige taal te ontwikkelen, zodat leerlingen leren om hun denken te uiten via de juiste terminologie.

In het deel ‘Leermiddelen die ingezet worden bij experimenten of onderzoeken’ (zie 3.10.1) gaan we specifiek in op materialen die bij experimenten worden gebruikt en omschrijven we een aantal experimenten uit verschillende domeinen.

Kanttekeningen bij het uitvoeren van experimenten of “hands-on” activiteiten

Zo blijkt uit een studie van Logar en Savec¹⁵⁴ dat de kennis die leerlingen verkregen via een demonstratie van de leraar beter is dan de kennis die leerlingen verkrijgen door ‘hands-on’ experimenteel werk. Ook het kennisbehoud na een demonstratie blijkt hoger. Toch geven de meeste leerlingen er de voorkeur aan om zelf experimenten uit te voeren boven een demonstratie van een leraar te observeren. Daarnaast blijkt uit de resultaten van het interview dat er een duidelijke link is tussen het experimenteel werk van leerlingen en hun interesse voor chemie. Logar en Savec¹⁵⁴ spreken zich om die reden positief uit over een combinatie van demonstratie en leerlingenexperimenten. Logar en Savec geven daarbij nog aan dat het kleinere effect van de leerlingenexperimenten het gevolg kan zijn van het gelijktijdig uitvoeren van meerdere taken zoals het volgen van de instructie van de leraar, het toepassen van experimenteervaardigheden en het hanteren van materialen en toestellen.

Volgens Abell¹⁷⁴ zouden aanpakken die berusten op het uitvoeren van activiteiten leerlingen wel betrekken in activiteiten, maar hen weinig kansen bieden om conceptuele inzichten te ontwikkelen. Een pleidooi kan dan wellicht gedaan worden voor een meer begeleide onderzoekende aanpak, waarin aandacht is voor meer dan alleen praktisch werk (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak).

Praktisch werk blijkt echter om nog meer redenen niet altijd effectief¹⁷⁵. Veel leraren en leerlingen zijn onzeker over de doelen en objectieven van praktisch werk in wetenschapslessen. We moeten als leraar duidelijk zijn over de redenen voor het uitvoeren van praktische taken. Er is immers een verschil in wetenschap leren verstaan en een wetenschappelijke activiteit uitvoeren, zoals blijkt uit de eerder vermelde studie van Logar en Savac¹⁵⁴. Een andere reden is de 'overload' aan informatie die leerlingen krijgen bij een experiment. Verder is het zo dat preconcepties of denkbeelden die leerlingen hebben, bepalen wat ze willen zien tijdens een praktische activiteit. Het vergt tijd voor leerlingen om hun originele ideeën te laten voor wat ze zijn. Deze ideeën zijn immers ontstaan door verschillende ervaringen die leerlingen opdoen buiten de klas. Eén klasexperiment zal niet doorwegen op deze jarenlange ervaringen. Leerlingen hebben nood aan verschillende praktische ervaringen en discussies vooraleer ze hun eigen ideeën zullen in vraag stellen en veranderen²⁸⁴.

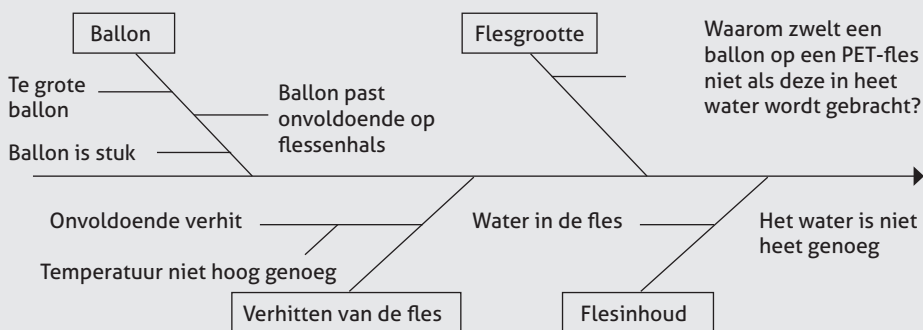
Experimenten lukken weliswaar niet steeds, maar het zijn wel net deze 'mislukkingen' die aanleiding kunnen geven tot bijkomend probleemoplossend werken. Als leraar moet je dan wel met de mislukkingen verdergaan om eveneens deze experimenten te laten renderen. Interessant is vooral een gecombineerde aanpak die bestaat uit vijf stappen; de 'waarom' methode gekoppeld aan het 'visgraat diagram'¹⁵⁹. Deze aanpak helpt leerlingen om de oorzaken van problemen te vinden. De stappen zijn: 1) De leerlingen zijn het eens over het probleem of het ongewenste resultaat en schrijven dit op aan de rechterkant van een papier en ze tekenen een graat van de linker- naar de rechterkant; 2) De groep leerlingen kan gegevens bijeenprokkelen en dan brainstormen over mogelijke oorzaken en deze worden vervolgens ingevuld op de zijvertakkingen van de graat; 3) Bij elke geformuleerde oorzaak blijft men doorvragen 'Waarom?' en 'Waarom anders?', tot een potentiële oorzaak is geïdentificeerd; 4) De logica achter de ketting van oorzaken wordt nagekeken en men gaat na of de antwoorden op de waaromvragen aanvaardbaar zijn; 5) De leerlingen genereren een oplossingsstrategie en noteren deze aan de rechterkant onder het probleem.

Het is belangrijk op te merken dat deze strategie kan toegepast worden bij heel wat experimenten en bijkomende problemen. Echter, als de problemen te complex zijn en er teveel mogelijke oorzaken voor het probleem zijn, dan is het niet interessant om deze techniek toe te passen. De leerlingen kunnen immers afgeleid worden van de focus van het experiment.

Een voorbeeld, uit het onderdeel 'De invloed van hitte op materialen'¹⁵⁹.

Leerlingen uit het vijfde leerjaar observeren, tijdens een demonstratieproef, wat er gebeurt met een ballon op een PET-fles die ondergedompeld wordt in heet water. De ballon op de fles zou moeten zwellen bij onderdompeling. De ballon zwelt echter niet. Dit heeft als gevolg dat de leraar de leerlingen aanzet tot het formuleren van het probleem: 'Waarom zwelt een ballon op een PET-fles niet als deze in heet water wordt gebracht?'

Hieronder zie je een voorbeeld van een visgraatdiagram opgesteld onder begeleiding van de leraar¹⁵⁹



3.4. Hoe het technisch proces en ontwerpproces vorm geven?

Verbeelding is het begin van creatie. Je verbeeldt wat je verlangt, je wilt wat je verbeeldt en tot slot creëer je wat je wilt. – George Bernard Shaw

Uit de eindtermen blijkt duidelijk dat techniek zeker geen 'knutselen' in de klas betekent¹⁴⁰. In de basisschool moeten de leerlingen volgens de leergebiedoverschrijdende eindtermen kunnen "illustreeren dat techniek en samenleving elkaar beïnvloeden" en "aan de hand van voorbeelden ... illustreren dat technische systemen nuttig, gevaarlijk en/of schadelijk kunnen zijn voor henzelf, voor anderen of voor natuur en milieu." In de tweede graad secundair onderwijs moeten leerlingen "de effecten van techniek op mens en samenleving kunnen illustreren en in een historisch perspectief plaatsen (zoals comfort,

design, milieu, consumentisme...)"²⁶⁵ (p.24). De invloed van techniek op de maatschappij en haar rol in de vraagstukken omtrent duurzaamheid maken dus integraal deel uit van het vak techniek¹⁵⁸ (zie Hoe? 3.6. Vragen stellen, dialoog, discussie en debat): één derde van de eindtermen houdt verband met techniek en maatschappij.

Techniekonderwijs kan dus breed ingevuld worden. In dit hoofdstuk zullen we echter focussen op drie deelaspecten: het technisch en ontwerpproces, projectonderwijs en ontwerpgebaseerde wetenschap.

3.4.1. Het technisch proces en het ontwerpproces

Volgens de eindtermen techniek bestaat het technisch proces uit vijf stappen: omschrijven van een probleem, ontwerpen, maken, in gebruik nemen en evalueren. In de recente literatuur vinden we aanvullingen op dit proces, die we in dit hoofdstuk verder zullen uitdiepen: iteratief te werk gaan, onderzoeken²⁶, herontwerpen (redesign)¹⁸⁴, teamwerk^{25, 26} en communiceren van de resultaten^{26, 163}.

Het is van belang het technisch **ontwerpproces** voor te stellen zoals het in de realiteit gebeurt: dit is levensecht techniekonderwijs. Het ideale proces wordt in handleidingen vaak voorgesteld als een lineair of cyclisch proces²¹⁹, hoewel er in de literatuur vrijwel geen bewijs te vinden is dat aantoonde dat deskundigen op deze lineaire manier werken²¹⁹. Wanneer van leerlingen geëist wordt om een voorgeschreven, lineair model te volgen, dan zullen zij de aanpak van leraar volgen om te voldoen aan de evaluatie-eisen. Echter door het precies opvolgen van de lineaire ontwerpcyclus worden vaak de vooropgezette doelen niet bereikt¹⁶³. Het technisch proces is in realiteit eerder een **iteratief proces**¹⁶³, dat wil zeggen dat er dikwijls bepaalde stappen hernomen moeten worden om tot een optimaal resultaat te komen¹⁶³.

Leerlingen leren techniek het best door het te doen. Tijdens deze actieve participatie verandert en ontwikkelt het denken van de leerling voortdurend. Hij krijgt nieuwe inzichten die een ander licht kunnen werpen op eerdere stappen in het ontwerpproces. Hierdoor sluit het lineaire proces niet noodzakelijk aan bij het individuele leerpad van de leerling en moet het niet aangehouden worden als leerstrategie²¹⁹. De voortdurende interactie tussen hand en hoofd sluit aan bij het APU-model ('The Assessment of Performance Unit Design and Technology Project'): denken en doen wisselen elkaar sterk af. Bovendien maken zelfreflectie en peer-evaluatie onlosmakelijk deel uit van het ontwerpproces¹³¹ (zie Hoe? 3.8. Evalueren en Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren).

De mogelijke fasen in het technisch ontwerpproces volgens Gamire en Pearson⁸⁶ worden hieronder weergegeven. In het tekstvak wordt het iteratief karakter van het proces schematisch weergegeven⁸⁶:

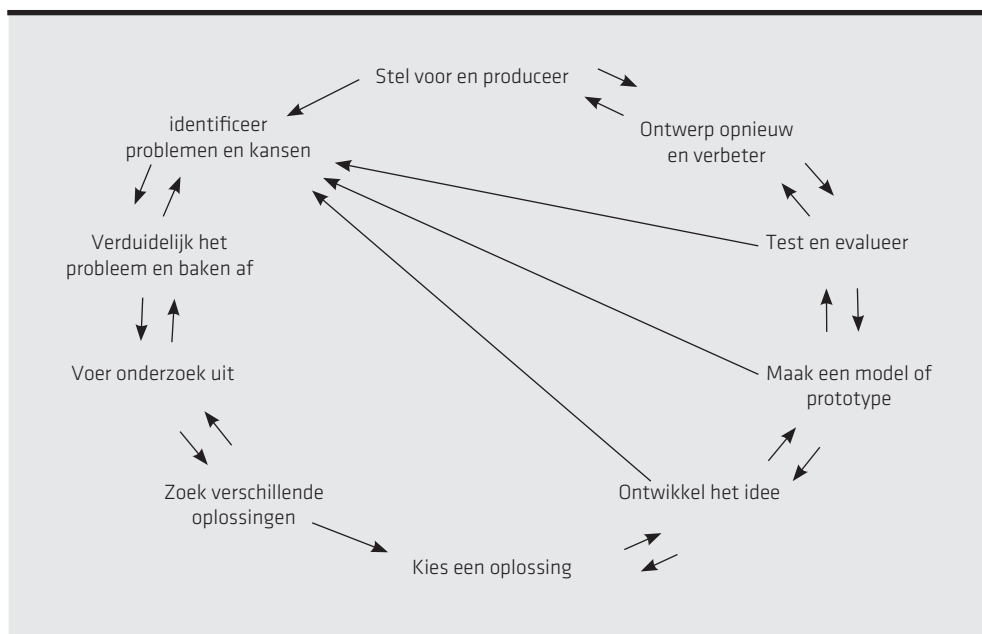
1. Definieer het probleem: Een probleem stelt zich altijd in een bepaalde context, de context zal er toe leiden dat enkel bepaalde oplossingen voldoen en andere niet⁸⁶. De leerlingen moeten tijdens het ontwerpproces een gevoel van eigenaarschap en controle hebben. Een manier om leerlingen dit eigenaarschap te laten verwerven is door ze zelf de behoeftevraag te laten formuleren²⁵.

2. Identificeer beperkingen en eisen: Wat zijn de eisen en criteria waaraan het ontwerp moet voldoen⁸⁶? Daarbij kan ook gedacht worden aan ethische, duurzame en sociale criteria¹⁰⁷.
3. Voer relevant onderzoek uit (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak)⁸⁶. Om een goed ontwerp te maken kan het nuttig zijn dat de leerlingen bepaalde wetenschappelijke inzichten verwerven (bv. kennis over stroomkringen om een zaklamp te maken; eigenschappen van materialen om een regenhoed, winterjas of rugzak te maken)¹⁵⁸.
4. Zoek ideeën (zie Hoe? 3.7. Creatief denken)⁸⁶.
5. Analyseer de verschillende voorstellen (zie Hoe? 3.7. Creatief denken en kritisch denken).⁸⁶
6. Identificeer een mogelijke oplossing⁸⁶.
7. Onderzoek de mogelijke oplossing in detail.⁸⁶
8. Ontwerp de mogelijke oplossing.⁸⁶
9. Construeer een prototype.⁸⁶
10. Evalueer het prototype aan de vooropgestelde eisen.⁸⁶
11. Herhaal (een deel van) het proces indien nodig.⁸⁶
12. Vereenvoudig de oplossing indien mogelijk.⁸⁶

Om didactische en praktische redenen kan het ontwerpproces eventueel ook beperkt worden tot vijf stappen: 1) Wat gaan we ontwerpen?; 2) Programma van eisen; 3) Oplossingen zoeken en ontwerpen; 4) Prototype maken en 5) Prototype testen, verbeteren en toetsen aan de criteria.

Het ontwerpproces is dus bij uitstek een **creatief proces** (zie Hoe? 3.7. Creatief denken)²⁵. Naast het zelf formuleren van de behoeftevraag²⁵, moeten leerlingen ook tijdens het ontwerpproces de kans krijgen om authentieke keuzes te maken. Dit betekent dat de inhoud van de lessen niet altijd vooraf kan vastliggen²⁵. Om de creativiteit te stimuleren mag praktisch werk tijdens het technisch proces niet ontbreken. Dat houdt in dat leerlingen voldoende tijd en materiaal ter beschikking moeten krijgen om hun ideeën te realiseren.

Tijdens de **evaluatiefase** presenteren de leerlingen het resultaat. De evaluatie richt zich niet enkel op het product, maar ook op het ontwerp- en maakproces¹⁶³. Deze evaluatie kan door de leerlingen zelf, hun medeleerlingen en/of de leraar gebeuren (zie Hoe? 3.8. Evalueren). Het product wordt daarbij getoetst aan de vooropgestelde criteria en eisen. Vaak wordt de evaluatiefase gezien als het einde van het ontwerpproces. Toch blijkt uit onderzoek dat het waardevol is om leerlingen de kans te geven om hun ontwerp aan te passen zodat het voldoet aan alle eisen. Bovendien blijkt dit motiverend te werken. Het evaluatieproces biedt dus bij voorkeur de kans aan leerlingen om hun ontwerpproces te optimaliseren (**redesign**). Alleen dan zal het potentieel van de leerlingen volledig kunnen worden gerealiseerd¹⁸⁴. Dit vraagt vanzelfsprekend tijd, maar de onderzoekers geven aan dat deze extra tijd geen verspilde tijd is, omdat ze net door deze kans tot meer fundamentele inzichten komen.¹⁸⁴



Het ontwerpproces als iteratief proces (figuur aangepast van Gamire en Pearson⁶⁶)

Groepswork en teamwork maken een essentieel deel uit van het technisch proces waarin "een hoog niveau van collectieve prestatie wenselijker is dan individuele perfectie"²⁶. Daarbij is het belangrijk dat leerlingen inzien dat het nuttig is om met anderen te interageren²⁵. Tijdens het ontwerp- en maakproces kunnen leerlingen regelmatig terugkoppelen naar elkaar en leren ze van elkaar of van de leraar die vaardigheden die ze nodig hebben¹⁶³. De taak van de leraar bestaat erin een rolmodel te zijn in het omgaan met techniek en de leeromgeving te organiseren. De leraar werkt als een katalysator door nuttige, kritische maar opbouwende opmerkingen te geven bij het werk van de leerlingen¹⁶³.

In **techniekonderwijs** zijn een aantal attitudes onmisbaar. Als leraar is het dan ook belangrijk dat je deze attitudes bij de leerlingen zoveel mogelijk aanmoedigt en bevestigt: 1) Er zijn meerdere juiste antwoorden/ontwerpen; 2) Ik ben creatief; 3) Ik heb de nodige kennis of ik weet waar ik ze kan vinden; 4) Ik ben niet bang om te falen en falen mag, het maakt immers deel uit van het ontwerpproces; 5) Ik werk beter in groep dan alleen; 6) Ik ben niet te snel tevreden met mijn antwoord en zoek naar meerdere opties²⁷⁴. Het technisch proces moet dus plaatsvinden in een positieve, ondersteunende klasomgeving. Immers, wanneer je een echt uniek ontwerpidee hebt, dan word je plots een minderheid van één persoon. Voor een adolescent of een kind kan dit angstaanjagend zijn. Peer pressure kan er dan voor zorgen dat een leerling zijn ideeën niet durft te uiten²⁷⁴. Het zelfvertrouwen om te exploreren, te onderzoeken en risico's te durven nemen is dus belangrijk. Uit onderzoek blijkt dat leerlingen 'fun' niet als het belangrijkste aspect van techniekonderwijs zien, maar dat ze '**persoonlijke voldoening**' belangrijker achten. Dit lijkt erop te wijzen dat kinderen niet noodzakelijk plezier willen maken in de les, maar dat ze het belangrijker vinden om een gevoel van voldoening en vervulling te hebben bij wat ze doen³⁸.

3.4.2. Projectonderwijs

Het doel van het technisch proces is problemen oplossen door het ontwerpen en creëren van succesvolle producten, systemen en omgevingen die voldoen aan specifieke behoeften. Techniek kan dus niet bestaan zonder context. Dit creëert de ideale setting voor projectonderwijs. Projectonderwijs is immers maatschappelijk relevant en vindt plaats in een authentieke context. Coöperatief leren en probleemgestuurd werken staan er centraal¹⁰⁷. Tijdens de uitvoering van het project ervaren leerlingen automatisch het iteratief karakter van het technisch proces¹⁰⁷.



Twee Canadese voorbeelden van projectonderwijs in het eerste leerjaar én in de tweede graad secundair onderwijs:

1ste leerjaar: poppenspel. De leerlingen schrijven samen een scenario voor een poppenspel. De poppen laten ze bewegen door gebruik te maken van hydraulische principes: door middel van plastic buizen en spuitjes laten de kinderen de ledematen van de poppen bewegen. Andere leerlingen filmen het poppenspel. Op het einde reflecteren de kinderen over wat ze gedaan hebben en hoe alles anders zou verlopen zou zijn indien ze dit materiaal niet hadden. Hoe zouden ze het anders opgelost hebben?

2e graad secundair onderwijs: In een school in Ontario (V.S.) wordt er door de leraren en leerlingen een lijst opgesteld van maatschappelijke noden die leven in de gemeenschap rond de school. Daaruit kunnen de leerlingen een project kiezen. Een groep meisjes koos een project in een bejaardentehuis. Samen met het personeel wordt gezocht naar de behoeften die er zijn. In dit project werden er twee geselecteerd. Een eerste probleem was het verplaatsen van nat wasgoed. Dit leidde tot rugklachten bij het personeel. De meisjes moesten dus op zoek gaan naar een manier om het natte wasgoed te transporteren op een comfortabele manier. Een tweede vraag kwam van de rolstoelgebruikers in het bejaardentehuis. Zij hadden nood aan een tuintafel die zij konden gebruiken om planten te zaaien en te verpotten. In het artikel wordt uitgebreid beschreven welke stappen de leerlingen ondernamen om hun ontwerp te maken en te verfijnen en tot een afgewerkt product te komen. De leerlingen zijn zeer betrokken bij hun project en zien de zin er van in: "Het is voordelig voor ons beide. Zij (de gemeenschap) krijgen iets dat ze kunnen gebruiken en dat ze nodig hebben, en wij (de leerlingen) doen ervaring op met het te maken, en er een volledig semester aan te werken."¹⁰⁷

3.4.3. Ontwerp-gebaseerde wetenschap

In realiteit is het zo dat wetenschap niet zonder techniek kan en vice versa. Het opbouwen van een succesvol wetenschappelijk experiment, zoals bv. het CERN, vraagt een intense samenwerking tussen wetenschappers en technici, net zoals ook bouwwerken niet mogelijk zijn zonder een wetenschappelijke achtergrond over krachten en materialen. Daarom is 'design-based science' of 'ontwerp-gebaseerde wetenschap' een logische stap in het onderwijs: de natuurlijke samenhang tussen wetenschap en techniek wordt geïntegreerd toegepast. Deze aanpak is zowel in de basisschool als in het secundair onderwijs toepasbaar²⁷⁸

In 'design-based science' wordt de ontwerp-vraag zo geformuleerd dat zowel wetenschappelijke kennis als praktische ervaring belangrijk zijn om tot een succesvol ontwerp te komen^{158, 278}.

Leerlingen voeren wetenschappelijk onderzoek uit om hun kennis uit te breiden, i.e. kennis die ze nodig hebben om tot een succesvol ontwerp te komen. Naarmate ze naar oplossingen voor de ontwerpbehoefte zoeken, verhogen ze hun kennis van wetenschappelijke concepten²⁷⁸. Op deze manier wordt wetenschappelijk onderzoek in het ontwerpproces geïntegreerd. In principe gaat het hier om een verregaande integratie van stap 3 (voer relevant onderzoek uit) in het ontwerpproces. Een voorbeeld verduidelijkt het doel van deze aanpak²⁷⁸ (zie tekstvak).



Ontwerp-gebaseerde wetenschap²⁷⁸

In een derde leerjaar basisonderwijs gaan de leerlingen een modelhuis ontwerpen. De uitdaging is een miniatuurhuis (schaalmodel) te maken dat stabiel, geluiddicht en thermisch geïsoleerd is. In zes lessen gaan de kinderen, begeleid door hun leraar en met behulp van hun logboeken (de zogenaamde Ingenieursschriften), een reeks van technische tests uitvoeren om materialen te identificeren die aan de ontwerp-eisen voldoen. Zij maken gebruik van gewichten, geluidsensoren en temperatuursensoren om hun materialen te testen. Met LEGO® bouwen ze de basis en het geraamte van het huis. Terwijl de leerlingen de materialen testen en met een prototype starten wordt hen gevraagd om wetenschappelijk argumenten te zoeken waarom ze een bepaald materiaal op een bepaalde plaats in het huis gebruiken. Ze worden aangemoedigd om eigenschappen zoals sterkte, geluidsisolatie en warmte-isolatie in overweging te nemen. De ingenieursschriften helpen bij dit proces. Door deze schriftjes worden ze ertoe aangezet om hun experimenten en waarnemingen te noteren en er over te reflecteren. Tijdens de laatste twee lessen gebruiken de leerlingen hun verworven kennis om het ontwerp en de bouw van hun miniatuurhuis te voltooien. Uit dit beperkt onderzoek bleek dat het grondig bijhouden van het ingenieursschriftje van groot belang is voor het leerrendement dat de leerlingen behalen op het einde van de lessenreeks.

Besluit

Techniek geeft leerlingen de mogelijkheid om hun kennis en vaardigheden toe te passen in een ruime en levensechte context. Door middel van het ontwerpproces wordt niet alleen hun creativiteit en kritisch denkvermogen aangesproken, maar techniekonderwijs in het algemeen creëert ook kansen om hen te laten evolueren naar geëngageerde burgers, die zelfredzaam zijn in een steeds veranderende maatschappij. Goed techniekonderwijs zou erop gericht moeten zijn om deze kwaliteiten in de leerling te versterken door middel van aangepaste werkvormen en opdrachten.

3.5. Samenwerkend leren of niet? Hoe organiseer je het?

Als ik verder heb gezien dan anderen, komt dat doordat ik op de schouders van reuzen stond.
Isaac Newton

Er valt heel wat te zeggen over samenwerkend leren binnen STEM (i.e. wetenschap, techniek, engineering en wiskunde). Tal van bronnen^{78, 81, 135, 157, 216, 225} spreken zich ronduit positief uit over deze vorm van leren. Een aantal auteurs^{92, 103, 274, 284} hebben het zelfs over "Wetenschap en ontwerp (techniek) als coöperatieve onderneming". Het is ook zo dat samenwerkend leren vaak in één adem wordt genoemd met onderzoekende en probleemoplossende aanpakken¹⁷⁴ (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak en Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken). Deze aanpakken zijn inderdaad gebaseerd op leertheorieën waarin het sociale karakter van leren wordt benadrukt. Of zoals ten Dam en Volman²³⁷ (p.1) het schrijven: "Leren is geen zuiver individuele aangelegenheid, maar heeft een sociaal fundament: kennis ontwikkelt zich en krijgt betekenis in interactie met anderen".

Toch ga je best niet over één nacht ijs, want er zijn een aantal voorwaarden gekoppeld aan het toepassen van samenwerkend leren in je klas. Er bestaan ook verschillende vormen en methodes die afwisselend kunnen toegepast worden. De meeste van deze methodes zijn te vinden in de internationale literatuur, maar zijn in het Nederlandstalige gebied nog minder bekend. In wat volgt, gaan we eerst in op wat we onder samenwerkend leren verstaan, daarna zoomen we in op het effect ervan, om vervolgens aan te geven hoe je samenwerkend leren bij voorkeur organiseert.

3.5.1. Samenwerkend leren: wat verstaan we eronder?

Alvorens we dieper ingaan op hoe je samenwerkend leren het best organiseert, is het belangrijk om eerst even stil te staan bij wat we verstaan onder samenwerkend leren. Deze term blijkt, net zoals vele andere termen die in deze review aan bod komen, niet zo eenduidig te definiëren te zijn. In de literatuur vinden we niet alleen de term 'samenwerkend leren' terug, maar eveneens de termen 'coöperatief' en 'collaboratief leren'. Volgens ten Dam en Volman²³⁷ worden deze termen meer en meer door elkaar gebruikt.

Volgens Cohen⁴⁹ kan over samenwerkend leren gesproken worden als leerlingen in kleine groepen samenwerken aan de uitvoering van een gemeenschappelijke gestelde leer- of probleemtaak. Ze stelt hierbij als voorwaarde voorop dat de groepen zo klein moeten zijn, dat in principe elke leerling kan participeren en invloed kan uitoefenen op de uitvoering van de taak. Kanselaar et al.¹²¹ vinden dit echter een te beperkte omschrijving, omdat bijvoorbeeld de samenwerking door middel van een interactief computerprogramma uitgesloten wordt. Precies omdat er ook nieuwe vormen van leren zoals mobiel leren en 'blended' leren bestaan, moet samenwerkend leren breder worden omschreven. Ze stellen zich ook de vraag¹²¹ (p.77) welke vormen van groepswork bij Cohen precies worden bedoeld: "Passen leerlingen die elkaar overhoren of een spreek- en luisteroefening doen binnen haar omschrijving? Rekent Cohen werkvormen die gebaseerd zijn op onderlinge hulp en taakverdeling zoals 'peer tutoring' of 'reciprocal teaching' tot coöperatief leren?" Op basis van hun kritische kijk op de definitie van Cohen komen ze zelf tot volgende definitie (p.78): "Coöperatief leren omvat die (onderwijs)leersituaties waarin de lerende in interactie met één of meer actoren, in de situatie onder gedeelde verantwoordelijkheid, een leer- of probleemtaak uitvoert met een gemeenschappelijk doel of product dat door iedere deelnemer wordt nagestreefd". Deze definitie is vrij ruim en omvat eveneens vormen die niet 'face-to-face' (i.e. niet gebonden aan tijd en plaats) zijn. Ze omvat alle interacties tussen actoren waarbij de betrokken actoren samenwerken aan een gemeenschappelijk doel. Dit kan dus peer tutoring²⁴⁰ zijn, maar eveneens een interactie tussen leerling en leraar.

In deze review zullen we echter niet allesomvattend te werk gaan, maar gaan we specifiek in op enkele vormen en methodes van samenwerkend leren die voor de STEM-vakken interessant zijn.

3.5.2. Samenwerkend leren: waarom zou je het doen?

Naar samenwerkend leren is reeds uitvoerig onderzoek gedaan, ook binnen vakken zoals wiskunde^{78, 135, 207, 225}, wetenschap¹⁵⁷ en techniek^{103, 274}. Op basis van verschillende bronnen^{78, 119, 157, 225, 237} stellen we vast dat de leerresultaten van leerlingen bij samenwerkend leren even goed of beter zijn dan bij individueel leren. Dit blijkt te gelden voor verschillende leeftijden, vakinhouden en soorten taken, van betrekkelijk eenvoudige geheugentaken tot meer complexe probleemoplossingstaken. Leerlingen die met elkaar samenwerken, lijken vooral leerwinst te boeken op het metacognitieve vlak^{92, 216, 237, 294}, wat dus voor wetenschappelijke vakken heel interessant en belangrijk is. Samenwerken blijkt tevens een gunstige invloed te hebben op de motivatie, de betrokkenheid, het zelfvertrouwen en de onderlinge relaties tussen de leerlingen^{109, 120, 157, 208, 216, 237}. Toch zijn er kritische noten te horen en spreken niet alle onderzoekers zich positief uit over samenwerkend leren. Dit heeft enerzijds te maken met de manier waarop metingen in de studies zijn gebeurd, en anderzijds met de manier waarop het samenwerkend leren werd georganiseerd in de studie²³⁷ en dus met de rol van de leraar in het geheel²⁷⁷.

Laat ons eerst even dieper ingaan op de leerwinst van samenwerkend leren bij STEM-vakken. Samenwerkend leren biedt de mogelijkheid om wetenschappelijke concepten^{183, 216} alsook wiskundige en technische problemen^{103, 207} expliciet te bespreken met medeleerlingen, om vragen te stellen¹⁵⁷ en tot oplossingen te komen¹⁰³. Terwijl leerlingen concepten bespreken met hun teamgenoten, zal hun inzicht in de materie zich aanpassen. Bijvoorbeeld, als hetgeen besproken wordt niet overeen-

komt met het inzicht dat de leerling erover heeft, zal hij of zij dit voor zichzelf trachten te herbekijken. Misconcepties die op zo'n manier gecorrigeerd worden, zullen tot duurzame inzichten leiden¹⁵⁷. Weliswaar is het begrijpen van en inzicht verwerven in concepten een cognitief en individueel proces, toch kunnen sociale factoren het bewustzijn van eigen ideeën en overtuigingen bevorderen en leiden tot het herkennen van een mogelijk conflict (verschil en gelijkenis tussen eigen inzichten en nieuwe informatie), wat vervolgens een wijziging in opvatting bewerkstelligt¹⁵⁰.

Groepen leerlingen hebben meer kennis dan individuen²¹⁶. Dit is in de exacte wetenschappelijke vakken een belangrijk gegeven. Wanneer bijvoorbeeld de leraar biologie een vraag stelt, dan zal bij samenwerkend leren de aandacht naar de groep gaan en niet naar het individu¹⁵⁷. De groep zal een antwoord of product in de klas naar voor brengen, dat echter wel eerst besproken werd met de verschillende leden van de groep. Dit vermindert het vooruitzicht op fouten. Maar zelfs al is een correctie door de leraar noodzakelijk, deze correctie zal eerder gezien worden als interessant voor het leren van de groep, dan als een persoonlijke vernedering voor de hele klas met angst en stress tot gevolg. Dit laatste gebeurt, zeker in wetenschappelijke vakken, vaak als slechts één individu wordt aangesproken^{109, 157}. Wanneer groepswork een evidentie wordt, dan wordt de sfeer in de klas er één van samenwerking en niet van veroordeling, wat zeker belangrijk is in raciaal en etnisch gemengde klassen¹⁵⁷ en in inclusieve klassen¹⁹³. Leerlingen voelen zich zelfzekerder als ze hun ideeën eerst in groep hebben besproken.

Een verdere interessante vaststelling is dat samenwerkend leren in combinatie met competitie, zowel een positief als negatief effect op leerlingen kan hebben. Interessant is de combinatie samenwerken in groep en competitie tussen de groepen, vooral binnen wiskunde⁸⁵. Ook is het in de lagere graad van de middelbare school makkelijk om leerlingen tot medewerking te motiveren als het wiskundige onderwerp onder de vorm van een spel of wedstrijd wordt aangebracht. Leerlingen werken in groepen en proberen per groep zoveel mogelijk punten te winnen door binnen een bepaalde tijd berekeningen uit te voeren²⁷. Uit de literatuur halen we verder dat als leerlingen in groep biologie leren¹⁵⁷, dat ze beter de cultuur van de discipline biologie ervaren. Ze bespreken figuren, grafieken en concepten en gebruiken daarbij het jargon van de biologie. Ze ervaren de tradities, gewoonten en praktijken binnen de biologie veel beter, waardoor ze in staat zijn om publicaties van ervaren biologen beter te verstaan.

3.5.3. Samenwerkend leren: Hoe organiseer je het?

Wat is mijn rol als leraar?

In één van de publicaties lezen we dat het effect van coöperatief onderzoekend leren klein is, tenzij de leraar zorgt voor een goede leiding²⁷⁷. Volgens de auteurs moet de leraar zelf de stof – in dit artikel fysica voor secundair onderwijs – zeer goed beheersen en zich bewust zijn van de leerprocessen en de misconcepties van leerlingen. De leraar moet oprecht interesse tonen in de antwoorden van leerlingen en hen door een goede vraagstelling in de juiste richting begeleiden. Deze kritische noot vinden we niet alleen terug in coöperatief onderzoekend leren. Ook bij andere vormen van samenwerkend leren binnen andere disciplines dan wetenschap, blijken de leraar en de instructie van de leraar een cruciale rol te spelen^{93, 126, 237}. Het werken in kleine groepen moet goed voorbereid worden. Als de gegeven taken zodanig zijn opgesteld dat niet elke leerling uit de groep de kans krijgt om deel te nemen en als leer-

lingen niet zeker weten wat te doen, dan is groepswork tijdsverlies, zowel vanuit het perspectief van de leerlingen als uit dat van de leraar^{93, 126}.

Om geen tijdsverlies te zijn, moet samenwerkend leren aan een aantal voorwaarden voldoen. Johnson en Johnson¹²⁰ definieerden vijf essentiële kenmerken van samenwerkend leren. Het betreft kenmerken die leraren in de voorbereiding en begeleiding van samenwerkend leren zouden moeten realiseren:

1. Positieve wederzijdse afhankelijkheid: de leerlingen of studenten in de groep zijn van elkaar afhankelijk voor het succesvolle uitvoeren van de groepstaak (bijvoorbeeld doordat ieder groepslid een eigen rol heeft).
2. Directe interactie: waarbij leerlingen elkaar assisteren bij het leren en op een gelijke manier deelnemen (door de uitbreiding van de definitie¹²¹ wordt onder directe interactie niet enkel 'face-to-face' interactie verstaan).
3. Individuele verantwoordelijkheid: ieder groepslid kan worden aangesproken op zijn of haar bijdrage aan het groepswork.
4. Sociale vaardigheden: leerlingen moeten getraind worden in het effectief met elkaar samenwerken.
5. Evaluatie van het groepsproces: de groepsleden evalueren hun samenwerken.



Groepswork tijdens wiskunde voor leerlingen van acht à negen jaar¹⁶⁰

Opdracht: Elf schepen werden in 1787 door Engeland uitgezonden om het land achter de oceanen te ontdekken. Kapitein Phillip moet de beste plaats zoeken om een nederzetting te stichten. De leerlingen kregen een lijst van de voorraden op de schepen en een lijst met dertien belangrijke omgevingsfactoren van de verschillende aanmeerplaatsen. Zij kregen de vraag om de kapitein te adviseren welke van de vijf historische aanmeerplaatsen nu de beste zou geweest zijn.

Uit het bovenstaande kunnen we vaststellen dat de rol van de leraar cruciaal is bij samenwerkend leren. De leraar leidt de leerprocessen, hij moet het werken in groepen goed plannen en de taken moeten goed gekozen worden. Aan leerlingen moet bovendien aangeleerd worden om in groep te werken en leren^{126, 211}. Reeds vanaf jonge leeftijd moet groepswork gezien worden als een volwaardig leerproces²¹¹. Wat kan je als leraar doen bij een eerste groepswork, met leerlingen die niet gewoon zijn om te werken in groepen? Als leraar kun je dan voor heel wat problemen komen te staan: weinig productieve groepen, een zeer luidruchtige klas, commotie, etc. Je kunt het enerzijds zien als leerproces voor jezelf en voor de leerlingen. Anderzijds zijn  in het tekstvak handig om dergelijke problemen te beperken²¹¹:

Eens leerlingen gewoon zijn om in groep te werken, kunnen problemen en onderzoeken meer open worden¹⁰³, dan kunnen leerlingen zichzelf organiseren en zal het minder nodig zijn om als leraar in

te grijpen. Wanneer echter tijdens wetenschapslessen groepsonderzoeken met inbegrip van experimenten worden uitgevoerd, zullen leerlingen niet alleen moeten getraind zijn in samenwerkingsvaardigheden zoals discussiëren, uitleggen, argumenteren en tot een consensus komen, maar ook in het uitvoeren van experimenten²¹³.

Het ingrijpen van de leraar tijdens samenwerkend leren vormt een ander heikel thema. Als er in de groep leerlingen zijn met ideeën of inzichten die juist zijn, is het als leraar belangrijk om deze gewoon in de groep te laten. Wanneer je tussenkomt en aangeeft dat ze correct zijn, zullen andere leerlingen hun ideeën niet meer in de groep brengen en zal je het leerproces in de groep stopzetten²⁸⁴. Voor het leren in groep zijn er immers twee invalshoeken²³⁷ met name elaboratie (zie tekstvak) en co-constructie. Beide verklaringen hebben te maken met communicatie. Als leraar is het dus essentieel om deze communicatie zo optimaal mogelijk te laten verlopen.



Tips om groepswerk vlot te laten verlopen:

- ▶ Als leraar zelf rollen toebedelen aan de leerlingen en de groepen zo klein mogelijk houden (bijvoorbeeld met gepaard werk beginnen).
- ▶ Duidelijke instructies geven aan de leerlingen betreffende wat ze moeten doen en wat het eindproduct moet zijn – het is niet nodig om te starten met heel open onderzoek of problemen.
- ▶ Een mooi voorbeeld hiervan vinden we bij Apotheker en Pol⁶ (p.104): "Een opdracht als 'bestudeer hoofdstuk 1' is niet voldoende. Een opdracht als: 'Ontwerp 5 illustraties bij hoofdstuk 1, en zorg ervoor dat iedereen een toelichting kan geven bij elke illustratie.' werkt veel beter."
- ▶ Een duidelijk tijdsschema voorzien voor de verschillende onderdelen in het groepswerk. Deze onderdelen bij eerste groepswerken in omvang beperkt houden.
- ▶ Een signaal afspreken om aan te geven wanneer het te rumoerig wordt in de klas.



"Het elaboratie-perspectief benadrukt dat leerlingen of studenten tijdens het samenwerken hun denken moeten verbaliseren, wat bijdraagt aan een betere organisatie en het beter onthouden van kennis. Uit onderzoek blijkt dat leerlingen die veel uitleg geven aan groepsleden tijdens het samenwerken, meer leren dan leerlingen die weinig uitleg geven. Dat geldt overigens ook voor leerlingen die veel uitleg ontvangen. Het co-constructie perspectief zoekt de verklaring vooral in de wijze waarop de samenwerkende leerlingen of studenten door coördinatie en communicatie en het gebruik van fysieke hulpmiddelen een gedeeld begrip bereiken en onderhouden. Dit proces van 'gedeeld denken' wordt co-constructie van kennis genoemd." ²³⁷ (p.2)

Hoe leerlingen groeperen?

Er zijn verschillende manieren om leerlingen in te delen in groepen en meestal zal ook de context – het aantal leerlingen in de klas, hun samenwerkende vaardigheden, hun leeftijd, etc. – de indeling beïnvloeden²⁸⁴. De inhoud van de leerervaring en de daarmee samenhangende samenwerkende methode zal eveneens een rol spelen bij het bepalen van het aantal leerlingen in de groep. Bijvoorbeeld wanneer argumentatie en de bespreking van begrippen en concepten belangrijk is, dan raden verschillende bronnen aan om te werken met een groepsgrootte van vier tot zes leerlingen^{183, 211}.

Wat met kenmerken van de leerlingen zelf? Is het belangrijk om gelijkaardige leerlingen bij elkaar te plaatsen, of net niet? Vooral wanneer het gaat over het prestatieniveau van de leerling, zijn daar verschillende meningen over. Het hangt blijkbaar ook samen met de cultuur¹³⁸. Meer samenwerkende culturen zoals Finland, Denemarken of Spanje-Baskenland hebben goede ervaringen met het werken met gemengde groepen met leerlingen van verschillende prestatieniveaus (sterkere leerlingen helpen zwakkere leerlingen in hun groep). Meer competitieve schoolculturen, zoals in Duitsland, hadden meer problemen om de zwakkere leerlingen te integreren en de sterkere leerlingen te voorzien van voldoende leermogelijkheden. De snelle leerlingen vonden de methodiek te traag. In landen zoals Finland en Denemarken daarentegen wisten de hoge presteerders dat ze ook voordelen hebben bij het ondersteunen van andere leerlingen, namelijk dat ze zelf leren terwijl ze uitleggen.

Enkele voorbeelden waarbij de groepen heterogeen op basis van prestaties worden samengesteld:

- ▶ In de studie van Michalsky en medewerkers¹⁶⁷ worden per groep van vier leerlingen (4e leerjaar), een hoge presteerder, twee gemiddelde presteerders en een lage presteerder samengebracht om heterogeniteit te bekomen.
- ▶ Walker en Zeidler²⁷¹ onderzochten een leseenheid over genetisch gemodificeerd voedsel voor leerlingen van veertien tot achttien jaar. Deze leseenheid werd ontworpen om het debat over de 'natuur van wetenschap' te bevorderen. De eenheid bestaat uit web-gebaseerde activiteiten. De leerlingen werden in paren opgedeeld, gebaseerd op hun leervermogen; lezers met een hoog niveau en/of meer gemotiveerde leerlingen werden gekoppeld aan leerlingen met een leerprobleem en/of lager gemotiveerde leerlingen die het moeilijk hadden om te lezen of om door te werken bij leeractiviteiten.
- ▶ Palincsar en medewerkers¹⁹³ onderzochten of het mogelijk was om een onderzoekende aanpak toe te passen in een inclusieve klas. De studie liep over twee jaar en startte met een groep leerlingen uit het vierde en vijfde leerjaar waarvan er iets meer dan 10% speciale noden hadden. Bij de samenstelling van de groep werd rekening gehouden met het feit dat in elke groep ook leerlingen zaten die aandacht hadden voor beurtrol en verdeling van de middelen. Zij zorgden ervoor dat leerlingen met speciale noden ook kansen kregen in een gemengde groep. Wat de onderzoekende aanpak betreft, ook hiervoor werden specifieke activiteiten ontworpen (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak).

Andere bronnen zeggen dan weer dat het interessant is om willekeurig te selecteren, dit zou een 'conceptuele mix' garanderen die nodig is voor discussie^{111, 120}. Een groep leerlingen met verschillende denkbeelden leert meer dan een groep leerlingen met gelijke zienswijzen over een onderwerp¹²⁰.

Vriendschap zou ook de discussie bevorderen¹¹¹. Toch is het bij deze willekeurige groepssamenstelling belangrijk om na te denken over het aantal jongens en meisjes. Een voldoende groot aantal meisjes in een groep is belangrijk. Daarnaast zijn er ook auteurs die aangeven dat het noodzakelijk is om soms te werken met groepen van hetzelfde geslacht, bijvoorbeeld om de algemene interesse van jongens en meisjes in fysica niet te verliezen gedurende het schooljaar¹²⁰.

Werken met geslachtsgemengde groepen betekent eveneens aandacht hebben voor houdingen die gendermatig van aard zijn, zoals: jongens nemen het woord en meisjes krijgen praktische taken toebedeeld²¹¹. Niet alleen in groepen met jongens en meisjes kan dit optreden. Er zijn ook leerlingen die meer dominant zijn dan anderen. Sommige bronnen geven dan ook aan dat het beter is om met gelijke groepen te werken. In ongelijke groepen kunnen dominante leerlingen en/of meer capabelere leerlingen, de andere leerlingen domineren waarbij ze het leren eerder verhinderen dan ondersteunen¹⁰³. Dit hoeft uiteraard niet zo te zijn als je hier als leraar voldoende aandacht aan schenkt.

Welke methodes kun je toepassen?

In de literatuur vonden we heel wat methodes van samenwerkend leren^{119, 236}. Momenteel is er inderdaad een veelheid aan methoden, die gaan van heel eenvoudig tot vrij complex, van heel gestructureerd tot open. Deze methodes zijn niet gebonden aan een bepaalde discipline en kunnen dus worden toegepast binnen meerdere disciplines. We geven hieronder enkele voorbeelden. Voor de methodes die specifiek afgestemd zijn op een probleemoplossende of onderzoekende aanpak (zoals groepsonderzoek) en die vaak vertrekken vanuit een probleem, verwijzen we naar de delen Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak en Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken.

Think – pair – share methode¹²⁰

Dit is wellicht één van de eenvoudigste methodes binnen samenwerkend leren. De leerlingen worden gevraagd om na te denken over een onderwerp dat door de leraar wordt aangereikt, ze moeten zich dan per twee groeperen en met de andere leerling het onderwerp bespreken. Daarna moeten ze hun gedachten delen met de hele klas.

"Ik–jij–wij" methode²⁴⁸

Deze methode is vergelijkbaar met de bovenstaande methode en wordt in het SINUS-rapport aanbevolen als interessant in wiskundelessen (voorbeelden zie tekstkader).

Ik: individueel werk

De leerling maakt zich de taak eigen en gaat zelf de uitdaging van de taak aan. Hij activeert reeds aanwezige kennis en volgt een eigen redenering om tot een oplossing te komen.

Jij: leren met een medeleerling (in grotere klassen kunnen dit ook drie tot vier peers zijn)

De leerling gaat in gesprek met klasgenoot. De peers leggen hun ideeën uit en luisteren naar elkaars ideeën. Ze overwegen de verschillende ideeën. Ze kunnen elkaar tijdens deze fase ook helpen om bijvoorbeeld foute oplossingsstrategieën te elimineren. De peers werken samen aan de uitwerking van een oplossing.

Wij: communiceren met de volledige klas

De verschillende groepjes stellen hun resultaten voor aan de klas, deze worden dan in de klas besproken. Ieders bijdrage wordt beschouwd en het uiteindelijke resultaat is het product van een gezamenlijke inspanning onder begeleiding van de leraar (die functioneert als een goed geïnformeerde deskundige).



Enkele voorbeelden van opdrachten m.b.t. de "ik-jij-wij"-methode²⁴⁸:

Specifieke vierhoeken

- ▶ Teken in jullie notitieblok schetsen van zoveel mogelijk verschillende vierhoeken waarvan twee van de vier zijden parallel zijn. Bedenk een naam voor deze vierhoeken. Bereken de oppervlakte van vierhoeken die je hebt geschetst en bedenk daarbij de eenvoudigste manier om tot de oplossing te komen. Schrijf je redenering op in je notitieboek.
- ▶ Bespreek je overwegingen met je buur. Bekijk met hem/haar de resultaten waar jullie allebei toe kwamen en integreer je oplossingen in een gezamenlijke oplossing.
- ▶ Leg je gedachten en resultaten voor aan de volledige klas. Integreer de gegevens van andere groepen in je eigen werk.

Een foto wordt uitgedeeld aan de leerlingen. Op deze foto is een zeer grote stoel te zien die voor een gebouw staat en waarop drie mensen zitten die nauwelijks plaats innemen op de stoel. Deze stoel is opgenomen in het Guinness Book of Records als 's werelds grootste stoel.

- ▶ Hoe groot zou een reus moeten zijn om deze stoel te gebruiken?
- ▶ Bespreek je ideeën met je buur.
- ▶ Presenteer samen met je buur jullie ideeën en resultaten aan de andere klasgenoten.

Learning together methode¹¹⁹

Deze methode is een veel gebruikte samenwerkingsvorm. Leerlingen werken in kleine groepjes samen aan een gemeenschappelijke opdracht. Typerend hierbij is het creëren van een groepsproduct. Op basis van deze methode zijn samenwerkingsmethodes ontstaan die meer gestructureerd verlopen (zie tekstvak voor een voorbeeld).



Learning together methode met vijftien- tot zestienjarige leerlingen uit Pretoria ²⁶

De gemeenschappelijke opdracht: Ontwerp een visitekaartje dat de aandacht van de mensen trekt die langs een bureau lopen.

De teams worden samengesteld en binnen elk team moeten verschillende rollen toegekend worden;

- ▶ team managers die alle fasen in de taak moeten overzien;
- ▶ ontwerpingenieurs die verantwoordelijk zijn voor het omzetten van ideeën naar computer, gebruik makende van Open Office Draw. De modellen worden dan uit Plexiglas gemaakt door gebruik te maken van de laser cutter. Echter, voor het prototype wordt goedkope karton gebruikt. Fouten moeten immers kunnen hersteld worden en elk team moet uit fouten kunnen leren (maar dan zonder de kosten op te drijven);
- ▶ elektronica-ingenieurs moeten de elektrische componenten bijeenbrengen door gebruik te maken van een timer circuit en twee LEDs;
- ▶ mediaspecialisten zijn verantwoordelijk voor het logo van de groep en maken gebruik van Open Office Draw en van het dagelijks rapport dat via Google Groups op het internet wordt gepost.

De selectie van de teams en de toedeling van de rollen wordt volledig aan de leden van het team overgelaten, om zo tegemoet te komen aan individuele interesses. Elk teamlid krijgt, afhankelijk van zijn/haar taak, specifieke instructies en vaardigheden aangeleerd.

Bij de start van het teamwerk wordt aan de verschillende teamleden gevraagd om gezamenlijk tot een aantal mogelijke oplossingen te komen, onder de vorm van eenvoudige schetsen (die ook de afmetingen van de verschillende componenten bevatten).

Howe methode¹¹¹

Deze methode beschrijft een aanpak die een conceptuele en procedurele instructie integreert en die interessant is binnen wetenschappen. Conceptueel betekent dat een inzicht in concepten wordt verworven, procedureel slaat op het uitvoeren van een experiment. Deze aanpak wordt duidelijk gemaakt aan de hand van een concreet voorbeeld over transport van warmte in een klas van elfjarigen. Bij deze methode bestaat de groepstaak uit twee delen.

Eerste deel (voorbeeld zie tekstvak):

- ▶ neerschrijven van individuele voorspellingen;
- ▶ delen van persoonlijke voorspellingen in de groep en komen tot een gemeenschappelijk besluit
- ▶ feedback krijgen over de voorspelling, bijvoorbeeld door waarnemingen te doen.
- ▶ gemeenschappelijke interpretaties maken van de factoren die het resultaat veroorzaken en deze omzetten in conclusies die kunnen gecommuniceerd worden met de klasgenoten.
- ▶ een schriftelijke neerslag maken van welke factoren belangrijk zijn voor het resultaat en welke niet van belang zijn.

Tijdens dit deel heeft de leraar een indirecte rol, gefocust op het ontwerp van leermaterialen zoals het maken van het notitieboek met richtinggevende vragen. Een directe interventie om de groepsdiscussies in goede banen te leiden kan contraproductief werken.



Voorbeeld bij eerste deel Howe methode¹¹¹:

► **Neerschrijven individuele voorspellingen**

De leerlingen dienen individueel drie paren van containers te bekijken, elke container bevat eenzelfde hoeveelheid warm water. De drie paren containers zijn: een smalle kom en een hoog bekeerglas, een plastic kan en een witte kan, een aluminium kan en een dikke kop. Elke leerling krijgt een werkblad en moet per paar aangeven in welke container het water snelst zal afgekoeld zijn.

► **In groep tot een gemeenschappelijk besluit komen**

Als de leerlingen het niet eens zijn over de container waarin het water snelst is afgekoeld, moeten ze de reden van hun beslissing bespreken, het uitproberen en tot een gedragen mening komen. Van zodra ze het eens zijn, wordt hun gezamenlijke voorspelling neergeschreven.

► **Waarnemingen doen**

De groepen moeten de temperatuur van het water meten in de gepaarde containers.

► **Gemeenschappelijke interpretaties maken en omzetten in conclusies**

De groepen moeten nagaan om welke redenen het water in de ene container vlugger afgekoeld is dan het water in de andere container. Ze moeten ook nadenken over wat ze hun klasgenoten gaan vertellen over het afkoelen.

► **Een schriftelijke neerslag maken**

De groepen dienen te noteren welke factoren belangrijk zijn bij afkoelen en welke onbelangrijk zijn.

Tweede deel:

- Bekijken van de notitieboeken uit het eerste deel en beslissen welke factoren zullen uitgetest worden.
- Gezamenlijk beslissen hoe het apparaat moet gebruikt worden om correct te kunnen testen.
- Aanwijzingen geven wanneer beslissingen een beletsel dreigen te worden om correct te testen.
- Waarderen waarom correct testen noodzakelijk is, door bij leerlingen redenen of uitleg op te vragen
- De test uitvoeren (de stappen b tot d opnieuw doorlopen als een tweede test noodzakelijk is).
- Gemeenschappelijke conclusies maken op basis van de testresultaten en nagaan hoe die kunnen meegedeeld worden aan de klasgenoten.

Net als in het eerste deel heeft de leraar een indirecte rol, nl. leermaterialen ontwikkelen om de activiteit te structureren. Deze keer kan de leraar ook een directe rol hebben, door het geven van aanwijzingen en het rechtvaardigen van correct testen. We willen evenwel opmerken dat er software bestaat die deze functie kan overnemen, waardoor de leraar een meer coachende rol kan opnemen.

Jigsaw methode^{30, 109, 229}

Om de jigsaw methode uit te leggen willen we een voorbeeld gebruiken. Er zijn bijvoorbeeld zestien leerlingen in de klas die onderverdeeld worden in vier groepen. Elke groep zal zich concentreren op het verzamelen van informatie over een bepaald onderwerp (elke groep krijgt een ander onderwerp, meestal subonderwerpen van een gemeenschappelijk onderwerp). De informatieverzameling kan gebeuren op basis van laboratoriumobservaties of literatuuronderzoek. Van zodra de leerlingen aanvoelen dat ze 'expert' zijn binnen hun onderwerp, worden er nieuwe groepen gevormd. Elke groep zal dan een groepslid bevatten van de oorspronkelijke groepen. Elke leerling is dan verantwoordelijk om de andere drie leerlingen – de 'luisteraars' – les te geven over het onderwerp dat hij zich voordien heeft eigen gemaakt.

Deze manier van werken kan zowel in het secundair onderwijs als in de basisschool gebruikt worden²²⁹. Toch moet aandacht geschonken worden aan een aantal punten: de training van vaardigheden om elkaar uitleg te geven en het gebruik van goed gestructureerde materialen. Daarnaast is het zo dat 'experten' betere resultaten vertonen dan de 'luisteraars'. Toch blijken deze luisteraars in bepaalde studies beter te presteren dan leerlingen die op een traditionele manier les krijgen^{30, 229}.

Peer tutoring^{45, 240}

Peer tutoring is een vorm van samenwerkend leren waarbij de ene leerling de andere leerling helpt bij het uitvoeren van een taak. Dit laatste is dan ook een belangrijk verschil met de afgaande vormen van samenwerkend leren. De tutor (één van de leerlingen) neemt de rol over van de leraar om de andere leerling (de tutee) te helpen bij het leren of verwerven van een vaardigheid. De relatie tussen leerlingen bij tutoring is gebaseerd op deze ongelijkheid in rollen. Vaak is er sprake van een verschil in kennisniveau maar dat is zeker niet steeds het geval. Binnen peer tutoring bestaan er verschillende vormen, zoals reciprocal peer tutoring, i.e. een vorm van tutoring waarin de leerlingen afwisselend tutor en tutee zijn. Daarnaast heb je ook nog same-age peer tutoring (met leerlingen van dezelfde leeftijd) en cross-age peer tutoring (met leerlingen van een verschillende leeftijd).

De leerlingen worden voorbereid op hun rol van tutor door middel van een voorgaande training, waarin ze aanleren hoe ze hints moeten geven, wat goede vraagstellingstechnieken zijn, hoe probleemgericht gewerkt kan worden, op welke manier inhouden dienen te worden geverbaliseerd.

Peer tutoring kan toegepast worden in verschillende disciplines. In Vlaanderen is in de lagere school het gebruik van peer tutoring bij begrijpend lezen goed ingeburgerd. Peer tutoring biedt ook heel wat potentieel binnen wetenschappen^{45, 240}. Binnen deze aanpak werken ervaren leerlingen (twee) samen met onervaren leerlingen (twee à drie).



Peer tutoring^{45, 240}

Leerlingen uit het vierde en vijfde leerjaar werkten in team samen. De leerlingen uit het vijfde leerjaar hadden heel wat ervaring wat betreft leren door ontwerp. Gedurende een tiental weken leerden de beide groepen over mariene biologie. Tijdens deze weken dienden de teams een mariene simulatie te ontwerpen door gebruik te maken van Logo Microworlds processing en multimedia software. Voor het ontwerp maakten de leerlingen gebruik van de ontwerpcyclus waarbij ze vertrokken vanuit een vraag. Voorbeelden van deze vragen zijn: 'Hoe werken getijde zwembaden?', 'Om welke reden zwemmen vissen in scholen?' Uit het onderzoek bleek dat de leerlingen uit het vijfde leerjaar gebruik maakten van veel sociale vaardigheden en effectief de jongere leerlingen de methode van leren-door-ontwerp aanleerden. De ervaren leerlingen hebben evenveel voordelen gehaald uit deze vorm van leren als de jongere leerlingen.

Guided co-construction²⁵⁷

Guided-co-construction betekent leerlingen helpen om samen modellen en kennis te reconstrueren in een voortdurend en wederkerig proces, gericht op het oplossen van taakgerelateerde problemen. Het is de rol van de leraar om verbindingen te behouden tussen de curriculumdoelen van de activiteiten en de bestaande kennis, vaardigheden en motivatie van de leerlingen²⁵⁷. Onderzoek heeft aangetoond dat de strategie van guided co-construction kan leiden tot een beter begrip van wiskunde en modellen dan de 'providing' aanpak, i.e. het aanbieden van kant-en-klare modellen²⁵⁷

Guided co-constructie werd door Van Schaik²⁵⁷ toegepast op verschillende groepen van vijftienjarige leerlingen uit VMBO-scholen. Aan deze leerlingen werd een authentieke opdracht gegeven, namelijk het ontwerpen van een tandemdriewieler met als doel te leren over het natuurkundige principe van overbrenging. De modellen die nodig zijn voor het oplossen van de problemen worden door de leerlingen in samenwerking en onder begeleiding van de leraar ontwikkeld. In een controlegroep werden deze modellen kant-en-klaar gegeven. De groep leerlingen die de modellen zelf ontwierpen, maakten duidelijk betere tekeningen van de tandemdriewieler. In een tweede fase werden ook prototypelessen ingevoerd tijdens dewelke leerlingen reflecteerden over het ontwerp. Uit interviews blijkt dat de leerlingen de opdracht leuk en uitdagend vonden.

Samenwerkend leren en nieuwe technologie

Samenwerkend leren heeft sinds de jaren negentig van de vorige eeuw een nieuwe dimensie gekregen met het beschikbaar worden van applicaties voor computerondersteund samenwerkend leren²³⁷. Deze computerapplicaties ondersteunen het proces van samenwerken en samen leren²³⁷. Het **Knowledge Forum**^{®192} is daar een voorbeeld van. **WISE** is een ander voorbeeld van computerondersteund samenwerkend leren. Deze werkvorm werd toegepast bij Vlaamse leerlingen uit het secundair onderwijs en wordt uitvoerig besproken in een Nederlandstalige publicatie van Raes en medewerkers²⁰². Aan de

hand van de publicatie kun je kennismaken met het webgebaseerde project 'Opwarming van de aarde' binnen het leerplatform WISE en worden concrete handvaten aangereikt voor leraren of lerarenteams die zelf aan de slag willen met computerondersteund samenwerkend leren.

Onder de vraag '3.10. Welke leermiddelen gebruik je?' worden eveneens de mogelijkheden van het mobiel leren besproken. Uit recente literatuurgegevens kunnen we leren dat gebruik van mobiele devices (zoals tablets en smartphones) een enorm potentieel biedt binnen zowel een onderzoekende aanpak als het samenwerkende leren. Wellicht zullen we in de komende jaren nog heel wat ontwikkelingsonderzoek vanuit die hoek kunnen verwachten. Ook in Vlaanderen zou binnen deze domeinen ontwikkelingsonderzoek moeten gestimuleerd worden, want op deze manier kunnen nieuwe en innovatieve methoden vrij snel toegepast worden in het Vlaamse wiskunde-, wetenschaps-, techniek- en wereldoriëntatieonderwijs.

3.6. Hoe van gedachten wisselen in de klas? Vragen stellen, dialoog, discussie en debat

Het is belangrijk nooit te stoppen met het stellen van vragen....nieuwsgierigheid heeft zijn eigen reden van bestaan – Albert Einstein

Argumentatie en debat spelen een fundamentele rol in de ontwikkeling van wetenschap, wiskunde en techniek in onze maatschappij. In wetenschap en techniek is het belangrijk om collega's te overtuigen van de waarde van een idee⁷⁹ of een ontwerp⁸⁴. Toch wordt er weinig aandacht geschonken aan argumenteren in het onderwijs⁸⁴. Aangezien kritisch denken en het formuleren van bedenkingen nu net één van de basiskennmerken van een wetenschapper is, vormt het onvoldoende ontwikkelen van deze attitudes een serieus tekort in het onderwijssysteem^{183, 189}. Onderzoek suggereert dat dialoogvoering bij het leren nochtans aanzienlijk belangrijker is dan eerder werd aangenomen. Het slagen of falen van onderwijs zou eerder te wijten zijn aan de kwaliteit van de dialoog in de klas dan aan de individuele capaciteiten van de leerling of de bekwaamheid van de leraar⁸⁴. De basisvoorwaarde voor een goede dialoog en open communicatie is een vertrouwensrelatie in een positief klasklimaat¹⁰⁹.

In dit hoofdstuk zullen we ons focussen op de verbale communicatie tussen leraar en leerling, alsook tussen leerlingen onderling. We focussen op vier werkvormen: het stellen van vragen, dialoog, discussie en debat. Het is natuurlijk zo dat de ene werkvorm vaak uit de andere zal volgen en dat een strikte opdeling bij de praktische uitvoering niet mogelijk en/of wenselijk is.

3.6.1. Vragen stellen in de klas

Echt leren wordt niet zozeer gekenmerkt door de antwoorden op vragen maar wel door het stellen van vragen - UNESCO, 1980

Vragen zijn essentieel bij onderwijs. Vragen kunnen gesteld worden door de leraar of de leerlingen en kunnen met verschillende doelen voor ogen geformuleerd worden: Vragen kunnen er op gericht zijn om naar het begrip en inzicht van leerlingen te peilen (zie Hoe? 3.8. Evalueren); ze kunnen deel uitmaken van feedback om verder leren te promoten (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren); of ze kunnen actief en diepgaand leren stimuleren⁴⁴. Op dit laatste type vragen zullen we hier focussen en we zullen voornamelijk ingaan op het verschil tussen en het effect van informatieve vragen en rijke open vragen.

De leraar als vraagsteller

Informatieve vragen roepen op tot het geven van korte antwoorden. "Hoe wordt dit genoemd? Wat is een batterij? Is de stroomrichting gericht van de positieve pool naar de negatieve pool?". Dat wil niet zeggen dat dergelijke vragen niet gesteld mogen worden, maar ze hebben niet dezelfde waarde als de zorgvuldig opgestelde vragen die leiden tot diepere inzichten en onderzoekend leren (rijke vragen)²⁸⁴. Rijke vragen worden zo geformuleerd dat ze leerlingen aanzetten tot redeneren, verklaren en reflectie. Uit Sloveens onderzoek op de basisschool blijkt dat leraren vaak te veel vragen stellen en dat deze vragen voornamelijk informatieve vragen zijn (94%) die niet aanzetten tot diepgaande denkprocessen¹¹³. Leraren moeten dus meer open en rijke vragen stellen¹⁷⁷. Uit hetzelfde onderzoek blijkt bovendien dat leerlingen zelf zelden vragen stellen en dat de vragen die ze stellen ook voornamelijk informatieve vragen zijn, naar het voorbeeld van de leraar¹¹³. Klasobservaties tonen aan dat leerlingen verveeld raken wanneer er onvoldoende uitdagende vragen gesteld worden of wanneer er weinig discussie mogelijk is, kortom wanneer er te weinig intellectuele uitdaging is. Leraren zijn zich hier vaak van bewust, maar kiezen er toch voor om op deze manier les te geven om de volgende redenen: een overladen curriculum (en dus te weinig tijd om diep in te gaan op vragen) of onzekerheid over hun eigen expertise¹¹⁴.

Bij de **start** van een nieuw onderwerp is het belangrijk om goede vragen te stellen. Ze moeten specifiek genoeg zijn om leerlingen aan te zetten tot onderzoek of een gedachtenexperiment, maar ze moeten eveneens open genoeg zijn om de leerlingen voldoende uit te dagen²⁸⁴. Naast het stellen van dergelijke vragen is oprechte interesse¹¹⁴ en correct inspelen op de antwoorden van de leerlingen van zeer groot belang¹¹⁵. Als leraar dien je in te gaan op elk antwoord van de leerling. Op deze manier voelt hij zich niet alleen gewaardeerd om zijn antwoord, maar bovendien creëert het leermogelijkheden voor leerlingen die het probleem nog niet volledig vatten. Als leraar is het af te raden je autoriteit te gebruiken om een antwoord of strategie op te dringen aan de leerlingen¹¹⁵.

Ook **na het oplossen** van een probleem, bij het afronden van een onderzoek of bij de afwerking van een ontwerp is het belangrijk vragen te stellen die verband houden met de probleemcontext, zodat leerlingen een transfer kunnen maken van de inhoud naar een ruimere context. In het tekstvak vind je een voorbeeld uit het wiskundeonderwijs²⁴⁸.



Vragen na het oplossen van een probleem²⁴⁸:

Deze vragen kunnen gesteld worden nadat een oplossing gevonden is:

- ▶ Wat was het belangrijkste probleem in deze taak?
- ▶ Welke strategieën hebben we gebruikt?
- ▶ Hoe kunnen we het probleem samenvatten?
- ▶ Hoe belangrijk is het resultaat en wat leren we eruit?
- ▶ Hoe kan je dit probleem inpassen in wat we tot nu toe geleerd hebben?
- ▶ Wat moeten we onthouden?
- ▶ Zijn er alternatieve wegen om tot een oplossing te komen?
- ▶ Hoe kunnen we het probleem uitbreiden, veralgemenen, en variëren?

De laatste vragen kan je ook toepassen op een eenvoudig 'saai' wiskundig probleem:

Los op: $3 \frac{1}{4} - 4 \frac{1}{2} - 5 \frac{1}{2} + \frac{1}{3}$

Variaties op deze vraag kunnen zijn:

- ▶ Verandert het resultaat wanneer we haakjes invoeren?
- ▶ Hoeveel verschillende resultaten kunnen we vinden door haakjes op verschillende plaatsen te zetten?
- ▶ Hoe moet het eerste getal veranderen om nul als resultaat te vinden?
- ▶ Verzin een wiskundig verhaal rond deze vergelijking

Op deze manier kan je van een eenvoudige opdracht een nieuw, interessant en uitdagend probleem maken, met als neveneffect dat de 'saai' routines automatisch geoefend worden²⁴⁸.

Wanneer je als leraar een vraag stelt en wacht op een antwoord, dan kan je de volgende **tips** in gedachten houden: Voorzie voldoende bedenktijd (8-9 s) zodat iedereen de kans krijgt om na te denken¹⁰⁹; Laat de leerlingen geen hand opsteken, maar selecteer de leerlingen die antwoord moeten geven¹⁰⁹,¹¹⁴ of wanneer leerlingen nadenken over een vraag, laat ze hun ogen sluiten en hun hand opsteken wanneer ze het antwoord weten. Op deze manier denken ze voor zichzelf zonder dat ze geïntimideerd worden door de snelle leerlingen. Deze methodiek leidt er toe dat meer leerlingen een antwoord proberen geven¹⁰⁹.

De leerling als vraagsteller

Bij de vragen die leerlingen stellen maakt men ook onderscheid tussen twee types vragen: informatieve vragen en verwonderingsvragen. Informatieve vragen, zoals vragen naar feiten en procedures, zijn typisch voor oppervlakkig leren. Informatieve vragen leiden niet tot interessante discussies. Het zijn echter de verwonderingsvragen die stimuleren om hypothesen te formuleren, voorspellingen te maken en verklaringen te zoeken. Verwonderingsvragen tonen een diepgaande benadering aan en leiden tot antwoorden die conceptueel van aard zijn. Deze vragen activeren denkstrategieën die niet gebruikt worden, indien deze vragen niet gesteld werden⁴⁴.

Verwonderingsvragen

Uit onderzoek blijkt dat leerlingen weinig (14%) verwonderingsvragen stellen. Probleemgericht onderwijs leidt tot een aanzienlijke stijging in verwonderingsvragen (30%)⁴⁴. Daarbij is het niet voldoende om leerlingen de kans te geven om vragen te stellen. Leraren moeten actief te werk gaan en strategieën gebruiken om leerlingen aan te zetten tot het stellen van vragen⁴⁴.



Verwonderingsvragen omvatten o.a.:

- ▶ inzichtsvragen: vragen die naar een verklaring peilen voor iets dat niet goed begrepen werd;
- ▶ voorspellingsvragen: vragen in verband met het testen van een hypothese. Wat zou er gebeuren indien...?;
- ▶ anomalievragen: vragen die een leerling stelt wanneer hij sceptisch staat tegenover een idee, bijvoorbeeld omdat hij strijdige data ontdekt heeft of wanneer de gegevens in conflict zijn met de ideeën die hij heeft. Hoe kan het dat ..., terwijl ...?
- ▶ toepassingsvragen: vragen die het nut en het verdere gebruik van de ontdekte informatie in vraag stellen. Waar wordt dit principe toegepast?
- ▶ planningsvragen: vragen die ontstaan wanneer een leerling tijdelijk vastzit, geen vast stappenplan heeft en zich de vraag stelt hoe hij best verder werkt. Wat is de volgende stap om ...? ⁴⁴
- ▶ Op deze manier kan je van een eenvoudige opdracht een nieuw, interessant en uitdagend probleem maken, met als neveneffect dat de 'saai' routines automatisch geoefend worden²⁴⁸.



Verwonderingsvragen: zand-zout mengsel scheiden in de eerste graad secundair onderwijs:

Eén groepje gebruikt een aantal materialen zoals een magneet, een zeef, of proberen met statische elektriciteit het zand- en zoutmengsel te scheiden. Zonder dat dit resultaat oplevert. Een groepje jongens weet bij het begin van het experiment niet goed wat te doen. Quin stelt een vraag: "Wat als we er nu water zouden in gieten?" (voorspellingsvraag). Deze vraag is een gok, omdat hij niet goed weet wat er zal gebeuren. Na enige discussie gieten enkele leerlingen water in de beker met het zand-zout-mengsel en roeren erin met een lepel.

- ▶ Quin: Wat denk je dat het water zal doen? ... Ik denk dat het water het zout 'absorbeerde'.
- ▶ Carl: Het vuil (zand) loste niet op, dus het vuil is gescheiden.
- ▶ Quin: Maar het water zal het zout oplossen. Ik wou dat we iets hadden om dit af te gieten...
- ▶ Carl: Het zout loste op. Het zit daarin.
- ▶ Rick: Hoe weet je dat het daarin zit? Doe een test, Carl.(anomalievraag)
- ▶ (de leerlingen gieten de zoutoplossing over in een pan)
- ▶ Quin: Veel zand, maar waar is het zout naartoe? (inzichtsvraag)
- ▶ Carl: Het zit in het water. Weg.

In de bovenstaande dialoog stelt Quin de voorspellingsvraag "Wat denk je dat al het water zal doen?". Hij is niet zeker van het resultaat. Wat volgt, is interessant omdat hij zijn eigen vraag beantwoordt. "Ik denk dat het water het zout 'absorbeerde'", waarop Carl aanvult dat het water het zout oplost. Aangezien het zout niet meer waarneembaar is, stelt Rick een anomalievraag: "Hoe weet je dat het daarin zit?" Hij wil bewijs. Na het overgieten van de zoutoplossing stelt Quin opnieuw een inzichtsvraag: "Waar is het zout naartoe?". Quin vraagt zich af hoe hij het zout kan terugwinnen uit de zoutoplossing en stelt een planningsvraag: "Hoe gaan we het terugbrengen?". De jongens zitten vast voor een tijdje. Wat volgt is interessant omdat deze vraag Rick stimuleert om na te denken en hij suggereert aan de anderen om de zoutoplossing op te warmen. Dit is een voorbeeld waarbij een leerling (Rick) tot diepere denkprocessen wordt aanzet door de vragen van zijn medeleerlingen, wat duidelijk het effect van sociale interactie op het gebruik van probleemoplossende strategieën aantoonst. Nadat Rick zijn idee toetst bij de leraar, slagen de jongens erin om het zout terug te winnen door de zoutoplossing te verhitten.

Enkele van de ideeën die aanwezig zijn bij de leerlingen worden duidelijk wanneer Rick aan Quin vraagt waar hij aan denkt. Quin zegt dat hij het water wil laten 'smelten'. Carl verbetert hem door voor te stellen dat 'verdamping' een beter woord is omdat het water aan het 'koken' is. En Rick toont dat hij begrijpt wat er gebeurt door te zeggen dat "het zout daar zal blijven". Dit is een mooi voorbeeld van co-constructie van kennis tijdens groepswork, waarbij deze jongens elkaars ideeën verfijnen en bijdragen tot elkaars ontwikkeling van kennis.

Verscheidende interventiestudies tonen aan dat het mogelijk is om leerlingen gerichte en diepgaande vragen te leren stellen. Het leren stellen van dergelijke vragen kan het inzicht in de leerstof verhogen²²⁹. Het stellen van goede vragen maakt dus deel uit van een leerproces dat dient geëxpliciteerd te worden en is niet iets dat vanzelf gebeurt (impliciet). Daarbij leren leerlingen welke soorten vragen ze kunnen stellen: Stellen ze gesloten vragen¹⁷⁴, vragen ze eerder naar feiten of ideeën, of leggen ze met hun vragen ook verbanden tussen feiten en ideeën (Wat is het verschil tussen ... en ...? Wat is het voordeel of het nadeel van ...?)²²⁹. Uit onderzoek blijkt dat het stellen van dit laatste type vragen niet eenvoudig is voor leerlingen van het derde leerjaar²²⁹. Een goede manier om de aanleg en vaardigheid in het stellen van vragen verder te ontwikkelen is de Socratische methode²⁸⁰ (zie 3.6.2. Dialoog).

Bij de vragen die de leerlingen stellen is het niet de taak van de leraar om op elke vraag rechtstreeks te antwoorden. Integendeel, hij moet zich soms bedwingen om dit te doen om zo toe te laten dat leerlingen voor zichzelf leren denken en samen kennis kunnen opbouwen^{117, 212, 270}. Dit kan leerlingen aanzetten tot creatief en kritisch denken¹¹⁷.

Onderzoeksvragen

Veel wetenschapslessen vertrekken van een gegeven onderzoeksvraag, waarop een precieze uitvoering van vooraf vastgelegde stappen volgt, om tenslotte de oplossing te vinden op een vraag die niemand interesseert¹⁷⁴. Het is zinvoller om tijd te spenderen aan het opstellen van een zinvolle onderzoeksvraag. Dat leidt niet alleen tot een beter inzicht in de resultaten¹⁷⁴, maar de leerlingen verwerven bovendien eigenaarschap van de vraag, waardoor ze meer gemotiveerd zullen zijn²⁵. Het spreekt voor zich dat de leraar wel een begeleidende rol zal vervullen in het formuleren van een goede onderzoeksvraag.

De basis van een onderzoekende aanpak is het formuleren van vragen en hun omzetting naar een toetsbare hypothese. Deze veronderstelling kunnen de leerlingen dan toetsen door een onderzoek te plannen en uit te voeren. Het stellen van deze vragen is voor leerlingen soms de moeilijkste stap in het proces. Ze kunnen soms het gevolg zijn van activiteiten die de leerlingen zelf startten, maar zijn vaak een resultaat van doordachte verkenningen georganiseerd door de leraar. Reeds in de basisschool kunnen kinderen tot een toetsbare vraag komen^{158, 174} (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak), maar dit vraagt tijd. Vaak wordt er snel een vraag opgesteld, omgezet naar een hypothese om dan onmiddellijk tot het verzamelen van data over te gaan. Toch is het beter om daar tijd voor te maken zodat leerlingen aandacht kunnen schenken aan de criteria van een goede onderzoeksvraag. Vragen worden makkelijk gegenereerd wanneer leerlingen in groepjes werken^{174, 259} of wanneer ze individueel vragen kunnen noteren, die dan aan een gemeenschappelijke lijst worden toegevoegd zodat ze op elkaars ideeën kunnen voortbouwen¹⁷⁴. Leerlingen genereren meer vragen wanneer ze aangemoedigd worden om te vertrekken vanuit hun eigen kennis van en ervaring met het te onderzoeken fenomeen^{174, 259}. Dit betekent dat er best gestart wordt met een verkennend gesprek over wat de leerlingen al weten¹⁷⁴. Een interessant voorval of een organisme kan als trigger gebruikt worden om nieuwe vragen op te roepen. Leerlingen kunnen dan hun vragen noteren op kaartjes of post-its en deze vervolgens categoriseren. Het is interessant om leerlingen daarbij te laten nadenken over volgende categorieën: 1) vragen die ze niet kunnen oplossen, 2) vragen die ze kunnen oplossen door boeken of experts te raadplegen en 3) vragen die ze zelf kunnen oplossen door onderzoek. Leerlingen kunnen dan kiezen welke vraag ze binnen de gegeven

tijd willen onderzoeken. Klasdiscussies over hoe een vraag kan onderzocht worden zijn even belangrijk als de discussies over wat ze geleerd hebben uit het experiment¹⁷⁴.

Als leraar is het belangrijk om een goede basiskennis te hebben om zich zelfzeker te voelen. Toch kan het zijn dat leerlingen tot zeer spitsvondige onderzoeksvragen komen waarbij de leraar niet onmiddellijk een antwoord klaar heeft. Iedereen heeft zijn beperkingen in kennis. Waarom is de lucht soms roze? Hoe krijgen zeepaardjes baby's? Wat zijn de blauwe deeltjes in waspoeder? Waarom worden sommige muntstukken aangetrokken door een magneet en andere niet? Dit zijn goede vragen, ook al kunnen ze niet altijd onmiddellijk beantwoord worden¹⁵⁸. Desondanks moeten dergelijke waardevolle leerkanalen aangemoedigd worden, want ze bieden een kans om samen onderzoekend aan de slag te gaan en verdere klasdiscussies te promoten¹⁵⁸.

In het wiskundeonderwijs heeft men zeer positieve ervaringen opgedaan met het gebruik van foto's bij het formuleren van wiskundige onderzoeksvragen. Leerlingen beschrijven wat ze zien op de foto en de veronderstellingen waarvan ze uitgaan. Daarna formuleren ze vragen en zoeken ze naar een oplossing²⁷. Een voorbeeld uit het secundair onderwijs vind je in het tekstvak²⁷.



Onderzoeksvragen bij wiskunde²⁷:

Op een foto is een fietser te zien met op zijn bagagedrager een torenhoge stapel kranten waar bovenop een passagier zit die de krant leest.

Onderzoeksvragen die leerlingen formuleerden bij deze foto:

- ▶ Hoe hoog is de stapel?
- ▶ Hoe groot is de jongen
- ▶ Hoeveel gewicht draagt het achterwiel?
- ▶ Kan dit?

Kortom, goede en diepgaande vragen zijn de motor van een goede les. Als leraar is het belangrijk dat je inspirerende vragen stelt die leerlingen motiveren om aan de slag te gaan. Maar daarnaast is het ook belangrijk om leerlingen de ruimte te laten om zelf tot verwonderingsvragen te komen. Het stellen van goede vragen is een leerproces dat expliciet aan bod dient te komen tijdens de lessen.

3.6.2. Waarom dialoog en discussie in de klas?

Een dialoog is een gesprek tussen twee of meer personen. Het verschil met een discussie is dat bij de laatste werkvorm de partijen elkaar proberen te overtuigen met argumenten. Beide types van gesprek worden vaak door elkaar gebruikt in de klas.

Dialogoog met de leraar

Door het gebruik van een dialogoog ontdekt de **leraar** wat leerlingen denken. Hij leeft zich in in hun ontwikkelende ideeën en helpt hen om hun misconcepten aan te pakken¹⁰⁹. Eén manier om een dialogoog te voeren is de Socratische methode. Deze is ruim inzetbaar en is dus in principe geschikt voor elk vak. Door haar sterke analogie met de wetenschappelijke methode is ze echter uitermate geschikt voor STEM-vakken⁷⁴.



De Socratische methode bestaat theoretisch uit volgende stappen⁷⁴:

- 1) Stel een verwonderingsvraag: Wat is X?
- 2) Hypothese: Suggereer een aanvaardbaar antwoord (bv. een definitie) van waaruit een toetsbaar voorstel kan worden afgeleid.
- 3) Logische weerlegging: voer een gedachtenexperiment uit en tracht een tegenvoorbeeld te vinden bij het voorbeeld (formuleer aan de hand van een vraag). Wanneer een tegenvoorbeeld kan gevonden worden, keer dan terug naar stap 2 en pas het antwoord aan, indien niet, ga naar stap 4.
- 4) Aanvaard de hypothese voorlopig. Keer terug naar stap 3 mocht er alsnog een tegenvoorbeeld gevonden worden.
- 5) Handel in overeenstemming met de opgedane kennis⁷⁴.

Het verschil met de wetenschappelijke methode bestaat er voornamelijk in dat bij de wetenschappelijke methode de hypothese (of theorie) in stap 3 (zie tekstvak) meestal experimenteel getest wordt. Terwijl het bij de Socratische methode om een gedachtenexperiment gaat.

Bij de Socratische methode worden fouten van leerlingen beantwoord met een nieuwe vraag, ze worden niet beoordeeld (wat deze dialogoog verschillend maakt van de triadische dialogoog, zie einde van deze paragraaf)^{279, 280}. Naast de leraar-leerling interactie is het interessant om de dialogoog tussen leerlingen onderling te laten voeren. Men kan hen deze methode aanleren zodat ze elkaar op deze manier kunnen uitdagen en tot een consensus kunnen komen²⁸⁰. Bovendien leren ze op deze manier om gericht vragen te stellen²⁸⁰. Indien de leerlingen via de Socratische dialogoog geen consensus kunnen bereiken, dan kunnen ze alsnog een andere observatie of experiment uitvoeren (wetenschappelijke methode)^{182, 280}. In het begin kan het moeilijk zijn om deze methode in de klas in te voeren, vooral omdat leerlingen een dergelijke aanpak niet gewoon zijn. Socratische dialogoog vereist immers dat leerlingen actief op zoek gaan naar kennis²⁷⁹.

Niet elke dialoog tussen leerling en leraar is bevorderlijk voor het inzicht of de motivatie van de leerling:

- ▶ Triadische dialoog: Deze bestaat uit drie fasen: vraag (meestal van de leraar), antwoord van de leerling en evaluatie door de leraar. Dit type van gesprek kan een beperkend effect hebben op het denken van de leerling omdat de antwoorden kort en vastomlijnd zijn¹⁰⁹.
- ▶ Gezaghebbende dialoog, waarbij de leraar de controle heeft over de vragen en het gezochte antwoord. De antwoorden van de leerling bestaan uit losstaande woorden, maar het vertelt niets over zijn ideeën¹⁰⁹, waardoor de leerling onvoldoende de kans krijgt om zijn conceptueel denken te bevorderen¹¹⁵



Een voorbeeld geplukt uit een dialoog met Socratische inslag⁹⁰:

- ▶ Vraag: Wanneer een auto van een klif afrijdt aan 80 km/h en een andere wagen verlaat een tunnel aan de basis van de klif, waar zal de eerste auto landen ten opzichte van de tweede?
- ▶ Matt: De auto van bovenaf landt achter de auto op de grond.
- ▶ Vraag: Wanneer je uit de tunnel komt en naar boven kijkt, wat zie je?
- ▶ Matt: In het begin de volledige auto, maar daarna zal je minder en minder van de auto zien.
- ▶ Vraag: Dus de auto vertraagt ten opzichte van de auto uit de tunnel?
- ▶ Matt: Ja.
- ▶ Vraag: Wat vertraagt de auto?
- ▶ Matt: Niets. De zwaartekracht alleszins niet. Dus vertraagt het niet. Dus moet het bovenop de andere auto landen.

Het vraagt vaak tijd en geduld om leerlingen via discussies naar antwoorden te leiden en is er doorgaans enige druk om verder te gaan met de les. Daardoor kan de leraar in de verleiding komen om te onderwijzen door te vertellen. Dat is oké, het is zelfs wenselijk om af en toe over te schakelen naar een vertelmodus. Maar het blijft wel essentieel om goede vragen te blijven stellen. Met een snelvaart door de les gaan zonder het stellen van diepgaande vragen is alleszins een vergissing, net als leerlingen geen voorspellingen te laten maken of geen verklaringen te laten geven. Als vuistregel zou men kunnen stellen dat ongeveer de helft van de les moet bestaan uit activiteiten of experimenten en de rest van de tijd moeten leerlingen kunnen besteden aan het ontwikkelen van inzicht en begrip bij deze activiteit. Immers, in dit gedeelte van de les wordt de kennis, die door de activiteit werd geïllustreerd, ontwikkeld of ze gaat verloren¹⁷⁴.

Dialogo en discussie tussen de leerlingen onderling

Discussie in de klas die interessant en persoonlijk relevant is of die creativiteit van de leerlingen vraagt, leidt tot enthousiasme bij de leerlingen²¹². Uit onderzoek blijkt dat leerlingen meer gemotiveerd zijn en zich meer engageren wanneer door dialoog naar hun ideeën gepeild wordt en wanneer ze merken dat deze ideeën ook gewaardeerd worden¹⁶⁴. Bovendien toont recent onderzoek aan dat dialoog en argumentatie het **conceptuele denken** van leerlingen aanzienlijk kan verbeteren. Het kan leiden tot een groot aantal inzichten^{118, 212} en het intern herstructureren van de kennis⁴³. Om vanuit concrete ervaringen tot nieuwe inzichten te komen, moeten leerlingen daarover in dialoog kunnen gaan met medeleerlingen. Daardoor krijgen ze meerdere visies op een onderwerp¹⁵⁸ in plaats van enkel het perspectief van de leraar⁴³. Door het overbrengen van hun eigen ideeën, kunnen leerlingen op verschillende manieren nieuwe inzichten verwerven^{158, 284}: ze kunnen de oplossing van een probleem vinden door het uit te leggen aan iemand anders, of omgekeerd; het gebrek aan inzicht wordt duidelijk door het te proberen uit te leggen²⁸⁴. Bovendien kunnen leerlingen uiting geven aan hun onzekerheden¹⁵⁸ of aan het plezier dat ze beleven bij het onderzoek¹¹⁸.

Uit onderzoek blijkt dat leerlingen al van in de basisschool kunnen leren redeneren en discussiëren over wetenschap. Deze activiteiten hadden, naast het ontwikkelen van wetenschappelijk inzicht, ook een lange termijn effect: één jaar na dit onderzoek bleken de leerlingen bij probleemoplossende activiteiten nog steeds gebruik te maken van de communicatietechnieken die ze eerder verwierven. De leerlingen werkten beter samen, hun taal en cognitieve vaardigheden waren verbeterd en hun wetenschappelijk talent nam toe¹⁶⁵. Leerlingen die aangeleerd worden om onderling te discussiëren, kan je vaker vragen horen stellen zoals "Wat denk jij? Waarom denk je dat?". Elke leerling kan in principe leren om op deze manier te communiceren met elkaar¹⁵⁸. Leerlingen zullen bovendien niet vanzelf in dialoog gaan met hun medeleerlingen en het kan nodig zijn om eerst de **communicatieve vaardigheden** van leerlingen te oefenen²⁰⁸, waardoor ze leren conflicten te herkennen en op te lossen¹⁵⁰.

Klasdialoog kan herkend worden wanneer je onderbouwde bijdragen hoort van leerlingen, waarbij andere leerlingen luisteren en antwoorden op deze bijdragen¹⁰⁹. Het leren gebeurt gezamenlijk en leerlingen worden zich bewust van het belang dat ze hebben voor elkaar. Leerlingen ontdekken dat ze door samen na te denken over het probleem een oplossing vinden die vaak beter is dan de oplossing die elk individu apart zou aanreiken⁸⁴. STEM-onderwijs is een goede manier om duidelijk te maken dat taal er niet enkel is om informatie uit te wisselen, maar dat ze ook gebruikt kan worden om samen **ideeën te ontwikkelen** ('interthinking'), dus dat taal het denken ondersteunt^{84, 158}.

Leerlingen kunnen door dialoog hun wetenschappelijke en wiskundige¹⁸⁵ **taal en woordenschat** ontwikkelen^{109, 114}. Door dialoog demonstreren leerlingen dat ze op een strikt wetenschappelijke manier kunnen redeneren¹¹⁸.

De **rol van de leraar** bestaat erin om leerlingen te helpen bij het uiten van hun ideeën en bij het opbouwen van een samenhangende discussie.¹⁵⁸ Hij kan de antwoorden van de leerlingen anders verwoorden (parafraseren) om zo onduidelijkheden in hun antwoord weg te werken.^{109, 174} Hij moedigt de leerlingen aan om uitleg en argumentatie te geven^{174, 294}, maar last soms ook een stilte in om zo de leerlingen de

ruimte te laten om hun ideeën te vormen^{174, 259}. Wanneer leerlingen ideeën uiten die correct zijn, is het belangrijk om deze te aanvaarden maar ruimte te laten voor andere ideeën. Immers, wanneer je als leraar onmiddellijk duidelijk maakt dat deze correct zijn, voorkom je dat andere leerlingen hun ideeën nog zullen uitten^{174, 284}. Weten wat fout is, is tenslotte even belangrijk als weten wat juist is.¹⁸⁹



Het uitstellen van antwoorden¹⁷⁴:

- ▶ Een leraar wil samen met de leerlingen ontdekken waarom de schaduw doorheen het jaar van lengte, vorm en richting verandert en laat de leerlingen dagelijks schaduwen observeren en aantekeningen maken.
- ▶ " In het begin, zeg ik niets. Ik beantwoord geen enkele vraag. In de plaats daarvan vraag ik de kinderen om na te denken over de vragen en uit te zoeken hoe ze zelf de antwoorden kunnen vinden. Wanneer ze snel tot conclusies komen over wat ze observeren, bevestig of ontken ik geen enkele conclusie. Het is pas na de winterzonnewende, wanneer de schaduwen weer korter worden, dat we een diepgaande discussie hebben over wat ze leerden over de zon en de schaduwen. Om tot dit punt te komen moet er eerst weer basiswerk gebeuren tijdens het jaar¹⁷⁴"

Toch zal niet elke discussie tot inzichten leiden. Sommige onderzoekers merken op dat leerlingen door discussie eerder hun sociale vaardigheden trainen dan dat ze hun ideeën aanpassen of hun kennis opbouwen¹⁵⁰. Discussies tussen leerlingen onderling zijn dus **niet altijd productief of zinvol**: de samenwerking kan spaak lopen of de leerlingen zijn niet op de taak gericht. Opdrachten zoals "praat er samen over om tot een beslissing te komen" of "bediscussieer dit in groepjes", zijn niet altijd duidelijk voor leerlingen. Leerlingen zijn het vaak niet gewoon om te discussiëren en de criteria voor een doelgerichte discussie moeten dan ook duidelijk gemaakt worden¹⁶⁵ (zie tekstvak).



Wat maakt een discussie goed?¹⁵⁸

Zowel leerlingen als leraren zijn het erover eens dat de voorwaarden voor een zinvolle discussie de volgende zijn:

- ▶ iedereen moet aandachtig luisteren;
- ▶ iedereen moet deelnemen aan de discussie;
- ▶ alle relevante informatie wordt gedeeld;
- ▶ iedereen stelt vragen;
- ▶ ideeën en meningen worden op een respectvolle manier in vraag gesteld;
- ▶ iedereen vraagt naar argumentatie van ideeën en geeft deze ook zelf;
- ▶ er wordt samen op zoek gegaan naar een groepsakkoord vooraleer verder te gaan^{158, 165}.

Toch zullen er af en toe nog conflicten ontstaan tijdens discussies, dit kan ook gezien worden als een deel van het groeiproces⁴³. Hoewel leerlingen dus misschien niet altijd luisteren naar elkaar wanneer er een meningsverschil is, beïnvloeden ze toch elkaars argumenten en wisselen ze ideeën uit⁴³. Het aanleren van communicatieve vaardigheden kan dus, zoals eerder aangehaald, nuttig zijn²⁰⁸. Hoewel andere onderzoekers er dan weer van overtuigd zijn dat leerlingen deze vaardigheden ook zonder begeleiding van de leraar kunnen ontwikkelen¹⁸³.

Enkele **werkwijzen** om leerlingen aan te zetten tot klasdiscussie zijn discussiekaarten^{56, 164}, poppen, concept cartoons (zie Hoe? 3.8. Evalueren en 3.10. Praktische voorwaarden: leermiddelen) en het werken in kleine groepjes.

Discussiekaarten geven leerlingen de kans om in kleine groepjes hun eigen ideeën en kennis af te toetsen aan deze van hun medeleerlingen. Bovendien gebeurt dit in de veilige omgeving van groepswerk, een omgeving waar het aanvaardbaar is om toe te geven dat je iets niet weet¹⁶⁴.

Poppen worden voornamelijk in het basisonderwijs toegepast en zijn het meest efficiënt wanneer ze, zoals concept cartoons, leiden tot conceptuele conflicten²²². Het voordeel van poppen is dat de leerlingen de pop als een gelijke behandelen en niet zien als een autoriteit²²², dit in tegenstelling tot de leraar. Kinderen doen hun best om de pop te helpen bij het oplossen van het probleem en verbeteren de fouten die de pop maakt ("Mistakes are often better for learning than correct answers."¹²⁴ (p.33)). Onderzoek wijst uit dat kinderen meer praten^{124, 222}, meer in dialoog gaan en hun ideeën beter uitleggen en verantwoorden aan deze poppen. Vooral bij kinderen die in andere omstandigheden weinig praten is het effect van deze poppen groot¹²⁴.

Concept cartoons worden voornamelijk in wetenschaps- en wiskundeonderwijs gebruikt en zetten leerlingen aan om hun eigen denkbeelden in vraag te stellen. Concept cartoons blijken bovendien een positief effect te hebben op de zelfwerkzaamheid en interesse van leerlingen²¹⁸.

Werken in kleine **groepjes**, ten slotte, laat niet alleen toe dat elke leerling zijn mening kan uiten, maar het creëert ook veiligheid voor de klasdiscussie die er kan op volgen. De groepsleden kunnen elkaar immers steunen in deze discussie¹⁵⁸. De argumentatie in groepjes blijkt bovendien productiever te zijn in afwezigheid van de leraar. In kleine groepjes discussiëren leerlingen immers als gelijken¹⁸³.

Na een onderzoek of bij het afwerken van een ontwerp is het aangewezen om dit onderzoek of dit ontwerp klassikaal te bespreken tijdens een klasdiscussie. Leerlingen kunnen de resultaten van hun onderzoek aan elkaar voorstellen (bijvoorbeeld aan het bord), waarna een diepgaande discussie over de resultaten volgt²⁷⁵. Het blijkt dat een dergelijke klasdiscussie het inzicht van leerlingen in hun onderzoek en in hun onderzoeksresultaten vergroot. Deze discussie geeft feedback op hun onderzoeksproces, waardoor het afgerond wordt. Bovendien sluit deze finale argumentatieronde aan bij de manier waarop onderzoek in realiteit verloopt¹²⁹. Als alternatief kan gevraagd worden om een rapport te schrijven voor hun medeleerlingen, die het dan aan een peer review onderwerpen¹²⁹.

3.6.3. Waarom debatteren in de klas?

Een debat is een vorm van discussie waarbij het de bedoeling is een stelling te verdedigen of aan te vallen. Het verschil met een discussie is dat bij een discussie getracht wordt om de andere door middel van argumenten te overtuigen om een ander standpunt in te nemen of tot een compromis te komen. Bij een debat daarentegen verdedigen de partijen hun eigen standpunt en wijken ze in de regel niet af van hun standpunt. Een debat zal eerder gaan over sociaal-wetenschappelijke en ethische onderwerpen. Een goed debat vraagt van de leerlingen naast een degelijke inhoudelijke kennis, inzicht over hoe een goede argumentatie opgebouwd wordt²⁷¹ en het vraagt dus een kritische ingesteldheid. Het inbouwen van een debat in het STEM-onderwijs wordt steeds belangrijker omdat de maatschappelijke controverse rond wetenschap en techniek toeneemt, naarmate deze aspecten belangrijker zijn geworden in onze maatschappij^{79, 271}. Er zijn dan tal van onderwerpen te vinden om een debat rond te voeren. Een debat helpt leerlingen een standpunt in te nemen. Dit sluit aan bij de vakoverschrijdende eindtermen: "Rekening houdend met de kenmerken van duurzaamheidsvraagstukken, zijn de eindtermen in deze context gericht op: o.a. kennis en inzicht, maar ook met aandacht voor het ontwikkelen van waarden en normen, want men mag ethische dilemma's niet uit de weg gaan"²⁶⁵. Deze debatten kan men eventueel starten met cartoons waarop verschillende meningen weergegeven zijn, naar analogie van concept cartoons⁹⁴.



Mogen dieren gebruikt worden voor wetenschappelijk onderzoek? Zijn rijke landen meer verantwoordelijk voor klimaatverandering dan ontwikkelingslanden en zouden ze dus meer moeite moeten doen om de gevolgen te bestrijden? Kan techniek de duurzaamheidsvragen oplossen of is ze eerder de oorzaak ervan?

Besluit

We hebben in de loop van dit hoofdstuk kunnen vaststellen dat de redenen om vragen stellen, dialoog, discussie en debat in te bouwen in de les velerlei zijn: ze bevorderen het conceptueel en kritisch denken bij de leerlingen, ze leren correct wetenschappelijk taalgebruik te hanteren, het stimuleert de sociale en communicatieve vaardigheden en het werkt motiverend en enthousiasmerend. Toch is dit een proces dat moet aangeleerd worden en niet vanzelf groeit. We mogen niet uit het oog verliezen dat voor de leraar ook hier een belangrijke coachende rol weggelegd is.

3.7. Hoe (probleemoplossend) denken in de klas stimuleren?

Logica brengt je van A naar B. Verbeelding brengt je overal. Albert Einstein

Nieuwsgierigheid naar alle aspecten van het leven is, denk ik, het geheim van alle grote creatieve geesten. - Leo Burnett

Wat is denken en hoe kan denken bevorderd worden? Van Velzen²⁵⁸ maakt onderscheid tussen vijf denkvaardigheden: logisch denken (redeneerproblemen), onderzoekend denken, creatief denken, kritisch denken en beslissend denken.



Van Velzen²⁵⁸ omschrijft vijf vormen van denken²⁵⁸ (p.55):

"Bij **redeneerproblemen** is er sprake van logisch afleiden van informatie. Redeneerproblemen zijn eenvoudig op te lossen door redeneerstrategieën te gebruiken;

Bij **onderzoekend denken** gaat het om vinden van mogelijkheden die vervolgens worden uitgetoetst: redeneren om voorspellingen (hypotheses) te bedenken en om observaties te verklaren, om deze vervolgens te toetsen;

Bij **creatief denken** gaat het om alternatieven: redeneren om iets nieuws of iets enigszins anders te bedenken;

Bij **kritisch denken** gaat het om een zorgvuldige afweging: redeneren zodat een weloverwogen conclusie wordt verkregen;

Bij **beslissend denken** gaat het om het maken van een keuze: redeneren waarbij een persoonlijke afweging wordt gemaakt."

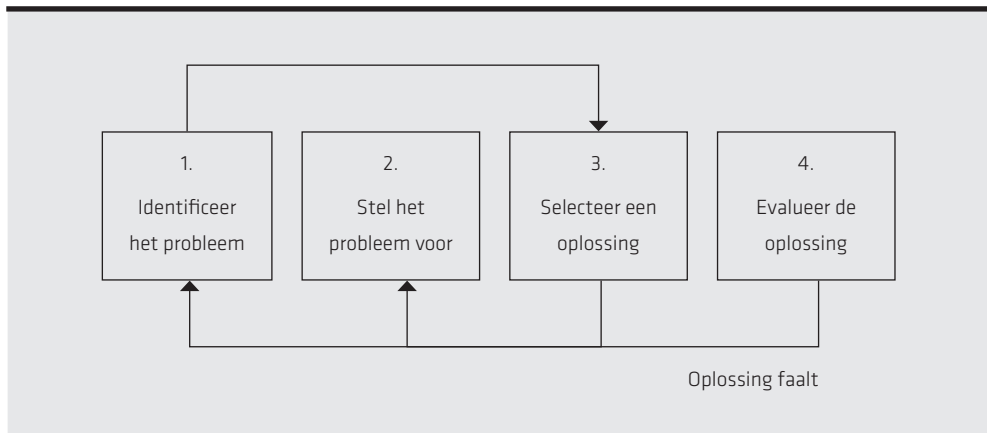
Het is niet onze bedoeling om een theoretische achtergrond aan te bieden over de verschillen en gelijkenissen tussen de verschillende manieren van denken. In dit hoofdstuk zullen we voornamelijk ingaan op concrete werkwijzen die hun nut bewezen hebben bij het bevorderen van deze denkprocessen en die toegepast kunnen worden in de klas.

Eerst zullen we enkele algemeen probleemoplossende denkprocedures (heuristieken) en algemene aspecten in verband met probleemgestuurd onderwijs bespreken (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren). Gezien er in recente literatuur veel aandacht is voor creatief denken en kritisch denken, zullen we vervolgens een groot deel van dit hoofdstuk daaraan wijden. Onderzoekend denken wordt aangepakt in de paragraaf Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak.

3.7.1. Hoe probleemoplossend denken?

Algemeen probleemoplossende denkprocedures

Probleemoplossende vaardigheden kunnen ondersteund worden wanneer men als lerende bepaalde algoritmes/strategieën volgt²⁵⁸. Figuur 3 toont zo een strategie: het probleem identificeren, het probleem voorstellen, een oplossing kiezen en de oplossing evalueren⁶⁴. Soms is het niet nodig om gedetailleerde oplossingsstrategieën te zoeken (stap 2). Indien de leerling voldoende kennis heeft, kan hij deze stap overslaan. De figuur toont ook een aantal terugkoppelingsmogelijkheden indien de oplossing niet voldoet. De leerling moet zich dan het probleem op een andere manier proberen voorstellen of een nieuwe oplossingsstrategie kiezen. Onderzoek toont aan dat leerlingen veel baat hebben bij het aanleren van probleemoplossende strategieën²¹⁶. Een algemene leerstrategie zoals in Figuur 3 wordt het best aangeleerd via het concreet oplossen van problemen in specifieke situaties.²¹⁶



Figuur 3: Algemeen probleemoplossende denkstrategie²¹⁶

Daarnaast kan het zinvol zijn leerlingen bij bepaalde types van problemen een specifieke oplossingsstrategie aan te bieden. Bij wiskundeonderwijs bijvoorbeeld heeft men aangetoond dat rekenzwakke leerlingen geholpen zijn met een specifieke strategie. Daardoor kunnen ze er toch in slagen de oefeningen te abstraheren en op te lossen²⁸⁶.

Onderzoek toont aan dat er ten minste **drie belangrijke voorwaarden** zijn om het oplossen van problemen te verbeteren. Ten eerste moeten leerlingen vakkennis verwerven, het vereist op zich al een aantal strategieën om zich die kennis eigen te maken. Leerlingen kunnen deze vakkennis verwerven door onderwijs te krijgen of via reflectieve praktijk onder begeleiding van een leraar of medeleerling. Een tweede voorwaarde is dat leerlingen bewust worden gemaakt van strategieën om problemen aan te pakken, zoals in Figuur 3 getoond werd²¹⁶ (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren). Ten derde dient men gebruik te maken van voorstellingen die de cognitieve belasting verminderen. Deze voorstellingen kunnen tabellen, stroomschema's, diagrammen, tijdlijnen... zijn. Het is van belang dat de leerlingen de hoeveelheid informatie die zij in het geheugen moeten houden (en verwerken) minimaliseren door het te vertalen naar een model. Deze probleemoplossende technieken blijken bovendien metacognitie en zelfregulatie te bevorderen²¹⁶ (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren). Metacognitie en reflectie maken onlosmakelijk deel uit van de verschillende aspecten van probleemoplossend denken en kunnen er niet los van gezien worden. Onderzoek toont aan dat het expliciete aanleren van probleemoplossende strategieën leerlingen helpt om beter inzicht te krijgen in problemen, dit in vergelijking met leerlingen die deze strategieën niet kregen²¹⁶.

Tijdens een onderzoek in de basisschool in verband met het oplossen van logische problemen werden drie groepen vergeleken: een eerste groep kreeg een training waarin probleemoplossende vaardigheden gecombineerd werden met metacognitieve vaardigheden (zoals: lees het probleem aandachtig, verklaar het probleem en denk aan analoge problemen); aan een tweede groep werden probleemoplossende vaardigheden aangeleerd en een derde groep kreeg geen training. Het bleek dat de eerste groep na de training meer moeilijke problemen oploste dan de andere groepen. Bovendien hadden ze er ook minder tijd voor nodig^{66, 216}.

Probleemgestuurd onderwijs is, naast contextgericht onderwijs⁷⁸, een benadering die vaak wordt gepromoot in Europa. Probleemgestuurd onderwijs richt zich op het verwerven van kennis en vaardigheden door het analyseren en oplossen van authentieke problemen. Het leren wordt vaak georganiseerd in kleine groepen onder leiding van een docent, die optreedt als begeleider en die zichzelf op termijn quasi overbodig maakt (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren). Nieuwe informatie wordt verkregen door zelfstudie en de problemen worden gebruikt als middel om de vereiste kennis te verwerven.⁷⁸ Men kan dus besluiten dat het zinvol is om probleemoplossende strategieën expliciet aan bod te laten komen in het onderwijs, bij voorkeur vakoverschrijdend en met aandacht voor het ontwikkelen van metacognitieve vaardigheden.

Probleemoplossend werken in wiskunde

Veel onderzoek naar probleemgestuurd onderwijs en probleemoplossende strategieën houdt verband met wiskundeonderwijs. Daarom besteden we in deze paragraaf expliciet aandacht aan het onderzoek binnen wiskundeonderwijs.

Veel problemen in wiskunde zijn zo geformuleerd dat ze net voldoende informatie bevatten om het probleem op te lossen. Dit is trouwens vaak ook het geval bij natuurwetenschappen. Meer informatie in de opgave brengt leerlingen in de war en bij te weinig informatie wordt het probleem door de leer-

lingen als 'onoplosbaar' geclassificeerd. Dergelijke probleemstellingen met net voldoende informatie zijn volledig kunstmatige situaties die we alleen maar op school terugvinden. In realiteit worden problemen zelden zo in detail gedefinieerd. Een alternatief voor dergelijke problemen zijn open vragen die meer dan één oplossingswijze hebben. In dat geval kunnen leerlingen het niet leuk vinden dat het probleem niet één 'juiste' oplossingsmethode en oplossing heeft en de gegevens incompleet zijn, maar dergelijke taken geven wel aanleiding tot een onafhankelijke benadering van het probleem, waardoor ze een gevoel van autonomie krijgen²⁴⁸.



Een voorbeeld: Haar groeit zeer langzaam. Vandaag zal tijdens de wiskundeles elk haartje op jouw hoofd een klein beetje gegroeid zijn. Stel je voor dat al deze stukjes naast elkaar zouden geplaatst worden. Wat is de totale lengte dat jouw haar tijdens de les gegroeid is?²⁴⁸

Zelfs bij routinematige problemen zouden leraren meer aandacht moeten besteden aan wiskundige vaardigheden en zouden ze vaker de wiskundige creativiteit en verbeelding moeten aanpreken. Maar hoe doe je dit? Het antwoord ligt opnieuw in het creëren van open vragen (zie tekstvak), waardoor de taak van de leerlingen meer gevarieerd wordt.²⁴⁸



Creëren van open vragen

In plaats van je leerlingen deze bewerkingen te laten uitvoeren $24 \times [(9 + 8) : 2]$. Kan je opdracht anders formuleren: Neem de getallen 24, 9 en 8

- ▶ Gebruik ze om 5 verschillende bewerkingen uit te voeren;
- ▶ Vind drie bewerkingen die een resultaat geven tussen 0 en 10;
- ▶ Vind drie bewerkingen die een resultaat geven tussen 100 en 110;
- ▶ Bedenk rekenproblemen waarbij je haakjes gebruikt.

Maak gebruik van rekenverhalen: leerlingen vinden het vaak moeilijk om problemen in tekstvorm op te lossen, sommigen vinden deze opgaven zelfs 'bedreigend'. Hier kan je op inspelen door leerlingen zelf dergelijke problemen te laten formuleren die aansluiten bij hun leefwereld (zie tekstvak). Daardoor zal de leerling een deel van het 'ontzag' dat hij heeft voor dergelijke problemen verliezen. Bovendien leren ze zo hoe ze op een begrijpelijke manier data in een tekst kunnen verwerken.



Laat leerlingen rekenverhalen creëren

Dit is zo'n verhaal geschreven door leerlingen van het tweede jaar secundair onderwijs: The Backstreet Boys in 1998. De leeftijd van alle Backstreet Boys samen is 107 jaar. Kevin is één jaar ouder dan Brian en Howie. Nick is zes jaar en A. J. vijf jaar jonger dan Kevin. Hoe oud zijn ze allemaal?²⁴⁸

Wiskundige problemen zijn vaak routinematig. Het is belangrijk daarvan af te wijken en leerlingen geregeld niet-routinematige problemen voor te leggen. Het al dan niet niet-routinematig zijn van problemen hangt samen met de geschiedenis en de kennis van de persoon die ze moet oplossen. Indien de leerling deze problemen oplost, dan zal hij er in de toekomst immers anders tegenaan kijken en kunnen deze problemen op termijn routinematig worden. Ook in de aanbevelingen volgend op de peilingen wiskunde in Vlaanderen werd erop gewezen dat de kwaliteit van de aangeboden problemen beter kan. Vraagstukken kunnen vaak routinematig opgelost worden, terwijl leerlingen nood hebben aan oefeningen met een hoger probleemgehalte, dat echt denkwerk vereist²⁶⁶. Uit onderzoek blijkt dat puzzelachtige problemen, waarbij de oplossingsmethode niet onmiddellijk duidelijk is, weinig voorkomen in handleidingen. In het beste geval kan men ze tegenkomen in extra materiaal voor goede presteerders⁷². Uit onderzoek blijkt dat net de goede presteerders vaak sneller opgeven bij dergelijke problemen. Het zwakke punt van deze hoge presteerder bleek net het gebrek aan doorzettingsvermogen te zijn. Deze attitude wordt bovendien nog versterkt door het feit dat deze leerlingen meestal niets opschrijven om hun gedachten te ondersteunen wanneer ze een probleem oplossen. Het is vrij alarmerend dat deze leerlingen vrij snel opgeven na enkele pogingen. Een mogelijke verklaring kan zijn dat deze leerlingen niet doorzetten omdat ze zelden voor een uitdagend (wiskundig) probleem gesteld worden dat een grondig onderzoek vereist. Normaal gezien moeten ze immers niet lang nadenken wanneer ze een probleem tegenkomen⁷².

Uit onderzoek blijkt dat leerlingen vaak traditionele algoritmes verkiezen omdat ze op deze manier controle houden. Wanneer ze daartoe aangemoedigd worden, vertonen de meesten wel flexibiliteit in hun denken en benaderingen, waardoor ze er uiteindelijk in slagen een grote variatie in problemen op te lossen¹⁸⁵. Het zelfvertrouwen en het gebruik van gevarieerde oplossingsmethodes kan aangemoedigd worden door binnen elk onderwerp het oplossen van problemen aan bod te laten komen. Rekenvaardigheden kunnen bijvoorbeeld versterkt worden door het aanbieden van gevarieerde problemen: problemen met betrekking tot metend rekenen, gegevensverwerking en zinvolle toepassing bij vakoverschrijdende thema's¹⁸⁵. Onderzoek toont aan dat wiskundeonderwijs drastisch dient te veranderen. Eigen oplossingsmethodes noteren en werken met open probleemstellingen en leersituaties zouden meer aan bod moeten komen¹². Bovendien zijn gedifferentieerde taken de geschikte manier om leerlingen met een verschillend niveau, tempo en leerstijl toch uit te dagen en te activeren²⁷.

Kortom: wiskundeonderwijs zou meer gericht moeten zijn op contextgebonden, open probleemstellingen die niet routinematig zijn. Dit wil niet zeggen dat de wiskundige kennis niet regelmatig moet inge-

oefend worden, maar door de probleemstellingen anders te formuleren kan het routinematige karakter doorbroken worden, waardoor ook goede presteerders gemotiveerd blijven en ook bij hen beroep op hun doorzettingsvermogen gedaan wordt. Daarnaast dient ook rekening gehouden te worden met de specifieke onderwijsbehoeften van elk kind. Instructie op maat, differentiatie en zorg maken onlosmakelijk deel uit van goed wiskundeonderwijs.

3.7.2. Creatief denken

Creativity is intelligence having fun. Albert Einstein

Wat is creativiteit? Creativiteit is het vermogen om werk te produceren dat zowel vernieuwend is (m.a.w. origineel, onverwacht) en gepast (m.a.w. bruikbaar en aanpasbaar volgens de taakvereisten)²³³. Creativiteit is één van de sleutelcompetenties die vermeld worden in de vakoverschrijdende eindtermen²⁶⁵. Momenteel is het aanmoedigen van vindingrijkheid virtueel afwezig in traditioneel onderwijs, voornamelijk omdat veel mensen creativiteit zien als een kwaliteit die je hebt of niet hebt en die slechts beperkt kan geleerd of verbeterd worden¹⁶. Het is bekend dat motivatie en creativiteit positief gecorreleerd zijn^{14,276}. Daarnaast zal intrinsieke motivatie de creativiteit meer prikkelen dan extrinsieke motivatie. De uitdaging voor leraren is dan ook om uitdagende opdrachten te geven die de verbeelding en intrinsieke motivatie van leerlingen stimuleren¹⁴. De selectie van de opdracht is dan ook van groot belang om tot volgehouden inspanning en betere resultaten te komen²⁷⁶. De directe leefwereld van de leerlingen en de gebeurtenissen in en rond de school kunnen daarbij een inspiratiebron zijn. Bijvoorbeeld: leerlingen zoeken naar creatieve manieren om de verkeersveiligheid op en rond de school te verbeteren¹⁴ en koppelen daar een actieplan aan.

Onderzoek toont aan dat leerlingen aanzienlijk meer originele oplossingen suggereren na het volgen van een creativiteitstraining dan de controlegroep.¹⁶ Dit onderzoek suggereert dat leerlingen baat hebben bij het leren van dergelijke methodieken. Deze methodes dienen echter gezien te worden als een heuristiek die hen bij het denkproces begeleidt en niet als een strikt stappenplan. De hoofdzaak is leerlingen manieren aan te bieden die hun eigen denken helpen ontwikkelen¹⁶.

Er is een groot potentieel om creativiteit en innovatie te integreren in het onderwijs. In het Verenigd Koninkrijk is het een verplicht onderwerp in het onderwijs. In Vlaanderen is het nog een quasi onontgonnen terrein¹⁴⁶. Toch kan het creatieve proces zowel in de basisschool²⁷⁶, de secundaire school¹³² als in het hoger onderwijs³⁴ succesvol toegepast worden. Het huidige onderwijs maakt voornamelijk gebruik van lagere cognitieve vaardigheden van de leerlingen, wat een beperkend effect kan hebben op de natuurlijke nieuwsgierigheid en creativiteit²⁹⁴. Op beleidsniveau wordt er momenteel behoorlijk wat aandacht besteed aan de termen creativiteit en innovatie, maar de transfer naar de reële klaspraktijk (o.a. leermaterialen, instructie, evaluatie) blijft nog een uitdaging voor de nabije toekomst en vraagt bijkomend onderzoek.

Creativiteit uitlokken bij STEM-onderwijs

Creativiteit wordt vaak geassocieerd met techniek^{25, 144, 146, 168, 276} (zie Hoe? 3.4. Technisch proces). Het ontwerpproces en het vinden van innovatieve oplossingen zijn bijzonder geschikt om het creatieve potentieel van kinderen te ontwikkelen¹⁴⁶. Maar ook in wiskunde^{35, 108, 231} en wetenschap^{63, 132} is creativiteit een belangrijke component. Creativiteit in wetenschap blijkt het meest effectief getriggerd te worden via een onderzoekende aanpak⁶³. Bij wiskundeonderwijs is het belangrijk de creatieve inbreng van leerlingen te waarderen, daarom is het aangewezen dat leraren openstaan voor alternatieve benaderingen van problemen²³¹ en meer gebruik maken van open problemen²⁴⁸. Creativiteit kan in wiskunde ook gestimuleerd worden door vakoverschrijdend te werken, bijvoorbeeld door kunst in de lessen te integreren en het esthetische aspect van wiskunde te laten zien¹⁰⁸ of, omgekeerd, wiskunde als instrument te gebruiken bij het creëren van kunst¹⁰⁸.



Hoe het creatieve proces in de klas faciliteren²⁷⁴?

- ▶ Vermijd extrinsieke beloningen om leerlingen te motiveren (punten, overdreven publieke erkenning...) en overdreven gebruik van competitie, omdat dit de creatieve ideeën kan verstikken²⁷⁴.
- ▶ Geef voldoende keuzemogelijkheden en kansen op ontdekking¹⁴. Vermijd het overdreven beperken van keuzes. Hoewel keuzebeperking een noodzakelijk deel is van het klashouden, mogen deze beperkingen geen ballast vormen. Hoe groter de autonomie van de leerlingen, hoe groter hun intrinsieke motivatie²⁷⁴.
- ▶ Kennis bij de leerling is gunstig voor het creatieve proces^{14, 274, 276}, hoewel het ook aangetoond is dat, hoe meer kinderen weten, hoe moeilijker ze tot out-of-the-box denken komen. Vijfjarigen zullen bijvoorbeeld een gereedschap eerder voor een atypisch doel gebruiken dan zes- of zevenjarigen, omdat deze laatste reeds weten wat het doel van het gereedschap is¹⁴⁶. Het kan dus nodig zijn om leerlingen te stimuleren om los te komen van de aannames (vooronderstellingen) waarvan ze vertrekken¹⁴⁶.
- ▶ Falen is een fundamenteel deel bij ontwerpen. In het onderwijs wordt falen vaak als een negatief effect gezien, maar het biedt ook leerkansen om nieuwe inzichten te creëren.
- ▶ Bestrijd de mythe van de uitvinder/ontwerper als een eenling. Een team-georiënteerde cultuur is belangrijk bij industrieel design, daarom moet een coöperatieve sfeer in de klas aangemoedigd worden²⁷⁴.
- ▶ Maak het doel duidelijk en focus op het bereiken van het doel¹⁴.
- ▶ Stimuleer nieuwsgierigheid, exploratie en laat leerlingen risico's nemen^{14, 107}.
- ▶ Stimuleer de intrinsieke motivatie, het zelfvertrouwen en het geloof in eigen creativiteit¹⁴.
- ▶ Ontwikkel zelfgestuurd leren (metacognitieve vaardigheden)¹⁴.
- ▶ Faciliteer creatief denken door het aanbieden van technieken en strategieën die het creatief denkproces bevorderen¹⁴.

Hoe het creatieve proces in de klas brengen?

Het creatieve proces wordt vaak in vier fasen opgedeeld: het analyseren van het probleem, het genereren van ideeën (divergerende fase), de evaluatie van ideeën (convergerende fase) en tenslotte het maken van een selectie²⁵³. Tussen de analysefase en de divergerende fase is het aan te raden voor de leerlingen een incubatieperiode van enkele dagen te voorzien. Onderzoek toont aan dat leerlingen dit nodig hebben om tot creatieve ideeën te komen. Hoewel deze incubatieperiode ook niet veel meer dan een week mag bedragen²⁷⁶. Het creatieve proces vraagt dus tijd en het is waarschijnlijk dat een te drukke agenda een impact kan hebben op de mogelijkheid van kinderen om hun ideeën volop te ontwikkelen en te ontplooiën²⁷⁶. De divergerende fase wordt vaak gelijkgesteld aan de creatieve fase, terwijl de convergerende fase wordt gezien als een fase die beperkingen oplegt. Toch zijn beide fasen evenwaardig en nodig om tot een goede probleemoplossing te komen. Creatieve processen vragen immers de integratie van divergent en convergent denken. Het kenmerk van een goede probleemoplosser is trouwens dat men snel kan wisselen tussen beide denktechnieken. Enkel focussen op het creëren van ideeën kan aanleiding geven tot quasi-creativiteit of pseudo-creativiteit, namelijk doordat deze ideeën niet geëvalueerd worden.¹³

Eerst dient het **probleem** helder en duidelijk afgebakend te zijn voor diegene die een idee of een oplossing moet bedenken²⁵³. Tijdens de fase van het **ideeën genereren** (de divergerende fase) worden zo veel mogelijk ideeën gegenereerd¹⁴. Hiervoor kan de leraar verschillende methodieken aanreiken¹⁴⁶. Er zijn tal van methodieken ontwikkeld die we niet in detail zullen bespreken, er zijn immers tal van inspirerende boeken daarrond te vinden^{37, 253}. Technieken zoals associatief denken^{14, 95}, brainstorming¹⁴, analoog en metaforisch denken, combinatie denken¹⁴⁶, mindmapping¹³, het innemen van andere standpunten⁶³ bijvoorbeeld met behulp van de denkhoeden van de Bono⁵⁷, zijn er slechts enkele. Tijdens deze fase worden leerlingen aangemoedigd om in een kritiekloze omgeving ideeën te genereren⁶³. Ook absurde ideeën zijn welkom¹³, voorlopig los van de haalbaarheid ervan.

Tijdens de **convergerende fase** worden de ideeën onderzocht en geëvalueerd. Ook dit kan op allerlei manieren gebeuren: de COCD-box® (Centrum voor Ontwikkeling van het Creatief Denken)³⁷, hits per doelgroep³⁷, Dr. Love³⁷, plus-min- interessant^{13, 161} of een SWOT (strengths, weaknesses, opportunities, threats)-analyse. Op basis van de resultaten van de convergerende fase wordt tenslotte een **selectie** gemaakt van het beste idee of ontwerp, daarna volgt actie om het idee uit te voeren.

Bovenstaand model krijgt de laatste tijd kritiek omdat het oplossen van problemen en ontwerpen geen lineaire proces is. Bovendien is er een groeiend besef dat niet alle methodieken om ideeën te genereren (zoals brainstorm) zo productief zijn als voorspeld. Een alternatieve benadering is dan ook het 'idea focusing'-concept of 'in-box' thinking'. Centraal hierbij staat dat divergent denken en convergent denken gelijkwaardige alternatieven zijn om op een creatieve manier problemen op te lossen.

Het 'idea focusing' concept gaat uit van 'geordend' denken om ideeën te genereren, in plaats van de gebruikelijke 'ongeordende' denkwijzen zoals brainstorming. De onderzoekers stellen dat creatieve individuen geen nieuwe ideeën produceren, hun ideeën komen voort uit een grote set van goed ontwikkelde, probleemoplossende vaardigheden en een rijke domein-relevante kennis.¹⁶ Of zoals Steve Jobs

stelt: "Creativity is just connecting things. When you ask creative people how they did something, they feel a little guilty because they didn't really do it, they just saw something. It seemed obvious to them after a while. That's because they were able to connect experiences they've had and synthesize new things." Men kan dan ook niet verwachten dat leerlingen op innovatieve ideeën komen door 'een vrije stroom van gedachten' of pogingen om 'outside the box' te denken voordat ze enige ervaring hebben met het oplossen van problemen in gerelateerde onderwerpen¹⁶.

Het 'idea focusing' concept maakt gebruik van vijf 'denkgereedschappen' (een illustratie is hieronder te vinden):

- ▶ **Samenvoegen:** zoek een nieuwe functie voor een bestaande component van het systeem^{14, 16}.
- ▶ **Dupliceer:** voeg een kopie (of een aangepaste kopie) van een bestaand object toe¹⁶.
- ▶ **Opdelen:** verdeel of demonteer het systeem in zijn verschillende componenten¹⁴ en verbind de delen onderling met elkaar¹⁶.
- ▶ **Elimineer:** elimineer een component van het systeem, samen met zijn functie^{14, 16}.
- ▶ **Breken van symmetrie:** het veranderen van symmetrische / asymmetrische relaties tussen systeemvariabelen of -functies. Symmetrie is mooi, maar zet ook vast. Het doorbreken van symmetrie kan tot nieuwe oplossingen leiden¹⁶.

Uit onderzoek in het lager secundair blijkt dat leerlingen deze 'geordende' manier verkiezen boven de 'ongeordende' brainstormtechnieken die hen ook aangeleerd werden. Bovendien gingen zij deze denkpatronen ook spontaan in andere contexten toepassen, zowel thuis als op school. De onderstaande voorbeelden in de tekstvakken illustreren twee problemen die met de 'idea focusing'-techniek werden aangepakt¹⁶.



Idea focusing techniek¹⁶:

De vuurtoren van Alexandrië werd gebouwd in de derde eeuw voor Christus en wordt beschouwd als een van de zeven wereldwonderen. Sostratus, de architect van de vuurtoren, wilde dat zijn naam werd opgenomen in het ontwerp van de vuurtoren. Dit werd niet toegestaan door Ptolemaeus II, de koning van Egypte. Hij verbood dat zijn naam zou worden gebeeldhouwd in de grote structuur. Hoe kon de architect dit probleem oplossen?

Leerlingen die de cursus volgden suggereerden dertig oplossingen voor het probleem, zoals een vuurtoren waarbij de schaduw van het gebouw de naam van de architect is, of lichten die zijn naam projecteren, of zijn naam laten reflecteren op het water, of zijn naam beitelten in de naam van de koning. Sommige leerlingen vonden een oplossing analoog aan deze van Sostratus: hij beitelde eerste zijn naam onderaan in de vuurtoren, legde er een hoeveelheid pleisterkalk op waarin hij de naam van de koning graveerde. Na verloop van tijd verdween de kalklaag en was enkel nog Sostratus' naam te zien. Het probleem werd opgelost door twee variabelen van het systeem met elkaar te verbinden nl. de naam (koning/architect) en de tijdsvariabele (nu/later). Andere leerlingen vonden een oplossing gebaseerd op het principe: verbind een nieuwe functie aan een bestaande component in het systeem¹⁶.



Idea focusing techniek¹⁶:

Een tweede probleem bestond erin een piratenboot voor een pretpark te ontwikkelen die gemakkelijk toegankelijk is voor rolstoelgebruikers. Deze probleemstelling werd geformuleerd door de leerlingen zelf. Om te voorkomen dat de rolstoelgebruikers langs een hellende brug de boot op en af moeten, wat zowel moeilijk als gevaarlijk is, kozen de leerlingen voor een systeem dat de boot op en neer bewoog. Dit werd bereikt door de afstand tussen de bevestigingspunten op de as te wijzigen.

De leerlingen vertellen ook over hun ervaringen na het project: "Wanneer ik nu TV kijk, herken ik de principes die bedrijven toepassen. Ik zeg regelmatig: dit is duplicatie..., dit is eliminatie...".

Na het project werden de verschillende ontwerpen voorgesteld aan de ouders. Eén van de onderzoekers vroeg aan een meisje of ze dacht dat haar ouders wisten wat inventief denken betekent. Haar antwoord was: "Wanneer mijn moeder me vraagt om het tapijt op mijn kamer te reinigen, vraag ik haar: "Waarom heb ik dit tapijt nodig? Laten we het 'eliminieren'." Daarna vroeg haar moeder haar om het tapijt in de woonkamer te reinigen waarop het meisje zei: "Maar het is zo'n lastige klus." Waarop haar moeder zei: "Dupliceer jezelf dan." Met dit antwoord wou de leerling aantonen dat ze deze denkstrategie niet alleen thuis gebruikt, maar dat ze deze manier van denken ook heeft overgedragen aan haar moeder.¹⁶

Deze laatste zin illustreert mooi de uitspraak van Albert Einstein: "Creativity is contagious, pass it on".

Een bijkomend aspect dat samenhangt met creativiteit is de **verbeelding**¹³². Beeldspraak en verbeelding zijn belangrijke vaardigheden voor wetenschappers. Wanneer ze nieuwe theorieën ontwikkelen, moeten zij zich fysische fenomenen kunnen voorstellen en in gedachten kunnen 'spelen' met mogelijke resultaten. Ook analogieën kunnen in die zin belangrijk zijn, zoals bij Einstein die zich voorstelde dat hij op een lichtstraal reed toen hij de algemene relativiteitstheorie uitwerkte. Adolescenten die een sterker (visueel) ruimtelijk inzicht hebben, zijn vaker terug te vinden in richtingen met veel techniek en wetenschappen-wiskunde. De vraag is in hoeverre deze vaardigheden een rol spelen in het leren van wetenschap op school? Helpt beeldspraak jongere leerlingen om wetenschappelijke principes te leren? Tot nu toe is er slechts weinig onderzoek in die richting gebeurd. Het gebruik van analogieën, modellen en metaforen door de leraar is reeds onderzocht, maar over de rol van de leerling in het zelf creëren van dergelijke voorstellingen is weinig gekend. Twee studies in die richting wijzen uit dat leerlingen een positief leereffect ervaren wanneer ze hun vaardigheden ontwikkelen om zelf denkbeelden of analogieën te creëren. Bovendien stijgt ook hun zelfvertrouwen en gevoel van eigenwaarde. Het is wel belangrijk dat de beelden of analogieën van de leerlingen kritisch geanalyseerd worden om een positieve bijdrage aan het leren te kunnen leveren. Wetenschappers denken dus niet enkel op een

logisch-mathematische manier maar maken ook gebruik van alternatieven zoals analogieën. Ze ontwikkelen zo een persoonlijke, affectieve en esthetische visie op wetenschap. Dit affectief aspect wordt in wetenschap vaak vergeten en zo wordt tegelijk een nuttige manier om wetenschap te benaderen verwaarloosd. Wetenschap zou meer tot de verbeelding kunnen spreken door bijvoorbeeld beelden te gebruiken die in strijd lijken te zijn met het gezonde verstand – zoals “een ruimteschip kan duizenden kilometers in één seconde afleggen bij het ontbreken van een externe kracht” – en leerlingen zouden aangemoedigd moeten worden om hun eigen analogieën bij wetenschappelijke fenomenen en ideeën te creëren. Deze ideeën kunnen bijdragen aan een grotere betrokkenheid bij wetenschap¹³².

Kortom: creativiteit is een begrip dat tot de verbeelding spreekt en vaak gezien wordt als een ‘gegeven’ talent. Toch blijkt dat creativiteit geen vaststaand gegeven is, maar dat dit een competentie is die verder kan ontwikkeld worden indien men tijdens de les gepaste denktechnieken expliciteert. Op deze manier kan het creatieve denken en de verbeelding van leerlingen aangesproken worden, waardoor ze niet alleen hun denkwijzen verruimen, maar waardoor ook hun intrinsieke motivatie gestimuleerd wordt.

3.7.3. Kritisch denken

Een korte definitie van kritisch denken is: ‘de kunst van het juist oordelen’²³⁸. Kritisch denken is echter een complexe denkvaardigheid die bestaat uit een verscheidenheid aan deelvaardigheden, zoals het identificeren van de informatiebron, het controleren van zijn geloofwaardigheid²¹⁶, het interpreteren en analyseren van de informatie¹, het opbouwen van een argumentatie, het toetsen van de informatie aan de eigen voorkennis en tenslotte op basis van dat alles plausibele conclusies trekken.²¹⁶ Kritisch denken vraagt dus analyse, synthese en evaluatie van informatie die wordt verzameld door observatie, ervaring, redeneren⁷⁸ en opzoekingswerk.²¹⁶ Het kan gebruikt worden voor verschillende doeleinden: om problemen op te lossen, om te kiezen tussen alternatieven en om te oordelen⁷⁸. Zoals ook bij de andere denkwijzen kan kritisch denken niet los gezien worden van het ontwikkelen van metacognitieve vaardigheden en zelfreflectie²¹⁶.

Kritisch denken is ook één van de sleutelcompetenties die vermeld wordt in de vakoverschrijdende eindtermen: “kritisch denken in de zin van onderscheidingsvermogen”²⁶⁵. Techniek en wetenschap roepen pertinente vragen op in verband met de voordelen en risico’s verbonden aan nieuwe technologieën. Het is belangrijk dat leerlingen daartoe informatie zoals voordelen, risico’s, kosten en wis-selwerkingen tussen deze factoren kunnen afwegen op een systematische manier⁸⁶. Bij het evalueren van techniek wordt vaak gekeken naar inhoudelijke kennis en naar vaardigheden. Maar slechts zelden wordt het kritische denken en het nemen van afgewogen beslissingen geëvalueerd⁸⁶. In de eindtermen wordt expliciet verwezen naar het belang van kritisch denken: “Een duurzame samenleving kan enkel gerealiseerd worden door de inzet van velen en door samen na te denken en kritisch te reflecteren over wegen die tot een oplossing van vraagstukken kunnen leiden.”²⁶⁵

Onderzoek toont aan dat veel leerlingen, zelfs in het hoger onderwijs, er niet in slagen sluitende redeneringen op te bouwen. Kritische denkvaardigheden bezit je niet van nature²³⁸, maar ze kunnen wel ge-

leerd worden door een gepaste onderwijsaanpak. Kritisch denken is niet gemakkelijk³ en vraagt een uitgebreide en expliciete aanpak²¹⁶. Het kan wel al vanaf jonge leeftijd aangeleerd en geoefend worden. Er zijn studies die effecten aantoonde van vijf jaar¹⁰⁶. Het implementeren van expliciete methodes om kritisch denken aan te leren zijn dus ook in de basisschool relevant. Bovendien bleek uit onderzoek dat een gerichte instructie met betrekking tot kritisch denken een langdurig effect kan hebben¹.

Mensen houden van nature vast aan hun overtuigingen. Het is daarom belangrijk dat je als leraar een voorbeeldrol speelt en steeds een kritische, open en nieuwsgierige houding aanneemt en die houding ook stimuleert bij leerlingen, dit alles uiteraard binnen een vertrouwensrelatie²³⁸.

Het aanleren van een kritische houding kan op verschillende manieren gebeuren en elk van de deelvahdigheden vernoemd in de inleiding van deze paragraaf kunnen expliciet getraind worden. Kritisch denken is een complex geheel waarbij elke stap een kritische ingesteldheid vraagt. Hieronder is een vragenlijst te vinden die als leidraad kan gebruikt worden bij elke stap in het kritische denkproces. In de literatuur zijn verschillende methodieken beschreven om kritisch denken te bevorderen. Hier bespreken we enkel kort de infusie- en immersie-techniek. De 'infusie-techniek' is een techniek waarbij kritisch denken expliciet aan bod komt tijdens de les. De techniek omvat het herkennen van logische denkfouten, het onderscheiden van experimentele resultaten en conclusies gebaseerd op deze resultaten, het identificeren van impliciete en expliciete aannames, het vermijden van tautologieën (een redenering die niet onwaar kan zijn), het identificeren van variabelen, het testen van hypothesen en het identificeren van relevante informatie. Uit onderzoek naar het vak biologie in het eerste jaar secundair onderwijs blijkt dat deze methodiek tot beduidend betere resultaten leidt dan in de controlegroep die geen expliciete opleiding in verband met kritisch denken kreeg en dit voor zowel een test met betrekking tot kritisch denken als op een biologietest. Bovendien scoort deze methodiek aanzienlijk beter dan de 'immersie'-methode, een methode waarbij kritische denktechnieken impliciet aan bod komen tijdens de lessen¹. Ook het maken van redeneerschema's zoals stroomdiagrammen en mindmaps kunnen het kritisch denken bevorderen. Deze redeneerschema's zijn een schematische weergave van onze gedachtegang. Uit onderzoek blijkt dat training met redeneerschema's een effectieve methode is²³⁸.



Leidraad voor de leerling en/of de leraar voor elke stap in het kritische denkproces⁸⁰:

Interpretatie

- ▶ Wat betekent dit?
- ▶ Wat gebeurt er?
- ▶ Hoe moeten we dat begrijpen (bijvoorbeeld wat hij of zij zei)?
- ▶ Wat is de beste manier om dit te karakteriseren/categoriseren/classificeren?
- ▶ Wat was het doel om dit te doen/te zeggen?
- ▶ Hoe kunnen we dit zinvol interpreteren (ervaring, gevoel, uitspraak)?

Analyse

- ▶ Wat zijn jouw redenen om deze bewering te maken?
- ▶ Wat is jouw conclusie?
- ▶ Waarom denk je dat?
- ▶ Wat zijn de argumenten voor en tegen?
- ▶ Welke veronderstellingen moeten we maken om tot die conclusie te komen?
- ▶ Waarop baseer je je om dit te zeggen?

Conclusies

- ▶ Gelet op wat we tot nu toe weten, welke conclusies kunnen we trekken?
- ▶ Wat betekent dit bewijs?
- ▶ Indien we deze veronderstelling laten vallen/aanvaarden, wat zou dit voor het verder verloop kunnen betekenen?
- ▶ Welke aanvullende informatie hebben we nodig om deze vraag op te lossen?
- ▶ Welke zijn mogelijke alternatieven die we nog niet hebben onderzocht?
- ▶ Laten we elke optie bekijken en zien waar het ons brengt.
- ▶ Zijn er ongewenste gevolgen die we kunnen en moeten voorzien?

Evaluatie

- ▶ Hoe geloofwaardig is die claim?
- ▶ Waarom denken we dat we kunnen vertrouwen op wat die persoon beweert?
- ▶ Hoe sterk zijn die argumenten?
- ▶ Hebben we de correcte feiten?
- ▶ Hoe zeker kunnen we zijn in onze conclusie, op basis van wat we nu weten?

Toelichting

- ▶ Wat zijn de specifieke bevindingen / resultaten van het onderzoek?
- ▶ Laat ons weten hoe je die analyse uitgevoerd hebt.
- ▶ Hoe kom je aan die interpretatie?
- ▶ Overloop jouw redenering nog eens samen met ons.
- ▶ Waarom denk je dat dat het juiste antwoord / de juiste oplossing is?
- ▶ Hoe zou je uitleggen waarom precies deze beslissing genomen werd?

Zelfregulering

- ▶ Ons standpunt over deze kwestie is nog te vaag, kunnen we preciezer zijn?
- ▶ Hoe goed is onze methodologie, en hoe goed hebben we ze gevolgd?
- ▶ Is er een manier waarop we deze twee schijnbaar tegenstrijdige conclusies kunnen verzoenen?
- ▶ Hoe goed is ons bewijs?
- ▶ OK, voor we dit indienen, wat missen we nog?
- ▶ Ik vind een aantal van onze definities een beetje verwarrend, kunnen we de betekenis van een paar zaken opnieuw overlopen vooraleer we definitieve beslissingen nemen?

Besluit

Algemeen kunnen we besluiten dat probleemoplossend denken alsook creatief en kritisch denken belangrijke sleutelcompetenties zijn, die leerlingen voorbereiden op een steeds veranderende maatschappij waarin ze bij voorkeur (inter)actief participeren. Al te vaak wordt er nog vanuit gegaan dat het voldoende is dat deze competenties impliciet aan bod komen tijdens de les. Toch blijkt uit onderzoek dat de expliciete benadering vaak een sterker en langer effect heeft dan de impliciete methodes. Daarom lijkt het ons belangrijk dat leraren rond deze methodieken meer concrete ervaring opdoen zodat ook zij deze competenties expliciet kunnen overdragen naar hun leerlingen, o.a. via strategiegebruik. We hopen dat ze op deze manier de 'besmetting', zoals Einstein het omschrijft, van creatief en kritisch denken kunnen doorgeven.

3.8. Hoe evalueren?

"Anyone who has never made a mistake has never tried anything new." Albert Einstein

"Everybody is a genius. But if you judge a fish by its ability to climb a tree, it will live its whole life believing that it is stupid." Albert Einstein

3.8.1. Inleiding

Evaluatie speelt een zeer belangrijke rol in het onderwijs en kan een grote invloed uitoefenen op het verdere leerproces en de studiekeuze van een leerling. Het belang van een degelijk evaluatieproces kan dus niet onderschat worden. Toch is 'evaluatie' geen vaststaand begrip en men lijkt het slechts over één ding eens te zijn: dat een nieuwe, alternatieve benadering van evalueren wenselijk is. Deze benadering houdt in dat de huidige toetscultuur, met een nadruk op evaluatie **van** het leren (summatieve evaluatie) wordt vervangen door een assessmentcultuur⁶⁸ waarbij meer geëvalueerd wordt **om** te leren (formatieve evaluatie). De omwenteling naar een assessmentcultuur laat in Vlaanderen jammer genoeg nog even op zich wachten en lijkt voornamelijk op papier te bestaan¹⁹⁵. In de praktijk worden evaluaties voornamelijk uitgevoerd om een eindevaluatie te maken en zijn ze dus summatief van aard¹⁹⁵.

Evaluatie heeft een grote impact op de **opvattingen en houdingen** van leerlingen ten aanzien van de school. Onderzoek toont een duidelijke samenhang tussen schoolmoeheid en prestatiedoelen (zoals cijfers) aan. Leerlingen worden echter minder snel schoolmoe wanneer scholen meer aandacht besteden aan het bevorderen van de zelfwerkzaamheid (self-efficacy) en het nastreven van taak- en leerdoelen. Daarbij is het eveneens belangrijk dat de schoolomgeving er over waakt dat leerlingen geen lage eigendunk ontwikkelen⁹⁹. De voorgeschiedenis van de leerling op zich heeft immers al een grote invloed op de schoolse houding van de leerling. Wanneer de school succesbelevingen kan creëren, gaan

leerlingen veel gemakkelijker een positieve waarde toeschrijven aan taken en optimistische schoolse verwachtingen hebben. Terwijl mislukkingen de verwachtingen van de leerlingen net doen dalen. Door negatieve ervaringen gaan ze de taken als minder waardevol beschouwen, om zo hun gevoel van eigenwaarde te beschermen tegen toekomstige mislukkingen⁴⁶. Dat wil helemaal niet zeggen dat fouten maken niet kan of mag. Integendeel, mislukken en fouten maken is een fundamenteel onderdeel van het leren. Een belangrijke pedagogische taak van de leraar bestaat erin een 'positieve fout-cultuur' te creëren, dat wil zeggen, dat fouten niet moeten gezien worden als falen – wat vaak een negatieve invloed heeft op motivatie en zelfbeeld van de leerling – maar veeleer als leermogelijkheden en aanleidingen om misconcepties, een ontwerp... in vraag te stellen²⁰⁴. Helaas wordt in het huidige klasklimaat een fout nog steeds als een falen ervaren. Een klas waar fouten als potentieel positief gewaardeerd worden, omarmt deze fouten als een kans om nieuwe leersituaties te creëren²⁷⁴.

De invoering van een kwalitatief evaluatiesysteem kan pas succesvol zijn indien het op verschillende manieren **coherent** is: horizontaal, verticaal en ontwikkelingsgericht. Horizontaal betekent dat het curriculum, het onderwijs en de evaluatie dezelfde doelen nastreven. Verticale coherentie houdt in dat alle niveaus – klas, school, onderwijsnet – een gedeelde visie over wetenschapsonderwijs, over het doel en over het gebruik van evaluatie hebben. Een ontwikkelingsgerichte samenhang ten slotte houdt rekening met de manier waarop het wetenschappelijk denken van leerlingen ontwikkelt en welke kennis, vaardigheden en concepten er nodig zijn om te groeien in wetenschappelijke geletterdheid⁵¹.

De focus van dit hoofdstuk ligt op evaluatie in de klas, maar toch kunnen we niet om onderzoek heen dat aantoont dat **externe testen** het onderwijs kunnen beïnvloeden. Daarom gaan we kort even op externe testen in. In het Verenigd Koninkrijk en de Verenigde Staten worden leerlingen regelmatig onderworpen aan gestandaardiseerde externe testen. Uit onderzoek bleek dat deze externe testen een beperkend effect hebben op het onderwijs in de klas. Het onderwijs in de onderzochte scholen werd sterk gebaseerd op de inhoud van de testen die hoofdzakelijk gericht zijn op lezen en wiskunde en slechts af en toe op andere aspecten van taal of op enkele aspecten van de wetenschap, zodat er veel minder aandacht ging naar onderwerpen die niet getest werden. Zaken zoals creativiteit en sociale ontwikkeling werden zeer vaak verwaarloosd⁹⁹. Wanneer leraren verantwoordelijk gesteld worden voor testcores, maar niet voor het organiseren van effectief onderwijs, dan stoppen velen van hen uiteraard te veel tijd en moeite in de voorbereiding van leerlingen op deze tests⁹⁹. Wanneer ze daarin zeer bedreven worden, kunnen ze leerlingen zelfs leren om te antwoorden op toepassings- en synthesevragen, terwijl ze deze vaardigheden niet eens ontwikkeld hebben! Niet alleen worden het doel en de diepgang van het leren daardoor ernstig ondermijnd, maar ook de geldigheid van de tests kan in vraag worden gesteld, omdat ze niet toetsen of de leerlingen de nodige kennis en vaardigheden wel bezitten⁹⁹. In België worden deze testen minder frequent uitgevoerd, de impact op het onderwijs in België zou dus kleiner kunnen zijn. Aanvullend onderzoek lijkt hierbij aangewezen.

Het doel van dit hoofdstuk is niet een compleet overzicht te verschaffen van alle mogelijke stappen in het evaluatieproces, maar wel inspiratie te bieden voor leraren die evaluatie op een zinvolle en motiverende manier binnen het STEM-onderwijs willen gebruiken. De onderzoeken waar we naar verwijzen zijn meestal uitgevoerd in het kader van de STEM-vakken, maar de inzichten zijn eveneens toepasbaar in andere vakgebieden.

3.8.2. Waarom evalueren?

Evaluatie heeft twee doelen voor ogen. Het eerste doel is informatie te verzamelen over het leergedrag van de leerling en om het leerproces van de leerling bij te sturen. Dit is evaluatie **om** te leren of formatieve evaluatie^{68, 158}. Het tweede doel is een momentopname of samenvatting te maken van de voorde- ringen van de leerlingen op het einde van een thema of na een zekere periode. Dit is evaluatie **van het** leren of summatieve evaluatie¹⁵⁸. Deze summatieve evaluatie levert uiteindelijk een eindevaluatie op, op basis waarvan een beslissing over de leerling genomen wordt⁶⁸.

Formatieve evaluatie of evaluatie om te leren

Formatieve evaluatie is een continu, cyclisch en dynamisch proces waarbij bewijsmateriaal verzameld wordt dat kan leiden tot actie (bijsturing), die weer nieuw bewijsmateriaal kan opleveren, enzovoort^{79, 158}. Formatieve evaluatie vormt de basis van remediërend werken. Hierbij is het belangrijk dat elke indi- viduele vordering van de leerling gewaardeerd wordt. Niet enkel het einddoel (leerplandoelstellingen, competenties, enz.) wordt nagestreefd, maar elke groei in de richting van dit doel wordt gewaardeerd⁹³. Bovendien krijgt een leerling in een dergelijke leeromgeving de kans om strategieën te ontwikkelen om zijn eigen leren te sturen (zie paragraaf Zelfregulerend leren)⁹³. De leerling krijgt inzicht in het eigen leerproces (metacognitie). Laat ons de verschillende aspecten van formatieve evaluatie eens nader bekijken. Formatieve evaluatie is dus een **cyclisch proces** dat vertrekt vanuit een leerbehoefte, waarbij directe interactie en communicatie centraal staan en dat rekening houdt met het individuele leertraject van een leerling. Het volgende commentaar van een leraar benadrukt het progressieve en responsieve karakter van formatieve evaluatie: " wanneer je iets doet om uit te zoeken waar ze (de kinderen) staan, en dan verander je op basis daarvan je lesgeven, of wat je aan het doen bent, dan is dat formatieve eva- luatie" ¹⁵⁸. Effectieve formatieve evaluatie ontstaat vanuit een leerbehoefte¹⁵⁸. Bij wetenschapsonder- wijs wordt de 'leerbehoefte' van leerlingen doorgaans gedefinieerd als het verschil tussen de ideeën die ze zelf vormen en de wetenschappelijke ideeën die uiteindelijk bereikt moeten worden¹⁵⁸. Tijdens de formatieve evaluatie worden de ideeën van de leerlingen verzameld en gebruikt om nieuwe en pas- sende leermogelijkheden te creëren. Daarbij zijn de juiste vragen van de leraar cruciaal (zie Hoe? 3.6. Vragen stellen, dialoog, discussie en debat). Leraren stellen immers vragen om discussies te stimuleren en om de kinderen hun ideeën te laten verwoorden.¹⁵⁸. Bovendien is het praten met kinderen over hun groeiende inzichten interessant voor leraren en ervaren ze meer voldoening aan hun job¹⁵⁸.

Bij formatieve evaluatie staat de **interactie** tussen de leraar en de leerling centraal⁷⁹. Formatieve eva- luatie maakt dan ook een integraal deel uit van het onderwijs⁷⁹. De communicatie tussen de leraar en de lerende wordt soms 'assessment conversation' genoemd en vindt elke dag plaats. Feedback en dialoog zijn een essentieel onderdeel van formatieve evaluatie⁷⁹ (zie paragraaf feedback). Om echt effectief te zijn, moet formatieve evaluatie zo georganiseerd worden dat onmiddellijke feedback kan gegeven worden aan de leerling en aan de leraar⁷⁹. Formatieve toetsing kan dus informeel zijn (dus zonder dat er geschreven verslagen worden gemaakt) en kan in elke fase van de les toegepast worden om informatie over het leren bij de leerlingen in te winnen. In de praktijk gebeurt het vaak spontaan, zoals wanneer de leraar luistert naar de gesprekken van de leerlingen of reageert op hun vragen of opmerkingen. Het is dan ook een complexe activiteit die grote vakkundigheid vereist en een goede training vraagt⁷⁹. De

evaluatie kan echter formeel van aard zijn en gericht zijn op de opvolging van de voortgang die leerlingen maken^{126, 158}. Formatieve evaluatie kan gebruikt worden in het begin en op het einde van de les om na te gaan welke vorderingen de leerlingen gemaakt hebben¹⁵⁸. Formatieve evaluatie kan gebeuren aan de hand van portfolio's, schriften met aantekeningen, presentaties en dergelijke. Formatieve evaluatie kan veel tijd vragen en het is dus een noodzaak om deze informatie op een efficiënte manier te verzamelen^{211, 284}.

Formatieve evaluatie vormt een basis om **remediërend** te werken. Er wordt immers een analyse gemaakt van de specifieke moeilijkheden en problemen van een individuele leerling. Leraren dienen eerst zicht te krijgen op de sterke en zwakke punten van de leerling, zijn manier van probleemoplossend denken en zijn relevante voorkennis met betrekking tot het onderwerp. Pas dan kan een gepaste remediëring toegepast worden. Effectief onderwijs vergt dus inzicht in wat de individuele leerling weet, wat hij nog moet leren en wat zijn problemen en moeilijkheden zijn. Bovendien is het belangrijk om een goede foutenanalyse te maken bij het oplossen van bv. wiskundige taken. Fouten zijn een diagnostisch middel en geven inzicht in het wiskundige denken van de leerlingen²⁰⁴. Uit verschillende studies met betrekking tot wiskundeonderwijs blijkt dat remediële programma's steeds een positief effect hebben op de leerprestaties van leerlingen in vergelijking met de controlegroepen die enkel de reguliere lessen volgden. Het aansluiten bij de individuele strategieën en systematische fouten van de leerlingen blijkt goede resultaten op te leveren¹³⁵.

Formatieve evaluatie heeft een **metacognitieve component**. Formatieve evaluatie kan kinderen helpen om te begrijpen wat ze kunnen leren en hoe ze dit in de toekomst kunnen bereiken^{114, 158}. Ze worden zich bewust van hun eigen ontwikkelende ideeën, wat op zijn beurt hun motivatie ondersteunt¹⁵⁸. De evaluatie moet dus duidelijk maken wat ze al goed hebben gedaan en wat ze kunnen doen om nog te verbeteren¹⁵⁸ (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren). Onderzoek in het basisonderwijs wees uit dat formatieve evaluatie een sterk effect kan hebben op de manier waarop leerlingen betrokken zijn bij het eigen leren¹⁰⁹. Leerlingen voelen zich zekerder in de klas, vertonen meer zelfwerkzaamheid (en zelfkritiek), hun gevoel van eigenwaarde stijgt en ze tonen een grotere bereidheid om te participeren¹⁰⁹. Bovendien ervaren leerlingen eigenaarschap van het leren, gaan ze door reflectie diepgaand leren en kunnen misconcepties aangepakt worden¹⁰⁹.

Er mag niet uit het oog verloren worden dat effectieve formatieve toetsing domeinspecifieke componenten bevat en dat de manier waarop geëvalueerd wordt kan afhangen van het lesonderwerp⁷⁸. Een leraar die onvoldoende inzicht heeft in de domeinspecifieke inhoud van zijn vak, zal een minder goed zicht hebben op welke vragen hij moet stellen aan de leerlingen, waar hij moet op letten bij de uitvoering van taken en hoe hij daaruit conclusies kan trekken over de kennis van de leerling. Een goed vakinhoudelijk inzicht van de leraar is dus onmisbaar om zicht te krijgen op welke acties hij dient te ondernemen en hoe hij zijn instructies dient aan te passen⁷⁸.

Summatieve evaluatie of evaluatie van het leren

Het doel van summatieve evaluatie is een samenvatting te geven van prestaties over een tijdsperiode¹⁵⁸. Summatieve evaluatie vereist een systematische verzameling van gegevens. Deze gegevens kun-

nen worden gebruikt door de leraar om de prestaties van de leerlingen te vergelijken met de leerdoelen die ze moeten bereiken of om met ouders te overleggen¹⁵⁸. Deze resultaten kunnen gebruikt worden om een beslissing te nemen over het verdere verloop van de schoolloopbaan van de leerling.

Leraren ervaren dikwijls (externe) druk om op elk ingeleverd werkstuk van de leerlingen punten te geven. Nochtans zijn punten enkel geschikt voor summatieve evaluatie, maar niet om formatieve feedback te geven. Summatieve toetsing dient eigenlijk als een regelmatige, maar zeldzame gebeurtenis te worden gezien¹¹⁴. Dat betekent niet dat summatieve evaluatie daarom minder belangrijk is dan formatieve evaluatie, maar de impact ervan kan negatief zijn¹¹⁴. Het kan een negatieve invloed hebben op minder goed presterende leerlingen omdat zij op deze manier steeds geconfronteerd worden met hun falen¹¹⁴. Maar goede cijfers hebben niet altijd een positief effect. Onderzoek toont aan dat hoge cijfers in eerste instantie wel een positief effect hebben op de houding en het plezier van leerlingen voor een vak, maar een belangrijke beïnvloedende factor is daarnaast het groepsgemiddelde⁸⁵. Wanneer het groepsgemiddelde hoog is, dan kan dit uiteindelijk uitmonden in een negatief effect op de leerling. Dus eenzelfde cijfer kan in twee verschillende referentiegroepen een totaal verschillend effect oproepen. Een leerling met bv. een zes op tien zal in een sterke klas niet alleen meer angst, maar ook boosheid vertonen omdat hij het gevoel heeft achter te blijven op zijn collega's. Een leerling in een zwakke klas echter zal tevreden zijn met dit cijfer en zal niet bezorgd zijn over de toekomstige examens omdat hij beter presteerde dan zijn medeleerlingen. Dit is een gekend fenomeen en leidt vaak tot faalangst bij begaafde leerlingen en angst bij reguliere leerlingen⁸⁵. Extrinsieke beloningen zoals cijfers, geschenken en overdreven publieke erkenning kunnen dus maar beter vermeden worden. Bovendien kunnen cijfers de creativiteit van leerlingen fnuiken. Dit wil niet zeggen dat ze niet gebruikt mogen worden, maar enkel als ze zinvol zijn in het evaluatieproces²⁷⁴. Ook het opleggen van straffen voor onvoldoende studieresultaten, het publiekelijke afficheren van examenscores, het klassikale afroepen van testscores, het zonder overleg geven van onaangekondigde toetsen en het dwingende opleggen van deadlines zijn gevaarlijk omdat ze de intrinsieke leergierigheid doen verdwijnen en de nood aan autonomie bij de leerling ondermijnen²⁶². Wanneer leerlingen weten dat ze rechtstreeks zullen vergeleken worden met andere leerlingen in de klas, gaat dit zich dikwijls vertalen in een minder goed contact met de leraar en meer storend gedrag in de klas²⁰⁸.

Summatieve toetsing kan de foutieve indruk laten ontstaan dat leren productgericht is, terwijl leren een continu groeiproces is. In de huidige toetscultuur geven testen en examens weinig of geen informatie over de groei van leerlingen. Een eerste stap kan zijn om tenminste al enkele summatieve testen te vervangen door een zachtere, formatieve evaluatievorm¹¹⁴. Een wijziging in de toetscultuur is dus dringend nodig om een dynamische klaspraktijk, met onder meer de implementatie van creatieve probleemoplossende werkvormen zoals onderzoekend leren^{78, 114}, mogelijk te maken.

De interactie tussen formatieve en summatieve evaluatie

Sommige auteurs zien geen nood aan het ontwikkelen van twee verschillende evaluatiesystemen, één voor formatieve doelen en het andere voor summatieve doelen. Ze erkennen wel dat er altijd een spanningsveld zal bestaan wanneer dezelfde beoordeling van een opdracht wordt gebruikt voor beide doeleinden. Andere auteurs suggereren dan weer om af te stappen van de formatieve en summatieve

tweedeling⁷⁹ en pleiten voor meer onderzoek naar de gemeenschappelijke basis van formatieve en summatieve evaluatie. Zij zien beide als de uitersten van eenzelfde continuüm. Deze auteurs suggereren, in tegenstelling tot de eerste groep, dat het via evaluatie verzamelde bewijs wel voor beide doeleinden kan gebruikt worden, maar enkel op voorwaarde dat de formatieve toetsing gescheiden blijft van de summatieve evaluatie in het beoordelingsproces. Dit betekent concreet dat de beoordeling die volgt uit de formatieve evaluatie niet zomaar kan opgeteld worden om tot een summatieve beoordeling te komen. Als leraar moet je dan teruggaan naar het oorspronkelijke bewijs dat verzameld werd voor de formatieve evaluatie en de verzamelde gegevens opnieuw interpreteren met het oog op de summatieve evaluatie⁷⁹. Op deze manier kan je rekening houden met positieve evoluties bij de leerling.

Omgekeerd wordt het wel aangeraden om de resultaten van summatieve toetsen wél altijd voor formatieve doeleinden te gebruiken, omdat dit de leerlingen kan helpen om een gevoel van controle te krijgen over hun leerproces en hoe ze examens kunnen aanpakken¹⁰⁹. Bovendien moeten formatieve en summatieve evaluatie op elkaar afgestemd zijn zodat ze gelijkaardige elementen toetsen⁷⁸.

Kortom, het is duidelijk dat we moeten afstappen van de huidige toetscultuur en de overstap moeten maken naar een assessmentcultuur. Summatieve evaluatie is nodig, maar mag geen doel op zich worden. Het doel blijft leerlingen opleiden en begeleiden tijdens hun leerproces zodat ze op het einde van hun schoolloopbaan kunnen functioneren in een steeds veranderende maatschappij. Voor dit proces is formatieve evaluatie een ideaal begeleidingsmiddel.

3.8.3. Wat evalueren?

Zoals eerder aangegeven dient de focus van evalueren te liggen op **leerdoelen** en niet op prestatiedoelen⁹⁹. Wanneer een leraar voornamelijk prestatiegerichtoelend doet, leidt dit tot een daling in motivatie en betrokkenheid bij de leerlingen²⁰⁸. Leerlingen zelf kunnen leerdoelgericht en/of prestatiegericht van aard zijn. Wanneer ze leerdoelgericht zijn, dan willen ze hun competenties ontwikkelen, hun inzicht vergroten en beter worden met de tijd. Wanneer ze prestatiegericht zijn, dan zijn ze bezig met hoe ze overkomen bij de andere leerlingen en hoe ze presteren in vergelijking met hun medeleerlingen. Dit laatste type leerling wil graag slim en competent overkomen en beter presteren dan medeleerlingen. Maar dit houdt ook in dat hij bezorgd is om fouten te maken ten aanzien van zijn medeleerlingen en dat hij bang is minder goed te presteren dan hen, waardoor hij ontwijkend gedrag kan gaan vertonen¹⁹⁴. Bovendien blijkt dat leerlingen secundair onderwijs die zowel leerdoel- als prestatiegericht zijn, vaker gebruik maken van oppervlakkige leerstrategieën, minder inzet tonen en vaak slechtere resultaten behalen dan hun medeleerlingen die uitsluitend doelgericht en niet prestatiegericht zijn¹⁹⁴. Het is dus belangrijk om leerlingen leerdoelgericht te maken en hen enthousiast te maken over hun groeiende competenties en inzichten.

De laatste jaren wordt niet alleen aandacht besteed aan de inhoudelijke kennis van de leerlingen, maar ook aan een breed scala van wetenschappelijke en technische **vaardigheden**. Parallel met deze toeneemende interesse voor vaardigheden werden nieuwe evaluatievormen uitgewerkt zoals prestatiebeoor-

deling, concept maps, portfolio's, enz. Deze recente ontwikkelingen leiden tot nieuwe vragen over hoe deze evaluatievormen, die specifiek gericht zijn op het ontwikkelen van vaardigheden en de begeleiding ervan, op een valide en betrouwbare manier kunnen worden geëvalueerd⁷⁹. Het beoordelen van vaardigheden zoals observeren, meten, experimenteren en onderzoeken is een uitdagende taak. Niet alleen door de praktische moeilijkheden om dergelijke vaardigheden te beoordelen, maar ook omdat wetenschap nog al te dikwijls gezien wordt als het ontwikkelen van wetenschappelijke kennis en concepten⁷⁹. Daarom is het van groot belang dat het duidelijk is voor leraren wat ze moeten aanleren en wat ze dus moeten beoordelen (zie Wat? 2.1.1. Wat wil je bereiken)⁷⁹. Bepaalde onderzoeken suggereren bovendien dat een onderzoek uitvoeren een holistische taak is. Wanneer men dus afzonderlijke vaardigheden gaat oplijsten om de evaluatie te vereenvoudigen, dan kan men wel eens de essentie van het onderzoek volledig missen, omdat onderzoek nu net geïntegreerde vaardigheden vereist die met elkaar interageren⁷⁹. Een evaluatiemethode die geïntegreerde vaardigheden nagaat, is dus essentieel.

Bovendien is het niet de bedoeling **praktisch werk** (experimenten, ontwerpen en maken) op zich te beoordelen. Praktisch werk moet steeds gesitueerd zijn binnen een specifieke **context** of onderwerp. Het heeft bv. geen zin om een leerling de opdracht te geven om een bepaald gereedschap te gebruiken los van een context. Het gebruik van dit gereedschap is enkel zinvol wanneer een leerling in kader van een opdracht precisiewerk moet afleveren waarbij hij dit gereedschap nodig heeft.



Criteria bij het beoordelen van wetenschappelijk onderzoek ¹⁷⁵:

Inzicht

- ▶ Inzicht in wetenschap: Leerlingen kunnen aantonen dat ze inzicht hebben in de leerstof en kunnen het toepassen bij het oplossen van problemen, bij het voorspellen en verklaren van fenomenen en bij het uitvoeren van onderzoeksprojecten.¹⁷⁵
- ▶ Inzicht in het uitvoeren van een onderzoek: leerlingen kunnen hun aanpak bij een onderzoeksvraag expliciteren. Ze kunnen bv. duidelijk maken welk wetenschappelijk model of welke onderzoekshandelingen ze uitgevoerd hebben en hoe ze tot hun conclusies gekomen zijn.¹⁷⁵
- ▶ Verbanden leggen: leerlingen zien het grotere geheel en hebben een duidelijk overzicht over hun werk en zijn doelen en zien het verband met andere ideeën of situaties. Ze relateren nieuwe informatie, ideeën en experimentele resultaten aan wat ze al kennen.

Uitvoering: wetenschap doen. ¹⁷⁵

- ▶ Vindingrijk zijn: leerlingen zijn creatief en onderzoeken verschillende mogelijkheden bij hun werk. Ze vertonen een originele en vindingrijke aanpak bij het oplossen van problemen. Ze kunnen hypotheses formuleren, experimenten opzetten en op deze manier tot nieuwe modellen komen.
- ▶ Systematisch werken: leerlingen kunnen voorzichtig, systematisch en logisch plannen en te werk gaan. Wanneer er zich problemen voordoen, zijn ze bedachtzaam over het al dan niet wijzigen van hun aanpak.

- ▶ Wetenschappelijke voorstellingen en instrumenten gebruiken: leerlingen gebruiken wetenschappelijke voorstellingen en instrumenten op een gepaste manier. Dit omvat zaken zoals het gebruik van lab-apparatuur, meetinstrumenten, schema's, grafieken, tabellen, rekenmachines en computers.
- ▶ Bedachtzaam redeneren: studenten kunnen correct redeneren en maken zorgvuldig gebruik van wetenschappelijke concepten en modellen. Zo kunnen zij argumenteren over het al dan niet van toepassing zijn van een wetenschappelijk model. Ze kunnen aantonen hoe de experimentele waarnemingen een bepaald model ondersteunt of weerleg.

Sociale context¹⁷⁵

- ▶ Duidelijke communicatie: leerlingen kunnen hun ideeën duidelijk maken aan elkaar en aan een publiek door gebruik te maken van schriftelijke, schematische en verbale communicatie. Deze communicatie is voldoende duidelijk zodat anderen hun werk begrijpen en kunnen reproduceren.¹⁷⁵
- ▶ Teamwerk: leerlingen werken samen als een team om vooruitgang te boeken. De leerlingen respecteren ieders bijdrage en steunen elkaar tijdens het leerproces. Ze verdelen het werk eerlijk en zorgen ervoor dat iedereen een betekenisvol deel uitvoert. De leerlingen gebruiken criteria om hun werk en hun onderzoek te evalueren. Dit helpt hen om de logische stappen in het onderzoeksproces te begrijpen. Ze gebruiken deze criteria zowel om hun eigen werk als dat van medeleerlingen te beoordelen wanneer deze de resultaten voorstellen aan de klas. Door deel te nemen aan dergelijke evaluaties waarbij ze praten en reflecteren over de karakteristieken van wetenschappelijk onderzoek worden leerlingen zich niet alleen bewust van het doel en de eigenheid van wetenschappelijk onderzoek, maar ook de manier van denken die er mee verbonden is.¹⁷⁵

Naast de relevantie van een context of onderwerp speelt bij praktische onderzoeken ook de **taakvorm** een rol. Om praktische onderzoeken te beoordelen of om een product te ontwerpen en nadien voor te stellen, kan men **geschreven taken** gebruiken. Geschreven taken laten toe om meerdere zaken in een beperkte periode te beoordelen. Maar ze roepen eveneens vragen op met betrekking tot de validiteit. Verschillende onderzoeken tonen aan dat verschillen bestaan tussen de prestaties van de leerlingen, afhankelijk of de taak praktijkgericht is of schriftelijk verwerkt werd. Geschreven taken meten andere competenties dan praktische taken⁷⁹. In een onderzoekende klas is de beoordeling een continu proces. Een leraar kan veel leren over de betrokkenheid en het inzicht van elke leerling tijdens klasdiscussies, door te praten met groepen, door te luisteren naar onderlinge gesprekken... Maar ook presentaties, nota's van een experiment, tekeningen van een ontwerp, verschillende oplossingsmethoden bij een vraagstuk geven mogelijkheden tot feedback. Verschillende mogelijkheden voor evaluatie en feedback dragen daarom de voorkeur weg. Multiple choice vragen daarentegen zijn te beperkt, een leraar moet zich concentreren op hogere orde denkvaardigheden: synthese, analyse, evaluatie, toepassing en presentatie¹⁷⁴. Een groot aantal van de beoogde vaardigheden en attitudes zijn vakoverschrijdend, zoals duidelijke communicatie, logisch redeneren, creativiteit, sociale vaardigheden, taakgerichtheid

en geëngageerdheid. Andere zijn meer vakspecifiek. Hieronder staat een voorbeeld van vakspecifieke vaardigheden en attitudes die nagestreefd kunnen worden bij wetenschappelijk onderzoek.

Beslissen over wat en over hoe geëvalueerd wordt, gebeurt bij voorkeur in samenspraak met de leerlingen. Onderstaand tekstvak toont een criterialijst die opgesteld werd in samenwerking met de leerlingen⁶⁸.



Overgenomen uit Dochy et al. ⁶⁸	(*) door leraar toegevoegd
Criteria voor een mondelinge presentatie	Meer gedetailleerd
Interessant voor het publiek	Zorg dat je zelf geïnteresseerd overkomt i.v.m. jouw onderwerp (*) Maak het interessant Hou het kort
Gemakkelijk om te volgen	Gebruik kleine kaartjes (*) Doe het rustig aan Gebruik voorbeelden Zorg dat je zeker een conclusie hebt We moeten onmiddellijk weten wat het onderwerp is
Spraak en gedrag helpen het publiek te luisteren	Kijk omhoog en naar het publiek (*) We moeten je kunnen horen Sta rechtop

Voorkennis en misconcepties achterhalen

Leerlingen hebben zich dikwijls al een idee gevormd over het hoe en waarom van dagelijkse fenomenen. Dikwijls zijn deze ideeën of misconcepties onvolledig of zijn ze strijdig met de wetenschappelijke verklaringen van de fenomenen die bestudeerd worden in de klas (voorbeeld in tekstkader). Het achterhalen van de voorkennis en de ideeën bij leerlingen is een vorm van formatieve evaluatie, omdat op basis van deze voorkennis en deze ideeën het onderwijs verder vorm zal krijgen. Het is belangrijk om in gedachten te houden dat deze ideeën niet onredelijk zijn, maar gebaseerd zijn op de beperkte ervaring en kennis van de leerlingen²⁸⁴. Het onderwijs zelf kan misconcepties oproepen omdat de fysische realiteit vaak te eenvoudig en dus onvolledig voorgesteld wordt, wat eveneens het inzicht en dus ook de motivatie van leerlingen kan verlagen²⁶⁴. Het is de taak van het onderwijs om snel in te grijpen wanneer leerlingen leermoeilijkheden of foutieve denkbeelden hebben. Dit voorkomt dat misvattingen een belemmering vormen tijdens het verdere leerproces.¹⁸⁵ Hierbij is het van groot belang dat de leraar er zich van bewust is dat er alternatieve ideeën leven bij de leerlingen. Onderzoek heeft aangetoond dat een leraar pas in staat is om op een effectieve manier misconcepten aan te pakken wanneer hij zich ten volle bewust is van het bestaan van deze ideeën²⁸¹.

De voorkennis van leerlingen en eventuele misopvattingen kunnen op verschillende manieren aan het licht gebracht worden. Het stellen van de juiste vragen en het voeren van Socratische dialogen vormen een sleutel om te achterhalen wat zich afspeelt in het hoofd van leerlingen^{158, 281}. Men kan het op verschillende manieren aanpakken: wanneer leraren luisteren naar discussies in groepjes, kunnen ze informatie oppikken over de ideeën die leven bij de leerlingen en die eerder niet tot uitdrukking kwamen. Het minder formele klimaat dat gecreëerd wordt bij vormen van coöperatief leren geeft de leraar uitvoerig de kans om ideeën en opmerkingen van groepsleden in vraag te stellen of te becommentariëren¹⁵⁷. Een leraar kan op basis van de discussies niet alleen meer te weten komen over de inzichten van de leerlingen, maar kan misconcepten gebruiken als input voor een klassikale discussie of voor verder onderzoek of demonstratie^{56, 164}. Discussies kunnen uitgelokt worden door middel van concept cartoons, discussiekaarten, becommentarieerde tekeningen en tijdens het uitvoeren van onderzoek¹⁵⁸.

Dit zijn krachtige werkvormen, niet alleen omdat deze middelen leerlingen motiveren, maar ook omdat ze aanleiding geven tot gesprekken die zichzelf in stand houden²²².

Daarnaast is het belangrijk dat leerlingen zelf de kans krijgen om hun ideeën te toetsen aan de gegevens die volgen uit hun eigen onderzoek¹¹⁴. Immers, wanneer leerlingen ideeën moeten accepteren die in conflict zijn met de eigen intuïtieve ideeën zonder dat ze de kans krijgen om deze ideeën zelf te testen, is het weinig waarschijnlijk dat ze deze aangeleerde ideeën effectief zullen gebruiken om de dingen rondom hen te verklaren⁹⁸.



Evoluerende (mis)concepten in verband met eenvoudige stroomkringen¹¹⁶:

1. Sink model'. Bij dit meest primitieve denkmodel, geloven leerlingen dat een draad tussen de lamp en de batterij voldoende is om de lamp te doen branden. Ze denken dat de tweede draad niet nodig is of enkel dient om nog meer stroom aan de lamp te leveren.
2. **Botsend stroommodel**. Leerlingen begrijpen dat beide uiteinden van een lamp moet verbonden worden met beide polen van de batterij. De denkfout die leerlingen hierbij maken is dat ze geloven dat de positieve lading reist van de positieve kant van de spanningsbron naar de positieve zijde van elektrisch apparaat en dat de negatieve lading reist van de negatieve pool naar de negatieve zijde van het apparaat. Wanneer deze twee verschillende ladingen botsen, produceren ze elektriciteit of energie waardoor het apparaat werkt.
- 3a. **Verbruikmodel**. Dit is het eerste model waar de leerlingen begrijpen dat stroom in een bepaalde richting circuleert. Het bijzondere in dit model is de misvatting dat stroom langzaam aan geconsumeerd wordt in de verschillende delen van de stroomkring.
- 3b. **Constante stroommodel**. De leerlingen denken dat de stroom geleverd door de batterij constant blijft in de volledige stroomkring onafhankelijk van andere verbruikers of een andere configuratie van de stroomkring. Dit leiden ze af uit hun waarneming dat de helderheid van de lichtbron niet lijkt te veranderen.

- 3c. **Oppervlakte model.** Leerlingen nemen aan dat het licht dat de lampjes verspreiden rechtstreeks verband houdt met het aantal lampjes in het circuit en onafhankelijk is van de configuratie van de stroomkring.
- 3d. **Voorlopige Ohm model.** Bij deze leerlingen begint er begrip te komen over het feit dat de manier waarop de lampjes opgesteld staan in de stroomkring een invloed kan hebben op de helderheid van de lampjes. Zij kennen de begrippen serie en parallelschakeling, maar zijn nog niet volledig in staat om de functie en invloed ervan volledig te duiden.
4. **Ohm model.** De leerlingen die het 'Ohm model' bevatten zijn in staat om onderscheid te maken tussen serie en parallel schakelingen, en ze begrijpen hoe dit gerelateerd is aan de helderheid van de lamp en de levensduur van de batterij. Dit model komt overeen met de 'wetenschappelijke visie'.

3.8.4. Hoe evalueren?

Gezien de nood om van een toetscultuur naar een assessmentcultuur over te gaan, zal tevens de manier waarop geëvalueerd wordt sterk moeten veranderen. In deze paragraaf wordt dieper ingegaan op verschillende methodieken die daartoe gebruikt kunnen worden. Bij de onderstaande evaluatievormen bekijken we voornamelijk formatieve vormen van evaluatie omdat hier de grootste verandering beoogd wordt. De goed gekende en vaak toegepaste summatieve evaluatievormen worden niet behandeld. Toch geven we enkele tips mee die kinderen kunnen helpen om zich voor te bereiden op toetsen. In het algemeen kan men bij de onderstaande evaluatievormen spreken van actieve evaluatie omdat de leerling actief betrokken wordt bij het evaluatieproces: enerzijds bij het vastleggen van de criteria, maar anderzijds ook bij het evaluatieproces. Dit legt trouwens mee de basis voor het zelfregulerend leren bij de leerling (zie hoofdstuk Zelfregulerend leren)¹⁸².

Leerdoelen meedelen aan en opstellen met de leerlingen

Bij evalueren is het van groot belang dat de leerlingen duidelijk op de hoogte zijn van de leerdoelstellingen, zodat ze zelf tekortkomingen en de volgende stappen in het leerproces kunnen identificeren¹¹⁴. Het verduidelijken van de leerdoelen en het mee uitstippelen van het leerpad kan de zelfwerkzaamheid bij laagscorende leerlingen ondersteunen⁹⁹. Deze leerdoelstellingen en stappen naar succes kunnen meegedeeld worden bij het begin van de les^{109, 158}, maar kunnen ook onderhandeld worden met de leerlingen zelf¹⁰⁹.

Summatieve evaluatievormen

Bij summatieve evaluatie is het belangrijk dat leerlingen het doel van een bepaalde test begrijpen en weten wat de mogelijke gevolgen van de test kunnen zijn⁹⁹. Er wordt gepleit voor het gebruik van open vragen die inspelen op hogere cognitieve vaardigheden zoals kritisch en probleemoplossend denken. Daarnaast worden mondelinge testen of open boek examens²⁹⁴ aangeraden en het gebruik van meer-

keuzevragen afgeraden²⁹⁴. Ook groepsprojecten zouden een alternatief kunnen vormen voor leerlingen die niet bedreven zijn in examens die gericht zijn op kennisreproductie¹⁵⁷.

Daarnaast kunnen formatieve taken leerlingen helpen om zich voor te bereiden op summatieve toetsen (zie tekstkader)¹⁵⁸.

Wat met onaangekondigde toetsen?

Onaangekondigde toetsen worden vaak ingezet om ervoor te zorgen dat leerlingen regelmatig hun les bijhouden. Het wordt echter afgeraden om ze te gebruiken omdat ze de intrinsieke leergierigheid doen verdwijnen en de nood aan autonomie bij de leerling ondermijnen²⁶². Om ervoor te zorgen dat leerlingen regelmatig hun lessen bijhouden, kunnen leraren aan de leerlingen vragen een voorstel voor controle te doen. De leraar en leerlingen kunnen dan in samenspraak een voorstel uitwerken of de onaangekondigde toetsprocedures aanpassen aan de wensen van de leerlingen. Leerlingen worden op die manier op een democratische wijze betrokken in het invoeren van deze onaangekondigde toetsprocedures, zodat zij met een groter gevoel van welwillendheid hun leerstof doornemen op de avond voor een nieuwe les. Sommige leraren voeren deze strategieën echter in zonder naar de mening van leerlingen te luisteren en geven geen enkele uitleg over waarom zij belang hechten aan deze procedures. Daardoor worden deze als controlerend en stresserend ervaren²⁶². Bovendien blijkt uit onderzoek dat, wanneer leerlingen in het middelbaar onderwijs geleerd hebben om te studeren in functie van een eventuele onverwachte toets (externe bekrachtiging), de kans klein is dat ze spontaan zullen studeren wanneer de leraar beslist om deze onaangekondigde toetsprocedure af te schaffen of als ze in het hoger onderwijs terecht komen waar dergelijke procedures niet bestaan²⁶².



Formatieve taken die leerlingen helpen om zich voor te bereiden op summatieve toetsen.

- ▶ **Herhaling:** Leerlingen kunnen voor of tijdens een herhalingsles begrippen en concepten aanduiden met verkeerslichtkleuren. Het doel is dat ze stil staan bij hun eigen inzicht en kennis van de leerstof. De delen die in het rood of oranje zijn aangeduid, worden dan de focus van hun planning. Op deze manier kunnen ze hun inspanningen concentreren op gebieden waarmee ze het nog moeilijk hebben in plaats van hun aandacht over alle onderdelen te verspreiden. Deze vorm van zelfevaluatie kan leerlingen motiveren, omdat ze controle over hun eigen leren hebben.¹⁵⁸
- ▶ **Peer assessment:** Peer assessment kan een handige strategie zijn om leerlingen toetscriteria te leren begrijpen en opstellen. Door elkaars werk te beoordelen aan de hand van zelf opgestelde criteria, begrijpen ze beter welke criteria belangrijk zijn.¹⁵⁸
- ▶ **Zelf vragen opstellen:** Naast het beantwoorden van vragen, kunnen leerlingen hun eigen vragen opstellen. Op deze manier krijgt de leraar zicht op de kennis en het inzicht van de leerlingen die de vraag opstellen, maar kunnen de leerlingen elkaar ook testen en helpen bij het oplossen van de vraag. Zelf vragen opstellen vraagt van leerlingen dat ze nadenken over hun eigen inzicht in de materie, zeker indien ze moeten aantonen waarom hun vraag geschikt is¹⁵⁸.

- **Gericht wetenschappelijk onderzoek:** Bij het onderzoekend leren worden leerlingen in staat gesteld om vaardigheden en concepten te herzien, maar tegelijkertijd ook creatief te denken en actief betrokken te zijn bij hun eigen leerproces. Dit is zinvoller dan het opnieuw herhalen van de belangrijkste ideeën en eerdere toetsvragen¹⁵⁸.
- **Samenwerkend antwoorden:** Typische toetsvragen kunnen aan een groep van leerlingen voorgelegd worden. Vraag hen om al hun ideeën over deze toetsvragen te bespreken. Zorg er eerst en vooral voor dat kinderen begrijpen dat dit gesprek een onderdeel vormt van hun leerproces. Zeg hen dat zij voldoende tijd krijgen om na te denken en vragen te stellen, zodat ze niet tot overhaaste conclusies komen. Na de bespreking stelt elke groep hun vraag en hun gekozen oplossingsstrategie voor aan de klas. Deze werkvorm zorgt ervoor dat kinderen elkaar kunnen helpen bij het lezen en interpreteren van vragen en dat ze leren redeneren over alternatieve oplossingswijzen. Het leert hen strategieën ontwikkelen om met dergelijke toetsvragen om te gaan. Dit soort discussies stelt leerlingen in staat om denkstrategieën te internaliseren (Wat weet ik hierover? Wat denk ik ervan? Waarom denk ik dat? Welke andere ideeën kunnen helpen?). Dit zal hen helpen om dergelijke vragen in de toekomst met meer zelfvertrouwen aan te pakken¹⁵⁸.

Formatieve evaluatievormen

In deze paragraaf worden enkele vaak geciteerde formatieve evaluatievormen besproken. Deze evaluatievormen zijn sterk gelinkt aan zelfregulerend leren en kunnen dus niet los daarvan besproken worden (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren). Veel van deze formatieve evaluatievormen zijn niet eigen aan STEM-onderwijs, en kunnen breder toegepast worden.

Concept mapping en mindmapping

Concept mapping en mindmapping zijn twee manieren om de kennis van een leerling over een bepaald onderwerp aan het licht te brengen⁷⁹. Ze zijn dus bijzonder geschikt om misconcepten of denkfouten van leerlingen aan het licht te brengen¹⁰⁹.

Deze evaluatievormen lijken sterk op elkaar, maar er zijn enkele belangrijke verschillen: bij mindmapping kunnen de associaties die leerlingen met het onderwerp maken zeer verschillend zijn en dus aanleiding geven tot zeer uiteenlopende structuren. In een mindmap wordt elke tak onderverdeeld in kleinere takken. Verbindingen tussen de kleinere takken onderling worden niet gemaakt om de duidelijkheid van de voorstelling niet in het gedrang te brengen. De relaties in een mindmap kunnen daarvoor evenwel onvolledig zijn, terwijl bij concept maps net alle concepten, die op één of andere manier verband houden met elkaar, in de figuur duidelijk gekoppeld worden. Bovendien wordt in de concept map op elke link weergegeven hoe deze concepten precies aan elkaar gekoppeld zijn. Een concept map kan dus meer informatie bevatten dan een mind map, maar het heeft uiteraard niet de open structuur van een mind map. Een mindmap laat immers toe om nieuwe ideeën in verband te brengen met het centrale thema en de figuur verder aan te vullen. Een concept map laat minder creativiteit toe³².

Portfolio en notitieboekje

In een notitieboekje worden ideeën, bewijsmateriaal, oplossingsmethodes, ontwerpen en dergelijke verzameld en bijgehouden. Een portfolio is uitgebreider. Het is een verzameling van bewijsmateriaal over een bepaalde periode en met een bepaald doel voor ogen. Bovendien wordt het materiaal voorzien van commentaar en eventueel aangevuld met tussentijdse evaluaties. Dit bewijsmateriaal moet het mogelijk maken om de kennis, vaardigheden en attitudes van iemand af te leiden⁷⁹. Bovendien geeft het een leerling de mogelijkheid om zichzelf op een persoonlijke manier te uiten (zelfexpressie)⁷⁹. Portfolio's hebben een belangrijke meerwaarde omdat het de verantwoordelijkheid van de leerling voor het eigen leren verhoogt en beter in overeenstemming is met onderwijs waarin de leerling centraal staat⁷⁹. Een portfolio kan in principe voor summatieve of formatieve doeleinden gebruikt worden⁶⁸. Indien het voor summatieve evaluatie gebruikt wordt, is het belangrijk om de manier waarop gequoteerd wordt zorgvuldig te plannen in functie van de doelen die men wenst te bereiken⁷⁹. Afhankelijk van het uiteindelijke doel moet een ander type portfolio gekozen worden⁶⁸. Dochy et al.⁶⁸ onderscheiden vier verschillende types: vooruitgangsportfolio, procesportfolio, bestewerkportfolio en leerdoelenportfolio⁶⁸. Ondanks het grote potentieel van portfolio's, blijkt dat ze minder vaak gebruikt worden naarmate de leerling ouder is. Drie redenen worden daarvoor aangehaald: de onderwerpen worden meer gespecialiseerd en complexer, er is een toenemend aantal leerlingen per leraar en er ontstaat een groeiende druk om punten te communiceren naar o.a. de ouders toe⁷⁹.



Een voorbeeld van een vooruitgangsportfolio uit Dochy et al.⁶⁸ (p.56).

"Meetkundeporfolio: Leerlingen moeten het bewijsmateriaal verzamelen dat hun vooruitgang voor meetkunde toont. Het kan gaan om oefeningen in het werkboek, huistaken, proefwerken, ... Het gaat dan wel enkel om die taken die aantonen dat de leerling inderdaad vooruitgang geboekt heeft. De leraar legt uit dat vooruitgang kan betekenen dat de leerlingen bijvoorbeeld minder fouten maken, minder tijd nodig hebben om iets op te lossen dan voordien of in minder tussenstappen tot de oplossing kunnen komen. Bij de gekozen werkstukken schrijven de leerlingen stukjes commentaar over hun leerproces, zoals: 'Op deze huistaak maakte ik al heel wat minder fouten dan ik in de klas maakte bij het oplossen van de oefeningen in mijn schrift'. De leraar vraagt ook om zichzelf te beoordelen: 'Ben je tevreden met de vooruitgang die je gemaakt hebt?', 'Had je nog beter gekund?', ..."

Notitieboeken hebben een groot potentieel om gebruikt te worden als een formatieve evaluatievorm^{211, 282, 284}. In een ideale situatie vertelt een wetenschappelijk schrift het volledige verloop van een onderzoek van begin tot einde²⁸² net als bij echte wetenschappers²⁸⁴. Bovendien kan het misconcepten blootleggen¹⁰⁹. In een technisch werkschrift kan op een analoge manier het ontwerpproces bijgehouden worden, in een wiskundig werkschrift de oplossingsmethodes en alternatieve denkwijzen. Dergelijke persoonlijke nota's van de leerling hebben een groot potentieel maar worden soms onderbenut, dit is afhankelijk van de begeleiding die de leerlingen van de leraar krijgen⁸. Onderzoek in de lagere school

toonde aan dat de notities in dergelijke schriftjes vaak onvolledig zijn, wat erop wijst dat de schriftjes niet regelmatig gebruikt worden²⁸². Jonge kinderen schrijven niet alles op, zeker niet wanneer ze enorm betrokken zijn. Het is als leraar dus belangrijk om leerlingen tijdens hun onderzoek te blijven observeren⁸⁹. Toch is het gebruik van notitieboeken een interessante manier om de ideeën en ontwerpen van kinderen te verzamelen²⁸².

Notitieboekjes hebben een groot potentieel bij leerlingen met een beperkte talenkennis. Duitse leraren lager secundair onderwijs (Hauptschule, te vergelijken met beroepsonderwijs) stonden sceptisch tegenover het gebruik van dergelijke notitieboekjes in hun wiskundelessen. Hun voornaamste bezwaar bestond erin dat de talenkennis van hun leerlingen vaak te beperkt is; sommigen hebben zelfs moeite met lezen. Wanneer ze geconfronteerd worden met wiskundige problemen kan het voor hen zeer moeilijk zijn om hun ideeën en inzichten neer te schrijven. Om hun eigenwaarde en succesbeleving te verhogen, leggen ze zich dan ook liever toe op wiskundige berekeningen in plaats van op lezen en schrijven. Ondanks dit soort moeilijkheden is het toch mogelijk en zelfs aan te raden om een grotere nadruk te leggen op de schriftelijke verwoording van mathematische problemen. Wanneer leerlingen dit regelmatig oefenen, leren ze hun gedachtegang schriftelijk vast te leggen. Meestal erkennen ze zo snel de voordelen van deze methode om hun eigen leerproces in handen te nemen. Het schrijven van teksten wordt dan zelfs onmisbaar bij het aanpakken van wiskundige problemen. Vooral zwakke leerlingen met weinig zelfvertrouwen kunnen op deze manier hun eigen aanpak om problemen aan te pakken ontwikkelen. Ze zijn niet langer gedwongen om hun (onjuiste) manier van denken hardop in de klas te uiten, maar kunnen het in plaats daarvan eerst in hun schrift noteren. Op deze nota's krijgen ze vervolgens individuele feedback door de leraar. Op deze manier wordt de vordering duidelijk voor de leerling zelf, wat resulteert in een positief effect op hun zelfvertrouwen²⁷.

Concept cartoons

Concept cartoons zijn tekeningen waarin enkele personages hun standpunt verwoorden over een alledaags evenement. Meestal geven ze, naast een wetenschappelijk aanvaard standpunt, een aantal alternatieve ideeën (misconcepten) weer over een bepaald onderwerp. Er wordt weinig geschreven taal gebruikt en de context is aangepast aan de leefwereld van de leerlingen.

Concept cartoons worden voornamelijk toegepast bij wetenschappelijke vakken, maar ook voor wiskunde²¹⁸ en techniek⁹⁴ kunnen ze nuttig zijn. Het is een vorm van formatieve evaluatie, het legt immers een sterk verband tussen assessment (wat zijn de ideeën bij de leerlingen) en het daaropvolgende leerproces. Meer nog, de evaluatie vindt plaats tijdens de leeractiviteit, zonder dat de leraar iets extra's moet plannen^{122, 181, 182}.

Hierbij kunnen 'clickers' gebruikt worden. Dit is een activerende werkvorm waarbij leerlingen hun eigen ideeën op een snelle en moeiteloze manier kunnen meedelen aan de leraar. Met 'clickers' wordt de mening van de leerlingen automatisch vertaald naar een grafiek die beschikbaar is voor de leraar, zodat deze een correct zicht krijgt op de ideeën die leven bij de leerlingen⁶³. Indien er geen 'clickers' voorhanden zijn, kan dit eenvoudig opgelost worden met stemkaartjes.



Concept cartoon in verband met wetenschap: warmte, koude en isolatie¹²²

Situatie: drie kinderen hebben een sneeuwman gemaakt en overleggen of ze de sneeuwman een jas zullen aandoen.

- ▶ Tekstballon 1: Leg de jas niet op de sneeuwman. Hij zal smelten.
- ▶ Tekstballon 2: Ik denk dat de jas er voor zal zorgen dat de sneeuwman koud blijft en dat hij niet zal smelten.
- ▶ Tekstballon 3: Ik denk dat de jas geen verschil zal maken.

Concept cartoon in verband met wiskunde: spiegelen en roteren¹⁸²

Situatie: Vier kinderen staan rond een doos waarop OXO geschreven staat en vragen zich af of de woorden veranderen wanneer ze gespiegeld of geroteerd worden.

- ▶ Tekstballon 1: OXO is het enige woord dat je kunt spiegelen en roteren.
- ▶ Tekstballon 2: Ik denk dat je hetzelfde kan doen met de woorden NOON en MUM.
- ▶ Tekstballon 3: Je kunt MUM spiegelen, maar niet roteren.
- ▶ Tekstballon 4: Je kunt NOON spiegelen, maar niet roteren.

Discussiekaarten

Discussiekaarten kunnen ook gebruikt worden om leerlingendenkbeelden duidelijk te maken. De leerlingen discussiëren in groepjes over stellingen op een kaart. Ze delen deze in drie categorieën in: akkoord, niet akkoord en misschien/gedeeltelijk akkoord met de stellingen. Tijdens dit proces worden de leerlingen zich meer bewust van hun eigen ideeën en van de ideeën van hun medeleerlingen. Op basis hiervan wordt er verder gefocust op de stellingen waar ze het niet over eens geraakten en gaan ze vervolgens op zoek naar bewijzen om hun mening te onderbouwen^{158, 181, 182}.



Discussiekaarten

Een les biologie over herfstverschijnselen. In de verkenningsfase werkt de leraar met de volgende discussiekaarten en vraagt hij de kinderen om in groepjes te discussiëren over de stellingen: Zijn ze waar? Niet waar? Of zijn ze niet zeker over het antwoord. Het dient benadrukt te worden dat 'onzeker zijn' zeer nuttig kan zijn, omdat zo kan gevonden worden, wat nog onderzocht moet worden.

- ▶ In de herfst zijn er veel bloeiende planten.
- ▶ In de herfst worden de bladeren bruin omdat de bomen sterven.
- ▶ In de herfst vormen struiken bessen en zaden zodat de vogels eten hebben.
- ▶ In de herfst bouwen vogels een nest om zich warm te houden tijdens de winter.
- ▶ In de herfst zijn er geen insecten of andere kleine dieren meer in het bos.

Poppen

Onderzoek in de basisschool toonde aan dat het gebruik van poppen een stimulus kan betekenen voor leerlingen niet alleen om een discussie aan te gaan, maar ook om hun aandacht bij de discussie te houden^{109, 124, 222}. Vooral tijdens de introductiefase zijn ze nuttig. Bovendien moedigt het gebruik van één of meer poppen de leraar aan om vanuit een probleem te vertrekken. De pop heeft immers 'een probleem' dat de leerlingen moeten oplossen. Omdat de leraren vanuit een probleem vertrekken in plaats van instructies te geven, is de kans groter dat de klasdiscussie evolueert naar een leergesprek dat naar een oplossing van het probleem leidt. Uit interviews met de leerlingen bleek dat deze de poppen behandelde als echte personen. Hoewel de poppen door de leraar bediend werden, zorgden deze poppen voor een context waar de autoriteit (de leraar) niet geassocieerd werd met de probleemsteller (de pop), zodat de kinderen gemakkelijker met hem in interactie gingen^{124, 222}.

Tekeningen

Tekeningen van leerlingen die ze zelf van commentaar voorzien kunnen helpen bij het uitdrukken van hun ideeën¹⁵⁸. Leerlingen kunnen gevraagd worden om een wetenschappelijk begrip of de werking van een instrument te tekenen. De tekening, maar meer nog de commentaren van de leerlingen kunnen gebruikt worden voor formatieve evaluatie.¹⁵⁸



Bij het nadenken over de beweging van gasvormige deeltjes in het vierde leerjaar wordt de leerlingen gevraagd stil te zitten in de klas. Een fles parfum wordt geopend in de hoek van de kamer en de leerlingen wordt gevraagd hun hand op te steken wanneer ze het parfum ruiken. Na deze activiteit maken de leerlingen een tekening van de klas. Daarbij duiden ze hoe het parfum zich volgens hen verspreid. Daarnaast noteren ze hoe zij denken dat deze beweging gebeurt¹⁵⁸.

Whiteboarding

Whiteboarding is een techniek waarbij leerlingen individueel of in groep een whiteboard gebruiken om hun observaties of denkprocessen te beschrijven en te verklaren. Het is een manier om de kwaliteit van wetenschappelijke redeneringen te verbeteren in de klas. De bevindingen van de leerlingen worden voorgesteld aan de klas, waarna de leerlingen elkaar vragen kunnen stellen. De leraar en de leerlingen proberen dan samen tot een duidelijke conclusie te komen. Door deze aanpak wordt er getracht om de leerlingen te veranderen van 'verzamelaars van informatie' in 'vormgevers van inzicht'²⁷⁹. Whiteboarding vertoont veel gelijkenissen met de Socratische dialoog²⁷⁹. Whiteboarding is een interactief proces waarbij evaluatie een continu proces is om de voorkennis en het inzicht van de leerling te onderzoeken en om strategieën te ontwikkelen om de leerling tot een vollediger inzicht te leiden²⁷⁹.

ICT

Onderzoekend leren wordt gezien als een holistische taak. Het opdelen van de onderzoekende aanpak in aparte vaardigheden om zo de evaluatie te vergemakkelijken is dan ook niet wenselijk. Computersimulaties zouden een geïntegreerde aanpak van de evaluatie mogelijk kunnen maken omdat ze het volledige onderzoek kunnen opvolgen. Hoewel sommige wetenschappers betwisten dat een elektronisch apparaat effectief alle onderzoeksvaardigheden test⁷⁹, gaan zij er toch van uit dat computers een meerwaarde kunnen hebben in het evaluatieproces⁷⁹. Recente media zoals smartphones kunnen ingezet worden bij formatieve evaluatie. Leerlingen kunnen op deze manier hun informatie digitaal uitwisselen, waarop ze telkens feedback ontvangen van hun medeleerlingen, leraren of andere deskundigen²⁸⁸. Daarnaast kan een digitaal forum tot reflectie aanzetten (bv. Knowledge Forum®¹⁹²).

Besluit

De omschakeling van een toetscultuur naar een assessmentcultuur vraagt om nieuwe evaluatievormen. Formatieve evaluatie kan op papier gebeuren aan de hand van verslagen en portfolio's, maar kan even goed plaatsvinden tijdens een klasdiscussie of een informeel gesprek met de leerling. Het is belangrijk dat je als leraar een keuze maakt in de verschillende evaluatievormen zodat het een werkbaar geheel blijft, dat als voornaamste doel heeft de leerling te begeleiden in zijn leerproces.

3.8.5. Wie evalueert?

Traditioneel wordt evaluatie enkel en alleen door de leraar uitgevoerd, maar ook hier zien we een verschuiving. Naast de leraar worden andere personen ingeschakeld in het evaluatieproces: de leerling zelf en zijn medeleerlingen. Om dit te kunnen moeten leerlingen zicht hebben op wat ze moeten leren tijdens het proces. Concrete en ondubbelzinnige criteria zijn dus fundamenteel⁶⁸. Daarnaast moet deze vorm van evalueren hen aangeleerd worden¹⁵⁸. Hierbij moeten ze zich begrijpen en woorden, eigen aan het evaluatieproces, eigen maken. Bv. 'begrijpen' kan verschillende zaken betekenen: Het kan betekenen dat je iets kan uitleggen aan iemand anders, of dat je een idee kan uitvoeren, of dat je een probleem kan oplossen¹⁵⁸.

De onderstaande evaluatievormen worden in eerste instantie geleidelijk en op kleine schaal ingevoerd bij de leerlingen¹⁵⁸.

Zelf-evaluatie

Zelf-evaluatie houdt meer in dan alleen maar het verbeteren van het eigen werk (inhoudelijk). Leerlingen moeten ook leren hun eigen inzet en vooruitgang te beoordelen (metacognitieve vaardigheden). Daarvoor moeten zij wel betrokken worden bij het vastleggen van de evaluatiecriteria. Zelfevaluatie vormt immers de sleutel tot het zelfregulerend leren (zie Hoe? 3.9. Zelfregulerend leren)^{68, 109}.

Er zijn drie vormen van zelfevaluatie⁶⁸:

- ▶ Pauze- en denkactiviteiten: leerlingen lassen tijdens hun werk een korte pauze in om na te denken over wat ze leren.

- Het kijken naar bewijzen: leerlingen selecteren een werkvoorbeeld waarop ze bewijzen van hun leerproces becommentariëren.
- Verbanden leggen met de vooropgestelde criteria: leerlingen kijken op basis van de vooraf opgestelde criteria na of hun werk eraan voldoet ^{68, 109} en kunnen zichzelf een quotatie geven ¹⁰⁹.

In het tekstvak vind je methodieken om leerlingen aan te zetten tot zelfevaluatie.

Peer-evaluatie

Peer-evaluatie is een proces waarbij medeleerlingen die hetzelfde leerproces doormaken elkaar evalueren ⁶⁸. Dit kan zowel summatief als formatief zijn ⁶⁸. De leerlingen zien elkaar bezig tijdens het leerproces en hebben daardoor vaak een beter zicht dan de leraar op de kennis en het werk van de andere ⁶⁸. Ook hier is het vooraf vastleggen van duidelijke en concrete evaluatiecriteria van groot belang, eventueel in samenspraak met de leerlingen.

Peer-evaluatie kan zelfevaluatie ondersteunen ¹⁵⁸. Strategieën voor peer-evaluatie zijn niet van meet af aan duidelijk voor kinderen. Wanneer ze gevraagd worden om elkaars werk te beoordelen, kunnen ze de rol op zich nemen van een harde en onverzettelijke leraar. Effectieve manieren om elkaars werk te evalueren moeten daarom worden geëxpliciteerd. Kinderen moeten leren om ondersteunende formatieve opmerkingen en suggesties aan te bieden ¹⁵⁸. Deze evaluatiemethodes kunnen ze daarna toepassen bij hun zelfevaluatie ¹⁵⁸.

In het tekstvak op de volgende pagina vind je methodieken om peer-evaluatie te integreren in de les.



Methodes om leerlingen aan te zetten tot zelfevaluatie:

- Eenvoudige manieren om zichzelf te beoordelen zijn bv. het gebruik van smileys, duimen, een schaal van één tot drie of verkeerslichtkleuren ¹⁵⁸. Op deze manier kunnen leerlingen op een eenvoudige manier hun eigen inzicht beoordelen, zodat ze op basis daarvan zelf de onderwerpen kunnen onderscheiden die ze nog beter dienen te begrijpen ^{109, 114}.
- Leerlingen kunnen een KWLH kaart gebruiken: Wat kennen ze (Know)? Wat vragen ze zich af (Wonder)? Hoe kunnen ze de oplossing vinden (How)? en Wat hebben ze geleerd (Learned)? ¹⁰⁹
- Leerlingen kunnen op het einde van de les een korte samenvatting maken van wat ze geleerd hebben. Dit stimuleert hen om na te denken over hun eigen leerproces en zal hen helpen om hun vooruitgang te appreciëren. In klassen waar taal een potentieel probleem is, wordt aangeraden dat de leraar zich bij deze zelfreflectie focust op de inhoud en geen taalfouten corrigeert. Het tolereren van dergelijke fouten blijkt aanvankelijk moeilijk, zeker bij leerlingen met grote taalkundige tekortkomingen ²⁷.
- Een dagboek: leerlingen reflecteren over hun persoonlijke vorderingen in een dagboek. Dit dagboek geeft de leraar een beeld van de individuele vorderingen en problemen van de leerlingen. De leerling kan daarbij aangeven waar hij fouten maakte en uit deze fouten leren. Een belangrijke motivatie voor de leerlingen om een dergelijk dagboek bij te

houden, is de vrijheid om dit te doen op hun eigen manier. Ze krijgen de kans om hun individuele talenten daarbij te gebruiken, zoals creativiteit, verbeelding, en planning, allemaal factoren die anders te weinig aandacht krijgen. Uit onderzoek blijkt dat zelfs leerlingen die niet bijzonder hielden van wiskunde, toch in staat waren om een fundamenteel inzicht in wiskundeproblemen te ontwikkelen door gebruik te maken van hun dagboek. Ongeveer de helft van de leerlingen had het gevoel dat ze een persoonlijk voordeel hadden bij het bijhouden van een dagboek. Ze kregen meer zelfvertrouwen om zich te uiten en waren in staat om het geleerde beter te onthouden²⁷.



Methodes om peer-evaluatie te integreren in de les:

- ▶ Leerlingen kunnen informeel peer-evaluatie toepassen wanneer ze hun ideeën delen met elkaar en taken onderling met elkaar vergelijken. Op deze manier wordt een cultuur van participatief leren vorm gegeven²⁸⁸.
- ▶ Na een onderzoek, het oplossen van een probleem of het maken van een ontwerp kunnen de producten aan elkaar voorgesteld worden. Leerlingen kunnen aan de hand van vooraf vastgestelde criteria de resultaten beoordelen¹¹⁴.
- ▶ Leerlingen presenteren de resultaten van hun opdracht. Medeleerlingen kunnen de vorm en inhoud van deze presentatie beoordelen. De presentatie zelf kan aanleiding geven tot een klasdiscussie¹¹⁴ waarbij sommige leerlingen kunnen aangeduid worden als criticus (naar analogie met wetenschappelijke conferenties)¹²⁹.
- ▶ Tijdens een groepswerk kan het nuttig zijn om de opdracht in verschillende deeltaken op te splitsen (één voor elk groepslid). Dit moedigt teamleden aan om niet alleen hun eigen deel goed uit te voeren, maar ook om de anderen te motiveren om hun deel goed uit te voeren. Een dergelijke opdeling laat groepsleden toe om elkaars deel na te lezen op fouten en te wijzen op eventuele onduidelijkheden. Op deze manier wordt een ander 'publiek' gecreëerd dan wanneer de leerling iets schrijft voor de leraar¹⁵⁷.
- ▶ Een andere groepsevaluatietechniek is van summatieve aard en bestaat erin dat leerlingen proportioneel punten kunnen geven aan elkaar. Wanneer de bijdrage van de leerlingen aan het groepswerk niet evenredig was, dan  op deze manier de leerlingen die het meeste werk deden de hoogste punten krijgen. Leerlingen appreciëren dat ze op deze manier input kunnen geven bij het evaluatieproces en vinden het een zeer eerlijk systeem om tot een punt voor een groepswerk te komen¹⁵⁷.

Co-evaluatie

Bij co-evaluatie worden de criteria samen bepaald. Er kan ook samen geëvalueerd worden, maar dit is niet noodzakelijk⁶⁹. Leerlingen kunnen op deze manier mee beslissen over de verwachtingen die aan hen gesteld worden, waardoor de intrinsieke motivatie stijgt. Co-evaluatie kan gebruikt worden als

summatieve evaluatie, terwijl zelfevaluatie en peer-evaluatie eerder op een formatieve manier zullen gebruikt worden⁶⁸. Co-evaluatie omvat vaak een combinatie van zelfevaluatie, peer-evaluatie en evaluatie door de leraar⁶⁸.

3.8.6. Feedback geven

Feedback geven aan leerlingen bestaat niet alleen in het geven van informatie over de kloof tussen wat ze reeds bereikt hebben en wat ze zouden moeten bereiken, maar het gaat er ook om deze informatie te gebruiken om deze kloof te dichten⁷⁹. Feedback is dan ook het meest nuttig wanneer het gericht is op de leerdoelen en minder op andere kenmerken van de opdracht, zoals netheid, handschrift, lengte, geleverde inspanning en het taalgebruik⁶⁸. Bij feedback kan de leerling aangezet worden om na te denken over lange termijn- of korte termijn doelen, om zo zijn leerproces richting te geven en hem aan te zetten tot zelfregulerend leren⁶⁸. Onderzoek toont aan dat de feedback van de leraar significante verbeteringen bij de leerling oplevert wanneer het voldoet aan de kenmerken opgenomen in het tekstvak.



Kenmerken van goede feedback:

- ▶ Het wordt gegeven binnen een vertrouwensrelatie tussen de feedbackgever en de feedbackontvanger¹⁰⁹.
- ▶ Het wordt gegeven in de vorm van onderhandeling en co-constructie¹⁰⁹.
- ▶ Het is niet gericht op de eigenwaarde van de leerling, maar op het leren zelf^{99, 109, 114}.
- ▶ Het wordt gegeven wanneer de leerling klaar is om het te ontvangen, omdat het in overeenstemming moet zijn met hun eigen waarden en doelen¹⁰⁹.
- ▶ Het is gebaseerd op waardevolle criteria¹⁰⁹.
- ▶ Het moedigt de leerling aan¹⁰⁹.
- ▶ Het benadrukt de positieve resultaten, zowel in het verleden als in de toekomst¹⁰⁹.
- ▶ Het stimuleert de leerling om actie te ondernemen om de huidige voortgang voor te zetten of te verbeteren¹⁰⁹.
- ▶ Het streeft naar duurzame veranderingen in het denken van de leerling, in plaats van het 'snel repareren' van de huidige taak¹⁰⁹.
- ▶ Het laat de leerling reflecteren op hun eigen leren zodat ze er controle kunnen over nemen¹⁰⁹.
- ▶ Constructieve feedback moet worden gegeven tijdens discussies en praktische taken¹⁰⁹.
- ▶ Leraren moeten alleen feedback geven, zonder het geven van punten¹⁰⁹.
- ▶ Leerlingen kunnen op de feedback van de leraar reageren door hun eigen gedachten en het bewijs van veranderingen die zij hebben gemaakt neer te schrijven¹⁰⁹.
- ▶ Het geeft de leerling informatie over hoe goed hij presteerde en hoe hij de volgende keer eventueel nog beter kan presteren^{78, 216}.

Feedback kan echter ook op een controlerende manier aangeboden worden, waardoor het positief effect sterk kan dalen. Een leraar die aan een leerling meedeelt dat "zij goed gepresteerd heeft, zoals hij dit van haar verwachtte" geeft weliswaar positieve feedback, maar dwingt de leerling om de volgende keer hetzelfde prestatieniveau te halen. Wat zich kan vertalen in interne druk bij de leerling²⁶².

Besluit

De verandering van een toetscultuur naar een assessmentcultuur vindt langzaamaan zijn weg in het basis- en het secundair onderwijs. Formatieve evaluatievormen worden meer en meer toegepast, maar toch worden leerlingen voorlopig nog te dikwijls gestuurd door de punten die ze al dan niet kunnen verdienen met een opdracht. Door de nadruk op summatieve evaluatie te leggen, is de intrinsieke motivatie bij veel leerlingen vaak veraf. Terwijl het doel is hen tot geëngageerde leerlingen op te leiden die zelfregulerend aan de slag kunnen en begrijpen waarom ze bepaalde leerdoelen dienen te bereiken.

3.9. Hoe zelfregulerend leren stimuleren?

*Een doel zonder een plan is slechts een wens. Antoine de Saint-Exupéry
Ik hoor en vergeet. Ik zie en onthoud. Ik doe en begrijp. Confucius*

Tegenwoordig wordt meer en meer van leerlingen verwacht dat ze hun opdrachten kunnen plannen, dat ze zelf op een kritische manier informatie kunnen verzamelen, dat ze overzicht kunnen bewaren over hun werk en dat ze indien nodig hun eigen leerproces kunnen controleren en bijsturen. Zelfregulerend leren is de laatste jaren dan ook een belangrijk onderwerp geworden in het onderwijs. Dit wordt in Vlaanderen geïllustreerd door de invoering van de eindtermen rond 'leren leren'²⁶⁵ in het basis- en het secundair onderwijs. Zelfregulerend leren is dan ook van ontzettend groot belang voor alle leerlingen. Scholen moeten hun leerlingen immers voorbereiden op levenslang leren op o.a. wetenschappelijk en technisch vlak²¹⁶ en hen een basis meegeven om op een kritische manier om te gaan met nieuwe informatie.

Leren leren is complex. In de vakoverschrijdende eindtermen van het secundair onderwijs worden zes dimensies onderscheiden: opvattingen over leren, regulering van het leerproces, informatieverwerking, informatieverwerking, probleemoplossing (zie Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken) en studie- en beroepsgerichte keuzebekwaamheid. In dit hoofdstuk zullen we, zoals de titel van dit hoofdstuk aangeeft, voornamelijk ingaan op het zelfregulerend aspect en de opvattingen over leren die daar sterk mee verbonden zijn.

3.9.1. Waarom zelfregulerend leren?

Deskundigen zijn het er bijna unaniem over eens dat er in de alledaagse schoolse context nog onvoldoende nadruk wordt gelegd op leerlingenactiviteit (zowel binnen als buiten de klas) die een grotere verantwoordelijkheid bij de leerlingen plaatst. Met name in wiskunde- en wetenschapsklassen²⁷ en in projectwerk⁴³ zijn daar nochtans veel mogelijkheden toe²⁷. Het belang van zelfregulerend leren voor wetenschappen¹⁶⁷, wiskunde³² en techniek¹⁴ is reeds aangetoond. In klassen met een hoge graad van zelfwerkzaamheid vertonen leerlingen een hogere graad van intrinsieke motivatie. Ze zijn gefocust op hun taak wanneer ze een onderwerp of teamgenoten kiezen. Ze zijn gefocust op wat ze leren over een onderwerp en hoe hun geschreven taal verbeterde wanneer ze hun teksten vergeleken. In klassen met een lage graad van zelfwerkzaamheid zijn leerlingen voornamelijk geïnteresseerd in de evaluatie door de leraar en hoeveel ze scoorden voor een bepaalde opdracht. De belangstelling van de leerlingen gaat daar vooral uit naar het krijgen van een goed cijfer⁹⁹ en dus niet naar het effectief beheersen van de leerinhouden. Zelfregulerend leren wil zeker niet zeggen dat systematische overdracht van kennis en educatieve ondersteuning uitgesloten worden. Deze blijven deel uitmaken van het onderwijs. Het

is enkel de interactie van al deze onderwijsvormen die het pad effent naar effectieve en duurzame leerprocessen¹¹.

Zelfregulerend werken kan niet los staan van de andere beschreven methodes in dit boek. Dit wordt bevestigd door de literatuur: 'Constructivistische' activiteiten kunnen contraproductief werken wanneer ze onvoldoende gericht zijn op autonomie bij het leren. Werkvormen zoals coöperatief leren, een leerdagboek bijhouden, klasdiscussies en praktische onderzoeken zullen niet automatisch leiden tot een grote en diepgaande cognitieve betrokkenheid. De manier waarop de leraar ze implementeert en de manier waarop leerlingen ze interpreteren zijn van het grootste belang. Afhankelijk van de gebruikte methode kan de motivatie van leerlingen toenemen of dalen^{93, 199}. Ook een product-georiënteerd curriculum kan het proces van zelfgestuurd leren tegenwerken.⁹³

Bovendien is een gevoel van autonomie een belangrijke factor die de betrokkenheid en de interesse van de leerling kan versterken¹³⁹.

Uit een Nederlandse studie met havoleerlingen blijkt dat zij graag zelf willen bepalen hoe ze leren, maar dat dit wel binnen duidelijke kaders moet gebeuren met duidelijke verwachtingen over gewenst gedrag en leerresultaat. Deze studie stelt dat juist bij exacte vakken men veel gebruik kan maken van zelfwerkzaamheid indien de procedures helder zijn, dit zowel op individueel vlak als in groep⁹². In de Vlaamse context is ook hierrond al heel wat werk verricht. In het 'Inspiratiehandboek zelfgestuurd leren'²⁶⁹ zijn vijftien praktijkvoorbeelden rond zelfregulerend leren uit het secundair onderwijs in Vlaanderen verwerkt.

Toch zijn de onderzoeksresultaten die we vonden met betrekking tot zelfregulering en het implementeren van metacognitieve strategieën niet altijd eenduidig positief. In een onderzoek met zes- tot negenjarigen werd enkel bij de zesjarigen een significant effect vastgesteld, daarbij was het handelen van de zesjarigen meer in overeenstemming met wetenschappelijke principes dan die van de controlegroep⁶⁴. Een studie bij negen- en elfjarigen toont aan dat kinderen van de laatste groep, die metacognitieve ondersteuning kreeg, minder impulsief reageerden en dat hun tijd – nodig om het probleem op te lossen – langer was. Er waren echter geen significante bevindingen bij de groep negenjarigen⁶⁵.

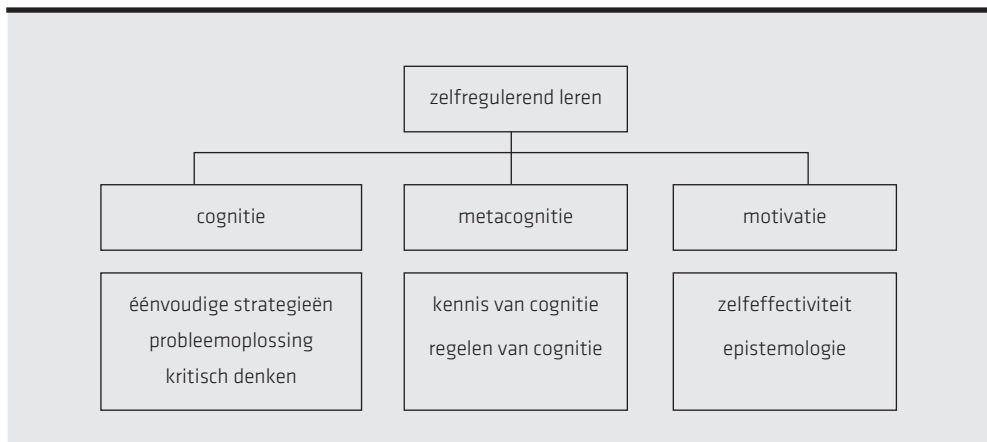
3.9.2. Wat is zelfregulerend leren?

Zelfgestuurd leren is zelfstandig en met zin voor verantwoordelijkheid de sturing van de leerprocessen in handen nemen, dit betekent: zelfstandig beslissingen nemen in verband met de leerdoelen, de leeractiviteiten en de zelfbeoordeling²⁸. Uit onderzoek blijkt dat een grotere zelfstandigheid bij het leren ervoor zorgt dat er diepgaander wordt geleerd en dat het geleerde langer blijft²⁶⁹. Bepaalde studies stellen zelfs dat het toelaat om "onverwachte goede resultaten" te bereiken⁴⁰.

Zelfregulerend leren verwijst naar de mate waarin leerlingen betrokken zijn bij hun eigen leerproces. Daarbij spelen volgende componenten een belangrijke rol: cognitie, metacognitie, motivatie en activi-

teit^{216, 290} (Figuur 4). Elke component is noodzakelijk maar op zich niet voldoende om zelfregulerend leren te bewerkstelligen²¹⁶. **Cognitie** omvat onder andere vaardigheden zoals samenvatten, uit het hoofd leren, zich informatie herinneren, maar ook probleemoplossende vaardigheden en kritisch denken²¹⁶ (zie Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken)

Metacognitie betekent het zich bewust zijn van het eigen denkproces, de eigen sterktes en zwaktes kennen en ook weten welke strategieën er kunnen gebruikt worden om problemen op te lossen. Concreet houdt dit in dat de leerling zelf leerdoelen kan formuleren, een planning kan opstellen, zichzelf kan evalueren en zichzelf kan bijsturen²⁹⁰ en dat hij zijn eigen denkprocessen kan begrijpen en opvolgen²¹⁶. **Motivatie** is niet alleen een vereiste, maar ook een gevolg van zelfregulerend leren. De leerling moet immers intrinsieke interesse hebben in de opdracht²⁹⁰. Anderzijds heeft zelfregulerend leren ook een positief effect op de leermotivatie¹⁹⁸ en op de schoolprestaties²⁹⁰. Onderzoek toont aan dat het verhogen van de autonomie van de leerling zeer nuttig kan zijn bij leerlingen met een lage motivatie¹²⁰. Motivatie omvat twee belangrijke deelcomponenten: zelfeffectiviteit (self-efficacy) en epistemologische overtuigingen²¹⁶. Beide begrippen vragen enige omkadering: zelfeffectiviteit is het geloof in de eigen bekwaamheid om een veeleisende opdracht tot een goed einde te brengen. Deze belangrijke component wordt onder andere bepaald door eerdere positieve ervaringen met soortgelijke taken en een ondersteunende sociale en emotionele omgeving¹⁴. Epistemologische opvattingen zijn opvattingen over hoe kennis tot stand komt (kennisleer)(zie verder in dit hoofdstuk). Deze drie componenten moeten tenslotte tot **activiteit** bij de leerling leiden: de leerling moet de meest geschikte leerstrategieën niet alleen kiezen, maar ook toepassen¹⁹⁶. Hij moet selecteren, structureren, omgevingen creëren die het leren optimaliseren, een geschikte plaats kiezen om te studeren, zoeken naar advies en informatie, ...



Figuur 4: Componenten van zelfregulerend leren²¹⁶

3.9.3. Een leerling wordt niet van vandaag op morgen zelfregulerend

Werken aan zelfregulerend leren veronderstelt een systematische en volgehouden leerlijn. Een leraar kan niet van vandaag op morgen al zijn leerlingen volledig zelfstandig aan het werk zetten: sommige leerlingen maken misbruik van de geboden vrijheden, het niveau van het geleverde werk daalt, de leertijd wordt niet efficiënt aangewend...²⁶⁹. De evolutie naar zelfregulerend leren gebeurt stapsgewijs en heeft een invloed op de rol van zowel de leraar als de leerling. Dit wordt weergegeven in het schema in het tekstvak.

Leerlingen kunnen zelfregulerend worden door vier stadia te doorlopen: eerst observeren, dan imiteren, vervolgens zelfcontrolerend te werk gaan en ten slotte zelfregulerend functioneren. In het zelfregulerende stadium vertonen zij een hoge graad van zelfwerkzaamheid en hebben ze er vertrouwen in dat ze een opdracht tot een goed einde kunnen brengen (self-efficacy)²¹⁶. Eerste stappen in de richting van zelfregulerend werken kunnen al bij jonge kinderen van zes jaar succesvol ingevoerd worden⁶⁴. Een klasklimaat waar naast het geven van duidelijke instructies o.a. het aanleren van een heuristiek, ook aandacht is voor de metacognitieve ondersteuning (leerlingen zich bewust laten worden van hun denken en handelen opdat ze het zelf zouden kunnen sturen) maakt dat leerlingen beter in staat zijn wetenschappelijk probleemoplossend te denken⁶⁵. Leraren moeten daarbij hun rol herbekijken en niet langer lessen geven waarbij ze zoveel mogelijk kennis proberen over te dragen. Zij moeten echter leer-situaties creëren die leerlingen uitnodigen om zelf aan de slag te gaan en hen medeverantwoordelijk maken voor hun eigen vooruitgang¹².

Leerder					
Leer- attitude	Passief Receptief Reproductief	Geleid zelf (samen) werken	Begeleid zelfstandig (samen) werken	Begeleid zelfstandig (samen) leren (BZL)	Zelfverantwoordelijk (samen) leren
Status	Gehoorzame leerder	Handelende leerder		Leerbekwame leerder	Leerautonomie leerder
Leraar					
Leraarstijl	Totale leraarsturing		Gedeelde sturing		Totale leerdersturing
Status	Frontale kennisoverdrager Kundig vakexpert		Kundig coach Kundig begeleider		Kundig buitenstaander Kundig product ontwik- kelaar

Naar Zelfstandigheid bij de leerling en herstructurering van het onderwijsleerproces (adaptatie van ⁷⁰)

Het woord 'zelfregulerend' betekent nu ook niet dat de leraar geen rol meer heeft in het leerproces. Integendeel, de leraar speelt een cruciale rol en zijn taken worden divers: de leraar observeert de leerlingen tijdens het leerproces, stimuleert hen tot zelfreflectie, organiseert andere vormen van evaluatie (zie Hoe? 3.8. Evalueren), creëert leersituaties en treedt op als coach²⁶⁹. Weinig leerlingen worden volledig zelfregulerend, maar deze met betere zelfregulerende vaardigheden leren meer met minder inspanning en vertonen een grotere tevredenheid over het onderwijs²¹⁶.

3.9.4. Hoe worden leerlingen zelfregulerend?

In de literatuur worden verschillende modellen van zelfregulerend leren beschreven²⁰¹. Deze modellen hebben, ondanks hun verschillende theoretische achtergrond, vaak een gelijkaardige structuur. In alle modellen worden drie fasen onderscheiden: een inleidende of voorbereidingsfase, een uitvoeringsfase waarin de taak vervuld wordt en ten slotte een evaluatiefase waarin de taak beoordeeld en aangepast wordt²⁰¹. Deze drie fasen volgen elkaar cyclisch op²⁹².

De **voorbereidingsfase**: De voorbereidingsfase heeft betrekking op de gedachten en de processen die zich afspelen voorafgaand aan het leren. Twee aspecten spelen een rol, met name de taakanalyse en de zelfmotivatie. Bij de taakanalyse stelt men vragen zoals *Welke doelen wil ik bereiken? Welke strategieën zal ik daarbij gebruiken?* Zelfmotivatie houdt in dat de leerling pas een taak start indien hij gemotiveerd is. Dit betekent dat hij gelooft dat hij de taak tot een goed einde kan brengen, dat hij geïnteresseerd is in de taak en dat hij de taak waardevol vindt²⁹².



Leerlingen kunnen doorheen het groeiproces naar zelfregulerend leren tips krijgen zoals¹⁸⁸:

- ▶ Hoe richt je je werkplek in? Kies een rustige, aangename omgeving waar geen afleiding is, organiseer je werkplek of tafel op een overzichtelijke manier, zorg voor een comfortabele, ergonomische zithouding, ...
- ▶ Hoe word je een goede timemanager? Stel prioriteiten, maak een duidelijke en haalbare planning. Probeer je aan je planning te houden, maar weet dat plannen een groeiproces is. Stel je planning dus bij indien nodig.
- ▶ Hoe verwerk je teksten? Zoek de sleutelwoorden in een tekst. Zoek structuur in de tekst. Let op signaalwoorden. Besef dat niet alles even belangrijk is en ga sneller door een tekst die louter informatief is.
- ▶ Hoe maak je schema's? Maak een schema met de essentiële punten uit de tekst. Kijk daarbij ook eens naar de inhoudstabel. Duid verbanden aan in je schema. Gebruik indien nodig verschillende schematiseringsmethodes: boomdiagram, tijdlijn, mindmap, concept map ...
- ▶ Hoe memoriseer je je leerstof? Gebruik mnemotechnische middelen (o.a. "KNAP", Kathode Negatief, Anode Positief bij elektrolyse), gebruik je eigen verbeelding en associaties om ezelsbruggetjes te maken.

- Zoek extra informatie op. Begrijp je het niet helemaal, of zit je nog met vragen, zoek het antwoord in boeken of het internet. Ga op een kritische manier om met de bronnen.
- Weet wat je moet kennen én weet wat je kent. Wat wordt er van jou verwacht op de toets? Moet je theorie kennen of enkel oefeningen? Pas je studeermethode daaraan aan. Test jezelf! Stel zelf vragen op bij de leerstof, die je zelf probeert te beantwoorden. Zoek toepassingen of voorbeelden bij de leerstof.
- Ten slotte: Geloof in jezelf! Wanneer je gelooft dat je het nooit zal kunnen, dan zal dat ook zo zijn.

De **uitvoeringsfase** verwijst naar wat de leerling tijdens het leren doet. Daarbij zijn twee processen belangrijk: zelfcontrole en zelfobservatie²⁹². Voorbeelden van zelfcontrole zijn: zich een voorstelling maken van de leerstof (bijvoorbeeld zich inbeelden hoe de sappen in een boom stromen), zichzelf instructies geven, zich concentreren door lawaai uit de omgeving te weren en de taak op te delen in deeltaken. Het tweede proces, de zelfobservatie, houdt in dat de lerende zichzelf observeert tijdens het uitvoeren van de taak. Hij bekijkt bijvoorbeeld hoeveel tijd hij aan een taak besteedt en op welke manier hij het efficiëntst studeert²⁹¹.

De **evaluatie- of zelfreflectiefase** vindt plaats na het leren. Deze fase omvat de zelfbeoordeling en de reactie van de lerende²⁹². Hierbij vergelijkt de lerende zijn prestatie met een vorige prestatie of met de prestaties van iemand anders. Daarnaast kan de lerende zijn geleverde prestatie toeschrijven aan een bepaalde oorzaak²⁹¹. Er zijn twee soorten reacties: hij kan tevreden zijn over zijn prestatie²⁹² of hij kan ontevreden zijn. In het laatste geval kan hij ofwel zijn aanpak aanpassen, zodat hij de volgende keer beter presteert, of hij kan defensief reageren om zich op deze manier tegen toekomstige mislukkingen te beschermen²⁹². Zo een defensieve strategie is 'aangeleerde hulpeloosheid': de lerende doet geen inspanningen meer omdat hij niet gelooft dat hij kan slagen. Dit kan zover gaan dat de leerling zich zelfs in situaties die hij normaal gezien aankan, toch passief zal opstellen, waardoor hij bijvoorbeeld uitstelgedrag zal vertonen²⁹¹.

Metacognitie

Weten wat men weet en weten wat men niet weet, dat is het ware weten. Confucius

Metacognitie is het nadenken over het denken met als doel het denken te verbeteren²⁵⁸. Een beperkt onderzoek in de lagere school toonde aan dat het stellen van metacognitieve vragen – zoals deze uit een stappenplan – tot meer inzicht en betere prestaties leidt dan in de controlegroep die deze vragen

niet kreeg¹⁶⁷. Deze vragen situeren zich op vier vlakken (zie Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken) en lopen parallel aan de drie fasen die hierboven beschreven staan:

- ▶ Begrip van het probleem dat zich stelt: waarover gaat het fenomeen? Wat is het probleem dat we onderzoeken?¹⁶⁷ Herformuleer het probleem⁶⁴.
- ▶ Is er een verband tussen vorige en deze nieuwe kennis? Wat weet je al over het fenomeen? Wat is het verband en/of zijn de verschillen tussen dit probleem en de andere problemen die we reeds onderzochten?^{95, 167} Hoe kan ik een antwoord vinden op deze vraag? Is er een andere manier om naar dit probleem te kijken? ¹⁵⁸ Is er een creatieve manier om dit probleem op te lossen⁹⁵? Zijn er nog andere manieren om een antwoord te vinden voor dit probleem? Wat zijn geschikte (onderzoeks)methodes om het probleem op te lossen?^{64, 167} Wat hebben we allemaal nodig om het experiment uit te voeren? Hoe ga je dit uitvoeren? Wat moet er nu gebeuren?¹⁵⁸
- ▶ Gepaste onderzoeksstrategieën toepassen: kies een oplossingsstrategie en voer het plan zo correct mogelijk uit⁶⁴. Tijdens de uitvoering kijkt de leerling als het ware over zijn eigen schouder mee en gaat na of elke stap die hij zet gepast en zinvol is.
- ▶ Reflecteren over het proces en de oplossing: houdt de oplossing steek? Kan het experiment nog op een andere manier uitgevoerd worden? Hoe? Leg uit.¹⁶⁷ Is het antwoord de oplossing voor de oorspronkelijke vraag⁶⁴? Kan ik mijn mening nog op een andere, meer duidelijke manier verwoorden?¹⁵⁸

Deze vorm van zelfregulering sluit sterk aan bij de beertjes van Meichenbaum en analoge methodieken zoals de wetenschappelijke denkkring (Scientific Circle of Thinking). Deze blijken efficiënte instrumenten te zijn die het wetenschappelijke redeneren van kinderen ondersteunen⁶⁴.

De term metacognitie kan daarnaast ook verband houden met de manier waarop leerlingen denken over het ontstaan en de evolutie van wetenschap, wiskunde en techniek (zie Wat? 2.1.5. Nature of Science). Hierbij worden inzichten/ideeën over wetenschap en "Hoe wetenschap werkt?" behandeld¹⁹⁷.

Zelfreflectie en wat ermee te doen

Reflectief denken is de vaardigheid om ervaringen te heroverwegen met als bedoeling om verbeteringen voor de volgende keer op te sporen²⁵⁸ (zie Hoe? 3.8. Evalueren). Wanneer reflectief denken vaker wordt gebruikt, dan ontstaat kennis over welke verschillen en gelijkenissen er zijn tussen de opdrachten en hoe een leerling daar kan mee omgaan²⁵⁸.

Veel onderzoekers geloven dat reflectie het belangrijkste cognitieve mechanisme is om kritisch denken en metacognitie te bevorderen. Kritische reflectie benadrukt het gebruik van verschillende perspectieven.²¹⁶ Daarbij zijn drie aspecten van belang:

- ▶ Zelfkennis van leerlingen, met inbegrip van het bewustzijn van welke kennis en vaardigheden ze hebben en weten wanneer en waarom deze kennis en vaardigheden nuttig zou kunnen zijn.
- ▶ Zelfverbetering, waaronder de vaardigheid om na te denken over de eigen kennis en het gebruik van deze kennis om zo te bepalen hoe beide kunnen verbeterd worden.

- Zelfregulerende vaardigheden, met inbegrip van vaardigheden om te plannen en zichzelf op te volgen. Daaronder vallen onder andere: 1) het bepalen van de doelen; 2) het ontwikkelen van strategieën om deze doelen te bereiken; 3) de evaluatie van hun vorderingen en indien nodig 4) het wijzingen van de oorspronkelijke strategie of het oorspronkelijk plan¹⁷⁵.

Het ontwikkelen van dergelijke metacognitieve kennis is de sleutel tot het verwerven van onderzoeksvaardigheden en 'leren leren' in het algemeen¹⁷⁵.

Een kenmerk van zelfregulerende, reflectieve leerlingen is hun vermogen om zichzelf vragen te stellen die het leren richting kunnen geven⁴⁴. Daarnaast geeft het type vragen dat leerlingen stellen een beeld weer van hun denken⁴⁴. Wanneer leerlingen reflecteren op hun eigen werk en dat van hun medeleerlingen, dan vergroten ze hun inzicht over de inhoud en de leerprocessen. Reflectiviteit treedt op wanneer op basis van reflecties nieuwe acties worden ontwikkeld. Zoals een leraar het uitdrukte: "Het leren wordt voortgestuwd door reflectie. Wanneer leerlingen doelgericht en systematisch zichzelf bestuderen, gaan ze sneller groeien als leerling"¹¹⁸.

Opvattingen over leren (epistemologie)

Epistemologie of kennisleer is de wetenschap die alles over kennis en het weten bestudeert. De centrale vragen binnen deze discipline zijn: Wat is kennis? Wat kan ik weten? Hoe wordt kennis vergaard? De epistemologische overtuigingen of 'opvattingen over leren' kunnen een grote impact hebben op het leerproces van leerlingen. In deze paragraaf gaan we kort in op de types epistemologische overtuigingen die er bestaan, wat hun invloed is op de attitudes bij de leerling en hoe je in de klas aan epistemologische overtuigingen kan werken.

Elk van de overtuigingen vermeld in het tekstvak heeft een invloed op de graad waarin leerlingen zich: 1) engageren voor het leren; 2) doorzetten bij een moeilijke opdracht; 3) omgaan met geschreven informatie; 4) omgaan met hun eigen onvoldoende gestructureerde kennisdomeinen. Onderzoek toont aan dat bij elk van deze vier aspecten epistemologische overtuigingen het leren kunnen ondersteunen of kunnen hinderen²¹⁵. Uit nog ander onderzoek blijkt dat elk van deze epistemologische overtuigingen een invloed uitoefenen op het probleemoplossende en kritische denken²¹⁶. Bovendien is er een samenhang tussen epistemologische overtuigingen en de vaardigheid om wetenschappelijke problemen op te lossen.²¹⁶ Als leraar dient men zich bewust te zijn van dit soort vooronderstellingen. In de klas wordt dit filosofisch geladen onderwerp zelden bediscussieerd, maar om de leerlingen tot zelfregulerend leren te brengen, is het noodzakelijk om deze epistemologische overtuigingen te behandelen²¹⁵ (zie tekstvak).



Schommer²¹⁴ onderscheidt vijf verschillende opvattingen/misvattingen die leerlingen kunnen hebben over leren^{214, 215, 216}:

- ▶ Snelheid om kennis te verwerven:
 - leren gebeurt snel, indien niet dan is het onmogelijk om het nog te leren
 - of het leerproces is een geleidelijk proces
- ▶ Aangeboren vermogen:
 - de mogelijkheid om te leren is aangeboren en staat vast bij de geboorte
 - of het vermogen om te leren kan verworven worden door ervaring
- ▶ Organisatie van kennis:
 - ideeën zijn eenvoudig en losstaand
 - of ideeën zijn complex en samenhangend
- ▶ Zekerheid van kennis:
 - kennis staat vast en verandert niet
 - of kennis is voortdurend in ontwikkeling
- ▶ Bron van kennis:
 - kennis komt van een alwetende autoriteit
 - of kennis kan afgeleid worden door rede

Uit onderzoek blijkt dat leraren die zelf beperkt ontwikkelde epistemologische opvattingen hebben minder uitdagende lessen ontwikkelen. Daarnaast zullen leraren met sterk ontwikkelde inzichten in de kennisleer meer onderzoek, discussie, debat, coöperatief projectwerk en dergelijke in de klas organiseren²¹⁶. In het tekstvak op de volgende pagina vind je enkele tips om te werken aan de epistemologische overtuigingen bij de leerlingen.

Autonomie

Diepgaand leren is pas mogelijk wanneer leerlingen het gevoel hebben dat ze zelf het initiatief hebben genomen (autonomiegevoel) om het studiemateriaal door te nemen²⁶². De leerlingenautonomie kan zich op twee niveaus vertalen: enerzijds autonomie in het uitvoeren van taken, maar anderzijds ook autonomie in het mee bepalen van de lesonderwerpen. Het gevoel van eigenaarschap over de (onderzoeks)vraag is een belangrijk kenmerk bij zelfregulerend leren²⁵.

Er is wel een mogelijke valkuil: in klassen waar leerlingen niet impliciet het gevoel krijgen dat ze mogen bijdragen aan de klasdiscussie, is het niet realistisch om leerlingen te laten participeren in grote beslissingen in verband met de keuze van de inhoud of de evaluatiemethoden⁹³.



Enkele tips om de epistemologische overtuigingen in de klas aan te pakken.

Deze tips zijn zowel in het basisonderwijs als in het secundair onderwijs toepasbaar:

- ▶ Onderwijs op zo een manier inrichten dat leren voor de leerlingen een actief en persoonlijk proces wordt, zodat ze in staat zijn hun eigen kennis op te bouwen. Zo kan men bijvoorbeeld voor hand-on experimenten zorgen waaruit leerlingen zelf kennis en inzichten kunnen afleiden (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak)²¹⁵
- ▶ Maak duidelijk dat leren vaak een strijd is die emoties kan losweken. Deze emoties moeten als iets positiefs ervaren worden. Wanneer een leerling een probleem tegenkomt dan moet hij dit ervaren als een uitdaging en niet als een mislukking. De reactie moet zijn om harder te werken en om verschillende strategieën uit te proberen om het doel te bereiken.²¹⁵
- ▶ Als leraar kan je de leerlingen problemen voorleggen die geen eenduidig antwoord hebben en kan je hen aanmoedigen om hun tijd te nemen en te zoeken naar meerdere oplossingen.²¹⁵ Het is belangrijk dat het niet bij bemoedigende woorden blijft, maar dat leerlingen dit ervaren en effectief de tijd krijgen om het probleem op te lossen.⁵⁸
- ▶ Je kunt leerlingen helpen om een onderscheid te maken tussen onzekere, maar aanvaardbare antwoorden enerzijds en nonchalante antwoorden waar onvoldoende over nagedacht is anderzijds.²¹⁵. Wanneer verschillende oplossingen getoond worden, laat de klas dan gezamenlijk beslissen welke de meest optimale oplossingswijze is, echter nadat ze de voor- en nadelen van de verschillende methodes besproken hebben.⁵⁸
- ▶ Leer leerlingen verbanden te zien en toon ze ook dat deze ideeën niet vaststaan maar altijd in ontwikkeling zijn (zie Wat? 2.1.5. Nature of Science). Zo moeten leerlingen het verband zien tussen wat ze leren in de klas en wat ze leren in de wereld. Laat leerlingen hun kennis toepassen binnen verschillende contexten. Dit kan de leerlingen bewust maken van de ingewikkelde en dynamische aard van kennis.²¹⁵
- ▶ Debatteer aan de hand van stellingen over epistemologische overtuigingen: "Je leert meer door te werken aan één moeilijk probleem, dan tien gemakkelijke problemen op te lossen", "Je kunt evenveel leren door je eigen vragen op te stellen als van de vragen die je van de leraar krijgt"⁵⁸.



Volgend voorbeeld beschrijft een situatie waarbij zelfregulerend leren niet werkt:

Mevrouw A. wil haar klaslokaal graag zien als een plaats waar leerlingen voor een groot stuk hun eigen leren op een zinvolle manier vorm geven, maar de belangrijkste boodschap die de leerlingen lijken te krijgen is dat ze informatie moeten opnemen en luisteren en dat enkel zij die al de 'juiste' antwoorden hebben op een zinvolle manier mogen deelnemen. De rollen in deze klas gaan zich vertalen in lagere tevredenheid in verband met diepgaand leren voor zowel de leraar als de leerlingen. Mevrouw A beschuldigt de studenten ervan niet het 'juiste' type leerlingen te zijn, met uitzondering van één of twee studenten. In plaats van de lessen en de inhoud aan te passen aan de klas, lijkt ze te denken dat er weinig is dat ze kan doen aan deze mismatch. Ook is er een duidelijk verband tussen de overtuiging van de leerlingen dat zij de beter presterende leerlingen voortrekt en het feit dat ze deze voorkeur ook toegeeft. Ze leek zich ook niet bewust van het feit dat tijdens de klasdiscussie, strak geleid door haar vragen en strikt gebonden aan het lesonderwerp, niet echt ruimte was voor onderzoek en exploratie voor deze leerlingen.⁹³

Besluit

Echte onderwijsverbetering hangt grotendeels af van hoe succesvol leraren zijn in het versterken van de bereidheid en het vermogen van de leerlingen om verantwoordelijkheid te nemen voor hun eigen vooruitgang en om hiervoor effectieve strategieën aan te leren²⁷.

Zelfregulerend leren is een groeiproces dat al start bij het begin van de basisschool en dat voortdurend door de leraar dient gecoacht en geëxpliciteerd te worden. Het is een complex proces waarbij epistemologische overtuigingen, zelfkennis, competenties en emoties van de leerling een rol spelen om tot echt zelfregulerend leren te kunnen komen.

3.10. Wat zijn de praktische voorwaarden?

Onder deze vraag hebben we alle componenten geclusterd die samenhangen met heel praktische zaken en het beleid van de school. Beslissingen over tijd, locatie en leermiddelen zullen vaak niet alleen door de leraar genomen worden, vooral niet wanneer deze gepaard gaan met financiële consequenties of wijzigingen voor de hele school. Denk bijvoorbeeld aan de aankoop of huur van tablet-pc's en smartphones of de aankoop van verbruiksmaterialen noodzakelijk voor eenvoudig wetenschappelijk onderzoek van de leerling. Zo vereist een onderzoek naar vlekken op kledij dat verschillende middelen worden aangekocht, die wel bij de doorsnee kruidenier of in grootwarenhuizen te koop zijn maar in totaal toch een zekere kostprijs hebben.

De vragen waarop we achtereenvolgens een antwoord proberen te bieden zijn:

- ▶ Welke leermiddelen gebruik je?
- ▶ Waar organiseer je STEM-activiteiten?
- ▶ Hoeveel tijd vragen activiteiten binnen STEM-onderwijs? Of hoeveel tijd dient men aan activiteiten binnen STEM-onderwijs te besteden?

3.10.1. Welke leermiddelen gebruik je?

Leermiddelen hebben een impact op de kwaliteit van het wiskunde- en wetenschapsonderwijs^{78, 79}. Toch moeten we het effect dat de leermiddelen zelf veroorzaken met de nodige kritische blik bekijken. In het SINUS-rapport²⁷ kunnen we hierover het volgende lezen: "Uitstekende materialen zijn al heel lang overal te verkrijgen. Wat echt belangrijk is, is de houding en het professionalisme, de perceptie op het eigen lesgeven. Klasmaterialen zijn niet de cruciale factoren, dat zijn ondersteuning, teamwerk en onderzochte didactische strategieën van hoge kwaliteit."

Met leermiddelen bedoelen we in deze review alle middelen die binnen onderwijs kunnen ingezet worden, dit wil zeggen zowel middelen die door de leraar gebruikt worden als instructiemiddel (e.g. handboeken, projectiemiddelen, demonstratiemateriaal), als middelen die door de leerlingen worden gebruikt (e.g. experimenteermateriaal, materiaal om ontwerpen te realiseren, persoonlijk didactisch materiaal).

In de vakliteratuur kunnen we duidelijk lezen dat de snel toenemende mogelijkheden van digitale media een impuls bieden voor verandering of vernieuwing binnen STEM-onderwijs. Het is echter nog maar de vraag of het simpelweg invoeren van nieuwe media een duurzaam effect zal hebben op de motivatie van leerlingen. Onder het hoofdstuk audiovisuele en digitale media gaan we hier dieper op in. In het andere deel bespreken we de niet-digitale middelen die kunnen ingezet worden tijdens didactische aanpakken die de motivatie van kinderen en jongeren verhogen.

Niet- digitale leermiddelen

Uiteraard worden in STEM-onderwijs heel wat leermiddelen ingezet, we denken hierbij onder andere aan de materialen die bij experimenten worden gebruikt. Het is onmogelijk om alle leermiddelen die in de studies vermeld worden hier op te noemen, ze zijn tenslotte niet allemaal expliciet onderzocht met betrekking tot hun effectiviteit. Het is vooral belangrijk om te weten welke soorten leermiddelen kunnen ingezet worden in wetenschaps-, wiskunde- en techniekonderwijs om een verhoogde motivatie te bereiken.

Hieronder geven we een overzicht van de types leermiddelen die een leraar kan inzetten. We maken een onderscheid tussen leermiddelen die discussie, dialoog en argumentatie bevorderen; leermiddelen die ingezet worden voor verschillende vormen van evaluatie; leermiddelen die het probleemoplossend denken bevorderen en ten slotte leermiddelen die ingezet worden bij experimenten. Op het einde belichten we eveneens het gebruik van de rekenmachine. We starten met het gebruik van handboeken, handleidingen en leerboeken in wiskunde, techniek en wetenschapsonderwijs.

Handboeken, handleidingen en leerboeken

In het recente Eurydice-rapport⁷⁸ over wiskundeonderwijs in Europa vinden we het volgende: "Leerboeken en materialen kunnen leraren beïnvloeden in hun overtuigingen over wiskunde of kennis over het onderwerp en op deze manier invloed hebben op hun interpretatie van het geschreven leerprogramma. Daarom is het belangrijk om lesmateriaal uit te lijnen met het leerprogramma" (p.45). Scholen worden overspoeld door informatie van uitgeverijen van handboeken, die uiteraard benadrukken dat hun materialen overeenstemmen met de standaarden of richtlijnen in de beleidsdocumenten⁷⁸. Echter, uit onderzoek blijkt dat deze leermaterialen kunnen lijden aan een gebrek aan samenhang en focus⁷⁸.

In het verslag en de aanbevelingen na de peilingen van wiskunde²⁶⁶ lezen we gelijkaardige zaken. Vlaamse leraren ervaren dat in de handboeken vaak meer materiaal aangeboden wordt dan voorgescreven door de leerplannen. Bepaalde oefeningen gaan verder dan het niveau dat voor alle leerlingen moet nagestreefd worden. Leraren die het handboek strikt volgen hebben daardoor niet voldoende tijd om alle eindtermen te behandelen²⁶⁶.

Wiskunde handboeken zijn niet de beste manieren om leerlingen wiskunde bij te brengen²²⁵. Het is beter om als leraar wiskunde jouw focus te leggen op hoe je les geeft, dan op het uitkiezen van een of ander handboek en daarvan te verwachten dat het leerlingen vooruit zal helpen. Ook binnen andere domeinen is er een pleidooi om handboeken niet te strikt te volgen of om niet te kiezen voor één handboek. Goed STES-onderwijs bijvoorbeeld vraagt het stimuleren van hogere orde denkvaardigheden, zoals creatief denken, probleemoplossend denken, besluitvorming en transfer. Een dergelijke stimulering is niet mogelijk wanneer de onderwijsaanpak gebaseerd is op het volgen van één handboek²⁹⁴.



STES staat voor wetenschap (science) – techniek (technology) – omgeving (environment) – maatschappij (society).

Het is eveneens zo dat leraren, om de interesse van leerlingen te verhogen, in principe zelf goede teksten zouden moeten kunnen voorzien in hun wetenschapslessen¹²⁰, naast het gebruik van deze handboeken. Onder goede teksten verstaan we teksten die coherent en volledig zijn wat informatie betreft en die voor de lezer eveneens levendig en verrassend zijn. Leerlingen moeten vertrouwd zijn met de teksten, ofwel moeten de teksten deel uitmaken van hun vertrouwelijke leefomgeving ofwel moeten leraren achtergrondinformatie voorzien om leerlingen de wetenschappelijke principes die in de klas worden aangeleerd te laten begrijpen. Een interessante aanpak is het gebruik van verhalen¹²⁰. Aan verhalen kan je drie verschillende rollen toekennen: 1) Verhalen helpen leraren concepten te introduceren die moeten gegeven worden volgens het leerplan; 2) Verhalen bieden leerlingen modellen waardoor ze fysische fenomenen kunnen conceptualiseren; 3) Verhalen grijpen in op persoonlijke ervaringen, wat leerlingen helpt bij het interpreteren van hun eigen ervaringen.

Naast de handboeken en teksten die aangeboden worden aan leerlingen, zijn er de handleidingen voor leraren. We konden hierover echter weinig gegevens vinden. Wat we wel vonden in een studie¹⁵¹ is de vaststelling dat leraren basisonderwijs meer voordelen ondervinden van handleidingen dan leraren secundair onderwijs. Als men zich de vraag stelt hoe een handleiding dient opgebouwd te worden, dan kunnen alvast de volgende aspecten noemen: een duidelijke en beknopte presentatie van het doel, herinneringen, antwoordsleutels, conceptkaarten (concept maps, zie verder) van de belangrijkste onderwerpen en differentiatiemogelijkheden¹⁵¹. De functie van de handleiding moet er immers uit bestaan leraren te voorzien van handvaten voor hun onderwijspraktijk i.p.v. het denken van de leraar te begeleiden¹⁵¹.

Leermiddelen die discussie, dialoog en argumentatie bevorderen

Het belang van het gesprek als werkvorm komt hier niet aan bod maar werd uitgewerkt in paragraaf Hoe? 3.6. Vragen stellen, dialoog, discussie en debat.

Een aantal leermiddelen blijkt heel geschikt te zijn als aanzet voor een gesprek binnen wetenschap en wiskunde. Voor basisonderwijs¹⁵⁸ kunnen dit concrete materialen zijn zoals magneten, elektrische circuits of slakken, maar eveneens concept cartoons, wetenschapsgedichten, verhalen en non-fictie boeken of een bezoeker zoals een brandweerman of een verpleger. Ook in het secundair onderwijs worden verschillende van deze leermiddelen ingezet om discussie, dialoog en argumentatie te bevorderen. In de hierop volgende tekst gaan we dieper in op poppen, conceptcartoons, afbeeldingen en foto's.

Poppen

In het lager onderwijs¹⁰⁹ blijkt het gebruik van poppen een goede manier te zijn om binnen het leergebied wetenschappen vragen uit te lokken. Leerlingen gebruiken deze poppen eveneens om verschillende zienswijzen te verwoorden. Bovendien kunnen ze de pop gebruiken om eigen ideeën te laten spreken via de pop, hierdoor nemen ze het eigenaarschap van ideeën weg van zichzelf. Leerlingen zijn zo meer geneigd om hun uitleg of idee te toetsen op basis van bestaande gegevens (bewijsmateriaal), wat een essentiële vaardigheid is binnen wetenschap.

Concept cartoons

Concept cartoons maken gebruik van de cartoon tekenstijl om een discussie of argumentatie uit te beelden tussen figuren op de prent¹²³. De leerlingen worden uitgenodigd om de gezichtspunten, die aangeboden worden via deze verschillende figuren, te overwegen en te besluiten wat ze denken en waarom. Concept cartoons zijn dus ideaal om discussie en argumentatie uit te lokken¹⁸³. Concept cartoons worden zowel in lager onderwijs als in secundair onderwijs gebruikt en bestaan voor alle STEM-disciplines.

Concept cartoons kunnen vragen uitlokken die aanzetten tot onderzoek¹⁰⁹. Bijvoorbeeld, een cartoon die een parachute en de gedachten van enkele cartoonfiguren laat zien kan een discussie en een experiment over welke parachute het traagst zal vallen uitlokken. Op deze manier kunnen leerlingen lager onderwijs zelf ontdekken of de antwoorden die in de cartoon worden gegeven juist of fout zijn. Dit kan leiden tot een verandering van eigen denkbeelden, zeker als ze voor zichzelf kunnen aantonen dat wat ze eerder dachten fout was. Concept cartoons zijn dus handige leermiddelen om misconcepties van leerlingen aan te pakken.

Voorbeelden van concept cartoons voor secundair onderwijs – uitgewerkt voor de domeinen fysica, chemie en biologie – kun je vinden in het boek 'Onderzoekskompetent in de klas'²³⁴. Een aantal van deze voorbeelden is inspirerend voor lager onderwijs.

Concept cartoons kunnen eveneens gebruikt worden om tijdens wiskundelessen in het secundair algebraïsche uitdrukkingen en vergelijkingen²¹⁸ aan te brengen. Het gebruik ervan tijdens deze lessen zorgt ervoor dat leerlingen tevreden zijn, dat hun interesse voor de les verhoogt en dat ze er nadien van overtuigd zijn dat ze wiskunde kunnen.

Afbeeldingen of foto's

Het gebruik van afbeeldingen of foto's blijkt een afdoende en positieve manier te zijn om wiskundige probleemstellingen te stimuleren²⁷. Leerlingen omschrijven wat ze zien op een afbeelding, wat ze kennen en wat ze veronderstellen. Dan formuleren ze een vraag en werken de oplossingen uit. Alles wordt neergeschreven. De verschillende ideeën worden dan bijeengebracht tijdens een klasdiscussie. Elke gedachte, elke suggestie, elke poging tot het vinden van relevante vragen en ideeën voor oplossingen moeten door de leraar herkend worden. Bij zwakkere leerlingen kan een poster, waarop het eerste deel van zinnen staat om de afbeelding te omschrijven, een waardevolle ondersteuning zijn.



Werken met foto's: een voorbeeld uit het secundair onderwijs²⁷

Op een foto is een fietser te zien met op zijn bagagedrager een torenhoge stapel kranten waar bovenop een passagier zit die de krant leest. Deze foto wordt zonder vragen of titel aan vijftienjarige leerlingen gegeven. De leerlingen werken in groepen en noteren wat ze zien, een wiskundig probleem en de mogelijke oplossingen. Op een blad van één groep is het volgende te zien. Een berekening van de totale massa op de bagagedrager is de massa van de kranten plus de massa passagier. Op basis van deze massa wordt verondersteld dat de fiets zal beginnen zwenken omdat de massa te groot is.

In een andere groep werd de hoogte waarop de passagier zit berekend. Hiervoor hebben ze eerst de hoogte van de stapel kranten berekend en dan opgeteld bij de hoogte van het wiel. Voor de berekening van de stapel kranten hebben ze het been van de passagier genomen en hebben ze verondersteld dat het been tweemaal in de stapel gaat.



Wanneer we beelden in de klas gebruiken, dan is het interessant om aan jongeren zelf het woord te geven. Dit gebeurde in een studie in Nederland bij jongeren ouder dan twaalf jaar¹⁷⁷. De volgende tips zijn toepasbaar op verschillende STEM-domeinen¹⁷⁷ (p.43).

- ▶ Laat verzorgde beelden zien. Jongeren zijn tegenwoordig gewend aan hoogwaardig beeldmateriaal.
- ▶ Laat beelden zien die:
 - emoties oproepen: van kinderen in de Derde Wereld die water tekort komen tot de dreiging van waterrampen en de gevolgen;
 - dichtbij aanvoelen: gebruik herkenbare actuele voorbeelden;
 - innovaties tonen: futuristische beelden spreken tot de verbeelding.
- ▶ Laat geen beelden zien die:
 - lijken op standaard schoolboekplaatjes van bijvoorbeeld technische installaties;
 - alleen maar over problemen gaan: één plaatje over een ontwikkelingsland om emotie op te wekken is prima, maar een te grote focus hierop stoot jongeren juist weer af;
 - onduidelijk zijn: foto's van mensen bij een computerscherm of van ingewikkelde schema's vertellen geen duidelijk verhaal.

Leermiddelen die ingezet worden voor verschillende vormen van evaluatie

Naast het uitlokken van gesprek en discussie zullen de hierboven aangebrachte leermiddelen aan leraren eveneens de kans bieden om na te gaan welke inzichten leerlingen hebben en of ze hun inzicht veranderen. Met andere woorden, bovenstaande leermiddelen kunnen voor procesevaluatie gebruikt worden.

In de literatuur worden doorgaans andere specifieke hulpmiddelen beschreven, zoals mindmaps of concept maps, werkbladen en 'onderzoeks'-boeken of notitieboeken van leerlingen. Deze notitieboeken kunnen helpen bij formatieve evaluatie en kunnen de leraar ondersteunen bij het nagaan van het inzicht van kinderen in concepten. Echter, het gebruik ervan is afhankelijk van de begeleiding die de leraar aan de leerlingen geeft, wat dus betekent dat professionalisering van leraren nodig is⁸.

Werkbladen daarentegen worden vaak niet zo positief bekeken. Loxley¹⁵⁸ bijvoorbeeld gebruikt zelf de uitdrukking 'dood door een werkblad' om de saaie leerervaring van zo'n werkblad te omschrijven. Toch kunnen goed ontworpen werkbladen een heel nuttige manier zijn om activiteiten te organiseren. Maar werkbladen mogen niet teveel gebruikt worden als ze enkel maar als invulblad gebruikt worden.

Mindmaps of concept maps²⁷ kunnen gebruikt worden om de individuele basiskennis die tijdens verschillende lessen werd aangebracht met elkaar te verbinden. Ze laten toe om verschillende termen en concepten te linken. Er bestaan verschillende softwarepakketten^{174, 186} om dergelijke mindmaps of concept maps aan te maken, waaronder Cmap Tools. Binnen die nieuwe media kennen we eveneens applicaties zoals Mindjet en iThought.

Meer gegevens over evaluatie en bijhorende leermiddelen vind je onder paragraaf Hoe? 3.8. Evalueren.

Leermiddelen die probleemoplossend werken bevorderen

Leermiddelen en vooral concrete leermiddelen zijn vrij belangrijk en beslissend binnen probleemoplossende aanpakken. Wil je meer te weten komen over probleemoplossende aanpakken, bekijk dan ook Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken?.

Een wiskundig probleem oplossen met en zonder concrete middelen is enorm verschil qua moeilijkheidsgraad²⁰⁴. Bijvoorbeeld, één van de voordelen van het gebruik van concrete middelen bij talige wiskunde problemen (zoals blokken) is dat deze leermiddelen het kind in staat stellen om het probleem concreet te modelleren en op die manier de druk op het werkgeheugen te verminderen.

Binnen techniek zal het aanbieden van materialen en werktuigen een effect hebben op de hoeveelheid oplossingen die leerlingen kunnen ontwikkelen. Aan deze nood wordt niet steeds voldaan¹⁶³, wat frustraties veroorzaakt bij sommige groepen leerlingen en het ontwerpproces ophoudt.

Wat concrete materialen betreft, blijken LEGO robotics³⁹ een goede 'tool' te zijn om probleemoplossend te werken bij leerlingen lager onderwijs. Het is wel zo dat leraren ondersteuning nodig hebben om LEGO in te bedden in levensechte problemen. Probleemoplossend werken binnen techniek met specifieke concrete materialen kan eveneens interessant zijn om leerlingen moeilijke wiskundige begrippen te laten begrijpen. In het klokproject⁵ wordt gebruik gemaakt van een lage kost kit bestaande uit rubberen tandwielen en andere onderdeeljes. Dit project laat de interactie tussen wiskunde en techniek zien. Het begrijpen van breuken wordt op een heel interactieve en probleemoplossende manier ondersteund en voor leerlingen (tien tot veertien jaar) duidelijk gemaakt (zie Wat? 2.1.4. Interdisciplinaire aanpak).

Leermiddelen die ingezet worden bij experimenten of onderzoeken

Vooraf binnen wetenschappen worden heel wat experimenten en onderzoeken opgezet of uitgevoerd. Experimenten binnen fysica onderwijs bijvoorbeeld spelen een belangrijke rol in de motivering van leerlingen²⁴². Het gaat vooral om eenvoudige experimenten die geen complexe en dure apparatuur

vereisen. Deze experimenten laten leerlingen eveneens toe om het experiment thuis uit te voeren. Leermiddelen die in deze simpele experimenten gebruikt kunnen worden, zijn onder andere speelgoed zoals tollen, lichaamsdelen, olie, verf, water, flessen.

Gelijkaardig simpele experimenten zijn te vinden in de handleidingen van het POLLEN-project^{211, 284}, een grootschalig Europees project rond onderzoekende aanpakken in het basisonderwijs. De experimenten vereisen niet meer dan goedkope en gewone middelen. Voorbeelden zijn: plastic flessen, zakken in verschillende materialen, planten, zaden, aarde, rubber, scharen, paperclips, bakjes van verschillende afmetingen, groenten, vloeistoffen... Kortom, alledaags materiaal dat heel gewoon is en niet duur. Uitzonderingen hierop zijn bijvoorbeeld batterijen⁸³, thermometer, kompas, binoculair, vergrootglas. Het is tevens belangrijk om te weten dat bepaalde experimenten niet kunnen gebeuren met echte objecten, bijvoorbeeld in het geval van astronomie of levende organismen. Als leraar maak je dan best gebruik van documentatie, modellen of simulaties (zie Hoe? 3.3. Simulaties en experimenten).



Experimenten met eenvoudige middelen:

We bedekken een vol glas water met een karton (of hard papier) en we drukken voorzichtig op het oppervlak van het water. We ondersteunen het karton met de hand en draaien het glas om. Dan verwijderen we de hand²⁴² (p.6).

Een klas is betrokken bij experimenten over het mengen van vaste stoffen en vloeistoffen. Op het einde van de sessie stellen verschillende groepen hun bevindingen voor en concluderen dat zout niet oplost in water. Andere groepen hebben een andere mening en kunnen bewijzen dat het wel oplost. De leerlingen hadden verschillende hoeveelheden water gebruikt met dezelfde hoeveelheid zout. De leraar reageert niet op de bevindingen van de leerlingen maar vraagt wat er moet gebeuren. De leerlingen bespreken de verschillende mogelijke problemen, met inbegrip van de verschillende hoeveelheden water. In een volgende sessie wordt er bij het zout een steeds toenemende hoeveelheid water toegevoegd en dit leidt tot de 'juiste' conclusie, met name dat er een limiet staat op de hoeveelheid zout die kan oplossen in een bepaalde hoeveelheid water bij een bepaalde temperatuur²⁸⁴ (p.22).

Wat levende organismen betreft mogen we algemeen aannemen dat het werken met dynamisch levend materiaal bij jonge kinderen (derde en vierde leerjaar) bewezen heeft uiterst succesvol te zijn om interesse voor wetenschap te wekken²⁹. We vonden echter een studie¹¹² die tot een verrassende conclusie kwam. In deze studie wordt een aanpak met levende dieren vergeleken met eenzelfde aanpak waarin evenwel een video van het levende dier wordt gebruikt. Beide aanpakken worden toegepast bij een grote groep leerlingen uit vijfde en zesde leerjaar en vergeleken met een controle groep die geen instructie kreeg. Opvallend is dat er geen verschil in kennisverhoging is tussen de groep leerlingen die les kreeg aan de hand van het levende organisme en de groep die les kreeg aan de hand van de

video. Het verschil met de controlegroep is wel aanzienlijk. Beide groepen ondergingen dezelfde aanpak, de leerlingen werkten in groepjes en voerden observaties uit, nadien waren er groepsdiscussies. Bovenstaande studie toont aan dat met videomateriaal onderzoekend kan gewerkt worden en dat er geen verschil in effect hoeft te zijn tussen werken met levend materiaal, op voorwaarde dat de aanpak even actief is.

In bovenstaande studie is er wel een verschil in interesse in de les over de muis. Daar vertoonde de groep leerlingen die werkten met het levende dier meer interesse dan de groep leerlingen die werkte met de film. Dit was echter niet het geval in de lessen met de slakken en de wandelende takken.

Niet alleen binnen fysica en biologie maar eveneens in het domein techniek zijn experimenten interessant om materiaaleigenschappen te leren kennen²²⁴. Voorbeelden hiervan zijn experimenten op textiel voor leerlingen lager onderwijs en lager secundair (zie tekstvak).

In de vakliteratuur zijn eveneens voorbeelden te vinden met iets complexere en duurder materialen en meettoestellen. We geven hieronder twee voorbeelden, maar bekijk zeker de voorbeelden onder een onderzoekende en probleemoplossende aanpak. (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak en Hoe? 3.7. (Probleemoplossend) denken).

In een studie van Havu-Nuutinen en Keinonen¹⁰¹ bij leerlingen van elf tot twaalf jaar worden materialen zoals sfygmomanometer, ademhalingsmeter, horloge en papier gebruikt om de functies van het menselijke lichaam te onderzoeken. Er wordt tevens gebruik gemaakt van een T-shirt dat het spijsverteringssysteem laat zien.

Eilam⁷⁵ rapporteert over een studie bij vijftienjarigen waarin men inzichten in ecologie tracht te bevorderen door een onderzoekende aanpak te gebruiken. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een ecosysteem (een aquarium, een terrarium of een groenhuys). Daarnaast gebruikt men kits om zuurstof, pH, temperatuur, vochtigheid, nitraten, fosfaten, etc. te meten. In de groep waarin de onderzoekende aanpak wordt uitgetest, krijgen de leerlingen een open-einde (langlopende) onderzoekstaak over een onderwerp van hun keuze binnen ecosystemen en het functioneren van de ecosystemen. Tijdens een drie uur durende sessie kunnen de leerlingen onderwerpen uit de ecologie bespreken met de leraar en kunnen ze eveneens eigen onderwerpen naar voor brengen, afhankelijk van eigen inzichten, tijd en noden die voortvloeien uit de theoretische lessen of uit hun eigen onderzoek.



Experimenten op textiel voor leerlingen lager onderwijs en lager secundair (www.didactex.cz).

Experiment 1: Elektrostatica en textiel

- Taak: Vergelijk het elektrostatisch gedrag van verschillende soorten textiel.
- Materiaal: textielstalen, kledij van kinderen, plastic touw, elektroscop.
- Toepassing: Mensen die elektronische apparaten (zoals PC's) herstellen, mogen geen kledij dragen die makkelijk kan opgeladen worden.

Experiment 2: De elektrische geleidbaarheid van textiel (afhankelijk van de vochtigheid)

- Taak: Vergelijk de geleidbaarheid van droog en nat garen (nat gemaakt met gedestilleerd water en gezouten water). Plaats het garen tussen een elektrisch circuit en meet de grootte van de elektrische stroom.
- Materiaal: verschillende stalen garen, water, gedestilleerd water, zout, elektrische draad, stroommeter, schakelaar, batterij.
- Toepassing: Werk veilig in een droge en vochtige omgeving.

Experiment 3: Weerstand tegen waterdoorlaatbaarheid

- Taak: Vergelijk de waterdichtheid van verschillende textielstoffen. Om dit te doen, neem een PET-fles, vul de fles met één liter water en breng een stuk van het textiel aan het open einde van de fles. Keer de fles om en meet hoeveel water er door het textiel gaat per tijdseenheid. Maak een grafiek.
- Materiaal: stukjes textiel, een PET fles van twee liter, water, maatcilinder of maatbeker, elastiek, schaar en tijdsopnemer.
- Toepassing: tenten, slaapzakken, paraplu's, jassen, laarzen en waterdichte kledij.

Experiment 4: Absorptievermogen van textiel (Absorbeerbaarheid is een maat voor de hoeveelheid water die door een weefsel kan worden geabsorbeerd)

- Taak: Vergelijk de absorbeerbaarheid van verschillende textielstoffen. Dompel een textielstaal onder in een vat met water en neem het er na een tijd uit. Meet dan het niveauverschil van het water. Herhaal dit met verschillende soorten textiel (van ongeveer dezelfde massa) en vergelijk hun absorbeerbaarheid.
- Materiaal: textielstalen, vat, water, liniaal, stopwatch.
- Toepassing: sportkledij, handdoeken.

Experiment 5: Thermische isolatie van textielstoffen

- Taak: Twee PET-flessen gevuld met eenzelfde hoeveelheid water op dezelfde temperatuur (bijvoorbeeld 60°C) inpakken in verschillende soorten textiel. Na enkele uren, meet je de temperatuur in beide PE flessen.
- Materiaal: textielstalen, PET flessen, warm water, thermometers.
- Toepassing: bewaren van voedsel (heet of koud), bescherming tegen koude zoals kledij, slaapzakken.

De rekenmachine

Verhindert of verbetert het gebruik van de rekenmachine de prestaties van leerlingen voor wiskunde?⁷⁸ Volgens het Eurydice-rapport over wiskundeonderwijs geven de meeste studies aan dat de rekenmachine nuttig kan zijn, maar enkel voor specifieke activiteiten. In dit rapport wordt verwezen naar een studie die aangeeft dat rekenmachines nuttig zijn:

- ▶ wanneer ze worden gebruikt voor berekeningen, drillen, praktisch werk en bij nakijken van oefeningen;
- ▶ wanneer ze de cognitieve 'belasting' van leerlingen verminderen zodat ze kunnen bezig zijn met andere, meer wiskundige concepten;
- ▶ wanneer ze gebruikt worden voor pedagogische doelen waarin ze een belangrijk element zijn in het les- en leerproces.

Op basis van een meta-analyse van 79 studies bleek bovendien dat het gebruik van rekenmachines de vaardigheden van leerlingen verbeterde in wiskundige oefeningen en in probleemoplossend werken, behalve in het vierde leerjaar. De auteurs geven aan dat het gebruik van rekenmachines in het vierde leerjaar de ontwikkeling van basisvaardigheden blijkt te hinderen bij de gemiddelde leerling. Daarnaast blijkt ook dat het gebruik van rekenmachines de operationele en probleemoplossende vaardigheden verbetert, wanneer ze werden gebruikt bij les en evaluatie, maar niet wanneer ze enkel werden gebruikt bij de les⁷⁸.

Audiovisuele en digitale media

In Vlaanderen wordt er vanuit de overheid veel belang gehecht aan het inzetten van media in onderwijs, bij voorkeur geïntegreerd in zoveel mogelijk vakken of leergebieden. Dit blijkt ook uit de vakoverschrijdende eindtermen²⁶⁵.

Technologische omgevingen^{14, 204} die het leren ondersteunen, worden in de literatuur gezien als 'motivatie verhogende', 'cognitieve' en 'metacognitieve' middelen, omdat ze leerlingen (lager en secundair) helpen in het 1) verkrijgen van informatie, 2) ontwikkelen van ideeën, 3) communiceren met anderen, 4) nemen van beslissingen wat betreft hun leerdoelen, 5) zoeken van probleemoplossende strategieën en 6) effectief krijgen en gebruiken van feedback van hun tutors, peers en technologische middelen zoals computerprogramma's. Deze laatste kunnen bijvoorbeeld²⁰⁴ een voordeel zijn voor trage leerlingen met een negatieve leergeschiedenis. De computerprogramma's gedragen zich niet autoritair, ze zijn eindeloos geduldig, ze worden niet vermoeid door de slechte antwoorden van leerlingen en ze zullen nooit negatieve morele sancties geven. Computergebaseerde leerprogramma's kunnen zo worden ontworpen dat moment-tot-moment microaanpassingen mogelijk zijn. Dit wil zeggen dat het programma gedifferentieerd werkt en zich aanpast aan de antwoorden van de individuele leerlingen.

Ook binnen een onderzoekende aanpak biedt technologie een meerwaarde. Technologie laat leerlingen, zoals hierboven aangegeven, immers toe om informatie te verzamelen op het World Wide Web^{48, 98, 175}, om data te verzamelen door gebruik van sondes en andere draagbare technologieën, om simu-

laties uit te werken (zie Hoe? 3.3. Simulaties en experimenten), om grafieken en tabellen te maken, om data voor te stellen en gemakkelijk resultaten te vergelijken en om hun inzichten op verschillende manieren te presenteren. Leerlingen kunnen samenwerken met andere leerlingen in en buiten de klas. Zelfs de jongste leerlingen lager onderwijs kunnen geboeid zijn door onderzoek en kunnen met de hulp van technologie basispatronen vinden in data, experimenten uitvoeren en levendige modellen van natuurlijke fenomenen bouwen²⁸³. Maar wanneer technologie in wetenschappelijke projecten of onderzoekende aanpakken wordt geïntegreerd, dan zullen leerlingen tijd nodig hebben om specifieke vaardigheden te oefenen of zich voor te bereiden op de finale presentatie, dan moet de school toegang voorzien tot computers en het internet, eveneens buiten de lessen⁴³.

Bovendien moet in deze 21^{ste} eeuw gebruik kunnen gemaakt worden van de meest recente technologische middelen zoals tablets en smartphones. Hiertoe behoren eveneens cloud computing en mashups⁵⁴. Een mashup is een webpagina of webapplicatie waar gegevens uit meerdere bronnen gecombineerd en gezamenlijk gepresenteerd worden. Toch is het belangrijk om in dit kader te refereren naar Kim et al.¹³⁰, die op basis van hun onderzoek over technologie in onderzoekende klassen het volgende concludeerden: 'Het is niet de innovatieve technologie die als dusdanig een impact heeft op het leren van leerlingen maar de interactieve en iteratieve leeromgevingen.'

Ook in Vlaamse bronnen, bijvoorbeeld in de aanbevelingen in verband met ICT voor de A-stroom van de eerste graad²⁶⁶, kunnen we lezen dat leraren het gebruik van ICT moeten integreren in de eindtermen van de eerste graad. Het gebruik van ICT maakt sommige abstracte eindtermen immers meer bereikbaar. Meer specifiek voor de domeinen wiskunde en wetenschap vinden we het volgende: ICT kan inzicht geven in abstracter rekenwerk of het rekenwerk overnemen van de leerlingen; ICT kan een rol spelen bij het veralgemenen of het opstellen van formules en kan leerlingen meer vertrouwd maken met verschillende voorstellingen van eenzelfde verband. Ook bij andere domeinen als statistiek en meetkunde kan ICT door haar ondersteunende of explorerende rol een meerwaarde bieden. Daarom is ICT onmisbaar in hedendaags wiskundeonderwijs voor de eerste graad.

Dit wordt niet geheel bevestigd door gegevens die te vinden zijn in het recente Eurydice-rapport⁷⁸ van de Europese Commissie. Het gebruik van ICT kan positieve effecten hebben op het verhogen van de motivatie, maar het is belangrijk dat dit effect op motivatie wordt gebruikt om een dieper inzicht in wiskunde te bewerkstelligen. Slavin²²⁶ echter concludeert dat er weinig bewijs is dat ICT een positief effect zou hebben. Dit wordt echter tegengesproken door de gegevens uit de review van Li en Ma¹⁴⁷. De onderzoekers geven in deze review aan dat het effect van computertechnologie op wiskundeprestaties aanzienlijk is wanneer de technologie wordt toegepast bij leerlingen met speciale noden, dit in de lagere school en in middelbare scholen waar een meer constructivistische aanpak wordt gehanteerd. Daarnaast is het duidelijk dat korte technologie-interventies meer effectief zijn om wiskundige prestaties te verhogen dan langdurige interventies, wellicht omwille van de nieuwigheid van de technologie. In deze review worden geen gegevens meegedeeld over een eventuele attitudeverandering ten opzichte van wiskunde.

Voorbeelden van technologische omgevingen en middelen.

Sensoren en sondes

Sensoren zoals hartslagmonitoren en pedometers zijn interessant om in de lagere school te gebruiken. Leerlingen uit de derde graad van de lagere school kunnen deze sensoren gebruiken tijdens onderzoeken waarin de hartslag na een bepaalde gewandelde afstand wordt gemeten¹⁴². Zo kan bijvoorbeeld het verschil in hartslag tussen tweelingen na bepaalde afstanden onderzocht worden. Kennis over het meten van gemiddelden en mediaan kan op deze manier aanzienlijk toenemen.

Uit een studie blijkt dat het interessant is om als leraar secundair onderwijs met bachelorstudenten die in sensoren gespecialiseerd zijn een team te vormen, om zo tot integratie van sensoren in jouw onderwijspraktijk te komen. Bovendien fungeren deze studenten als rolmodel en wordt het doel, met name het motiveren van leerlingen voor wetenschappelijke en ingenieursdisciplines, bereikt⁷.

Naast sensoren is het eveneens interessant om sondes²⁹⁵ in te zetten in wetenschapsonderwijs, zowel in het lager als secundair onderwijs. Op deze manier worden leerlingen ondersteund in het onderzoeken van fenomenen in de wereld rondom hen en leren ze op een heel interactieve manier. Voorbeelden zijn het gebruik van temperatuursondes, geluidssondes... Deze sondes kunnen ingezet worden in onderwerpen zoals geluid, elektriciteit, temperatuur en beweging.

Game

Games maken deel uit van de belevingswereld van heel wat leerlingen lager en secundair onderwijs. In de vakliteratuur vonden we enkele ontwerpstudies die hun waarde hebben omdat ze naast het effect van games eveneens ingaan op problemen bij de ontwikkeling van een goede aanpak.

Quest Atlantis¹⁴⁹ is een virtuele omgeving gebaseerd op een game, die leerlingen van elf tot twaalf jaar uitdaagt tot onderzoek. Quest Atlantis laat leerlingen toe om een individueel karakter aan te maken (avatar) en naar verschillende virtuele werelden te reizen om daar educatieve activiteiten uit te voeren onder de vorm van quests. De leerlingen kunnen tevens in interactie gaan met andere leerlingen. Elke quest (domein wetenschap, wiskunde en/of Engels) omvat een boeiende opdracht die ontwikkeld is om te entertainen, maar die tegelijk toch educatief is. Om deze quests tot een goed einde te brengen moeten de leerlingen in de echte wereld activiteiten vervullen. Verder moeten de leerlingen in de quest zowel op inhoud focussen als reflecteren op hun eigen leren. Leraren kunnen gebruik maken van de toolkit voor leraren in Quest Atlantis om hun leerlingen te registreren, om aan leerlingen quests toe te wijzen en om op uitgewerkte quests individuele feedback te geven. De quests leiden tot informatie die aan de wijze raad van Atlantisch (in het spel) moet doorgegeven worden en die bijdraagt tot de kennis van de Atlantische wereld, om zo de ark van wijsheid te herbouwen.

Tijdens een eerste¹⁴⁸ onderzoek bleek dat er bij de leerlingen een gebrek aan betrokkenheid was. De oorzaken hiervoor waren: problemen met de taal, gebrek aan computercompetenties om de quests uit te voeren alsook het onvermogen van leerlingen om de onderdelen over reflectie te vervullen. Daarnaast was er nog de moeilijke uitdaging van tijdsbesteding en financiële middelen. In bijkomend onderzoek¹⁴⁹ werden aanpassingen gedaan – waaronder inzet en professionele ontwikkeling van de leraren, scaffolding (definitie zie 3.2.2) door de leraren tijdens de eerste quests alsook technologische ondersteuning – waardoor de betrokkenheid van de leerlingen steeg.

Een **online forensisch game**¹⁷⁰ voor leerlingen van elf tot achttien jaar blijkt de motivatie voor wetenschapscarrières te kunnen bevorderen. Dit forensisch game bestaat uit drie cases. In case 1 leren de spelers hoe DNA te bepalen en hoe ballistiek te analyseren. Ze doen toxicologische testen en voeren een autopsie uit. Bij het vervolledigen van elk trainingsonderdeel kunnen de spelers tools verdienen (zoals een vergrootglas, pincetten en pipetten) die dan deel uitmaken van hun veldkit. In case 2 wordt een hondenhandelaar dood gevonden in de Las Vegas hondenshow. In case 3 is er een uitgebrande auto waarin een niet herkenbaar lichaam aanwezig is. De spelers worden uitgedaagd om de misdaadscene te verkennen, om de dader te bepalen en om na te gaan hoe de misdaad is begaan. Het onderzoeksproces laat toe om aanwijzingen te verzamelen door te klikken op objecten die verdacht zijn, om tools te gebruiken om bewijsmateriaal te analyseren, om verdachten te bevragen door dialoog, om zich te verplaatsen tussen verschillende locaties en om uiteindelijk zijn conclusie te presenteren. Voor deze activiteiten moet de speler de rol van forensisch specialist opnemen. De zin van het spel komt naar voor als de spelers de wetenschap ontdekken achter de verschillende analyses en de juiste procedures uitvoeren tijdens de bewijsanalyse. Positieve en negatieve feedback werden ingebouwd. De personages van de televisieserie CSI worden gebruikt als 'intelligente agenten' en de spelers kunnen aan deze personages advies en suggesties vragen door op hen te klikken, wanneer nodig.

Animatiefilms, videofilms en documentaires

Het gebruik van animatiefilms¹⁵ bij leerlingen lager onderwijs (negen tot elf jaar) blijkt de verschillende denkvaardigheden van kinderen te kunnen stimuleren. Deze filmpjes kunnen tevens gebruikt worden in verschillende onderwijsaanpakken en leermethodes. Deze animatiefilmpjes bleken in de studie eveneens de wetenschappelijke nieuwsgierigheid en verwerving van wetenschappelijke taal te verhogen alsook het wetenschappelijke denken te stimuleren. Volgens de auteurs kunnen deze resultaten verklaard worden door het feit dat leerlingen zowel van visueel-beeldende als van auditief-verbale mogelijkheden gebruik maken tijdens het exploreren van de animatiefilms.

Op basis van hun bevindingen geven de auteurs enkele richtlijnen voor het inzetten van animatiefilmpjes in onderwijs enerzijds en richtlijnen voor de ontwikkeling van dergelijke filmpjes anderzijds.

Inzet in onderwijs:

- ▶ De filmpjes vormen een integraal onderdeel van het curriculum en de leermaterialen.
- ▶ Ze worden meer dan één keer getoond voor elk onderwerp en doorheen het leerproces.
- ▶ Ze worden getoond voor de volledige klasgroep om klasdiscussie te initiëren en om wetenschappelijke conversaties op te bouwen.
- ▶ Ze worden verkend in kleine groep om teamwork, het delen van kennis en wetenschappelijk denken te verbeteren.
- ▶ Ze worden individueel verkend om individueel en zelfregulerend werken te bevorderen.

Ontwerp van filmpjes:

- ▶ Link de materialen met het dagelijkse leven van de leerlingen.
- ▶ Zorg voor humoristische en amusante scènes.
- ▶ Zorg voor een verteller die verbaal uitleg geeft.
- ▶ Zorg voor tekstvakken die correcte woorden en spelling laten zien.
- ▶ Benadruk wetenschappelijk denken zoals het stellen van vragen, het maken van veronderstellingen, het verzamelen van data en het trekken van conclusies.



De Brainpop website - www.brainpop.com - voorziet animatiefilmpjes van drie tot vijf minuten die honderden wetenschappelijke concepten op een entertainende manier uitleggen. Elke film bevat animatiefiguren die de leerling leiden doorheen activiteiten zoals interactieve quizen en experimenten.



Videofilms van wiskundige problemen: De avonturen van Jasper Woodbury.

Het gebruik van deze videofilms vraagt een leerlinggestuurde aanpak¹⁰⁵. Dit geeft aan dat de aanpak het grootste effect heeft op motivatie en prestaties en niet het materiaal op zich. Toch zijn de video's interessant om in te zetten in je onderwijs. De serie van Jasper bestaat uit twaalf avonturen en is ontworpen om leerlingen van het vijfde leerjaar tot en met tweede middelbaar te ondersteunen in een samenwerkende, probleemoplossende aanpak en dit over een periode van vier tot vijf lessen. In elk avontuur wordt het hoofdpersonage geconfronteerd met een acuut probleem dat een wiskundige oplossing vraagt. Elk probleem is vrij complex en vereist dat vijftien tot twintig stappen worden opgelost. De serie bestaat uit drie toenemend complexe avonturen in vier probleemgebieden (afstand/tarief/tijd, statistiek en waarschijnlijkheid, meetkunde en algebra).

Enkele voorbeeldseries uit 'De avonturen van Jasper Woodbury':

- ▶ In 'Een dag naar Cedar Creek' besluit Jasper een oude boot te kopen zonder verlichting en met een gedeeltelijk gevulde brandstoftank. De leerlingen moeten bepalen of Jake thuis kan komen vooraleer het donker wordt of vooraleer hij zonder brandstof valt.
- ▶ In 'Redding bij Boone's Maedow' treft Jasper een gewonde arend aan en de leerlingen moeten een reeks van alternatieven overwegen om de arend bij de dierenarts te krijgen.
- ▶ Het derde avontuur 'De grote splash' komt uit de reeks van statistiek en waarschijnlijkheid. Eén van de jonge vrienden van Jasper moet geholpen worden bij het ontwerpen en evalueren van een business plan betreffende een 'dunk tank' om geld in te zamelen voor een leerlinggestuurd TV station.

Het maken van **wiskundige minidocumentaires**⁸⁷ als herhalingsstrategie blijkt – in vergelijking met de meer traditionele pen-en-papier aanpak – een goed effect te hebben op de motivatie en het enthousiasme van leerlingen. Naast het grotere engagement dat de leerlingen tonen, werken ze goed samen met elkaar (ze discussiëren, nemen beslissingen, verdelen taken), zijn ze actiever in hun leren, gebruiken ze een gemeenschappelijke wiskundige taal in hun discussies, dienen ze na te denken om de concepten zo zuiver mogelijk te krijgen en zijn ze creatief in het schrijven, acteren, filmen en monteren. Een andere conclusie uit de studie is dat de makers van de minidocumentaire op zijn minst de informatie even effectief kunnen onthouden, zo niet beter, dan de leerlingen die pen en papier gebruiken.

Specifiek op technologie gebaseerde leeromgevingen

Hieronder gaan we kort in op enkele specifieke, op technologie gebaseerde leeromgevingen. Deze leeromgevingen blijken heel interessant om complexere vaardigheden (zoals onderzoekende en probleemoplossende vaardigheden) te stimuleren, vooral als er advies en feedback worden voorzien. Deze leeromgevingen zullen eveneens de betrokkenheid van leerlingen verhogen. Verschillende van deze leeromgevingen zijn jammer genoeg niet beschikbaar in het Nederlands, ze kunnen echter inspiratie bieden bij de ontwikkeling van eigen leeromgevingen.

MathCAL⁴² is een computerondersteund systeem waarin vier probleemoplossende fasen afzonderlijk zijn uitgewerkt: 1) het probleem begrijpen; 2) een plan maken; 3) het plan uitvoeren en 4) de oplossing herbekijken. Andere systemen integreren vaak deze stappen in één fase waardoor het moeilijk is om na te gaan waar de leerling een probleem ondervond. Op basis van dit systeem werden verschillende leerlingen van het vijfde leerjaar getest, ze dienden wiskundige problemen op te lossen. Uit het resultaat blijkt dat MathCAL de prestaties van leerlingen met lagere probleemoplossende mogelijkheden verhoogde. De ondersteuning zorgde ervoor dat de probleemoplossende vaardigheden van de leerlingen in elke fase beter werden.

Web of inquiry¹⁰⁴ (hoogste graad lager en secundair): het (<http://www.webofinquiry.org>) is een interactieve website waar leerlingen wetenschappelijke projecten ontwikkelen en uitvoeren, betrokken worden in zelf-evaluatie en feedback geven aan hun peers. De leraar volgt de vooruitgang van de leerling op via een speciale interface en kan op deze manier de instructie aanpassen aan de noden van de leerling. De interface voor de leerling bestaat uit het onderzoeksmodel (voorgesteld door de onderzoekers) met zes onderzoekstaken in de kolom aan de linkerkant. Wanneer op één van deze taken wordt geklikt, dan vindt men de subtaken. In het systeem wordt de leerling ondersteund door een community van digitale adviseurs die hem doorheen het onderzoeksproces leiden. Tot deze adviseurs behoren een Vragers, een Hypothetiseerder, een Onderzoeker, een Analyseerder, een Synthetiseerder en Uitbreider. Elk van deze adviseurs heeft een naam zoals Hugo de Hypothetiseerder. Acht iconen die bovenaan de interface staan geven toegang tot: 1) een Thinkertool dat fungeert als een blog voor brainstormideeën; 2) een checklist om na te gaan of alle essentiële stappen in het onderzoeksproces werden gezet; 3) een discussietool om peer feedback te stimuleren; 4) een rapporteringstool om het finale rapport samen te stellen en te printen; 5) een tool om data te verzamelen en datatabellen te maken; 6) een tekentool om de data visueel te presenteren; 7) een woordenboek; 8) een zoektool om advies in het systeem op te speuren. Hoewel de interface de verschillende stappen in het onderzoeksmodel lineair voorstelt, is de 'Web of Inquiry' toch gebaseerd op het principe dat onderzoek een cyclus is van teruggrijpen en vooruitgaan tussen theorie en data, tussen veronderstellingen en bewijs. De interface laat leerlingen en leraren toe om makkelijk van de ene taak naar de andere te gaan.

WiMVTsysteem²³⁵ is een web-gebaseerde leeromgeving voor wetenschap. Ze kan bediend worden via het internet en is toegankelijk via algemene webbrowsers.

Het systeem wil leerlingen secundair onderwijs helpen in het opbouwen van inzichten in wetenschappelijke concepten en het wetenschappelijke onderzoeksproces. Het wil bovendien leerlingen helpen om kritische leervaardigheden te ontwikkelen. Het systeem dient ter ondersteuning van gezamenlijk onderzoek, 'real-time' sociale interactie, progressief modelleren en het voorziet op meerdere manieren 'scaffolding' voor de leerlingen. Gezien de beperkte evaluatie (test van het prototype bij een beperkte groep leerlingen) kan over de effectiviteit nog niet zoveel gezegd worden, maar het systeem heeft wel potentieel. De pilootstudie behandelt enkele fysica-onderwerpen, zoals elektriciteit. Het merendeel van de leerlingen vindt de activiteiten op de web-gebaseerde leeromgeving interessanter en boeiender dan wat ze eerder gewoon waren.

Mobiele digitale leeromgevingen

Mobiele leeromgevingen bieden heel wat potentieel voor het STEM-onderwijs van de toekomst. Onderzoek naar dergelijke leeromgevingen is vrij recent en de ontwikkeling zit in de beginfase. Toch is het duidelijk dat het gebruik van mobiele toestellen zoals smartphones, PDA en digitale tabletten (tablets) een duidelijke invloed hebben op de motivatie van leerlingen voor leren én op hun zelfsturing en samenwerkend leren. Deze toestellen zorgen bovendien voor de integratie van formeel en informeel leren. Momenteel zijn in Vlaanderen nog heel weinig mobiele leeromgevingen beschikbaar, zeker in de domeinen wiskunde, wetenschap en techniek. De ontwerpstudies die hieronder vermeld zijn, moeten vooral gezien worden als inspiratie en een uitdaging om in de toekomst actief op zoek te gaan naar mobiele leeromgevingen die voldoen aan de hieronder besproken eigenschappen. De studies tonen tevens aan dat het als leraar interessant is om mee te werken aan dergelijk ontwerp onderzoek.



Voorbeeld van een mobiele digitale leeromgeving

De leerlingen starten met het spelen van een coöperatief spel om de delen en de functies van de vijf lichaamssystemen te identificeren. Elke leerling krijgt dan de opdracht om een experiment thuis uit te voeren met de hulp van zijn of haar familie. Met een smartphone neemt de leerling het experiment op en dit filmpje wordt gebruikt in een klasdiscussie tussen de leraar en de klasgenoten. Na de discussie moeten de leerlingen online onderzoek uitvoeren naar het spijsverteringssysteem en dit opnieuw door gebruik te maken van hun smartphones. Ze moeten hun resultaten delen met hun klasgenoten. Daarna maken de leerlingen met Sketchy animaties van het spijsverteringssysteem. Ze doen dit om hun inzicht in het spijsverteringssysteem aan te tonen en gebruiken een tool om hun eigen werk te evalueren. De leerlingen krijgen eveneens de opdracht om aan hun ouders te vragen wat ze weten over het spijsverteringssysteem en om het gat in de kennis van hun ouders te identificeren. Ze moeten hun ouders die kennis doorgeven die ze missen en nadien moeten ze hun ouders opnieuw bevragen. Alle ouder-kind interacties worden op video of op audio vastgelegd door gebruik van de smartphone.

In de studie van Looi et al.¹⁵⁵ worden smartphones op verschillende manieren ingezet (zie onderstaand voorbeeld). De leerlingen hebben deze smartphones 24/7 ter beschikking, zodat deze toestellen zowel hun leren in de klas als buiten de klas kunnen faciliteren. De toepassing van het gebruik van smartphones in de wetenschapslessen zorgde ervoor dat het leren persoonlijk, diep en boeiend was. Bovendien ontwikkelden leerlingen een positieve houding tegenover mobiel leren.

In een andere studie, het **EULER-project**¹⁵³, wordt gebruik gemaakt van een PDA en een server. De leeromgeving voorziet verschillende educatieve mogelijkheden, waaronder onbeperkte toegang tot kennis, onmiddellijke evaluatie, individuele aanpassing, dataverzameling en het spelen van games. Op basis van de antwoorden van de leerlingen is vast te stellen dat de omgeving voor een probleemloze samenwerking zorgt.

In een studie van Lui et al.¹⁵² wordt het gebruik van tablets (mobiele technologie) geïntegreerd in een bestaande onderzoeksanpak, met name de 5E-leercyclus (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak). Uit de studie blijkt dat deze integratie ervoor zorgt dat onderzoek niet enkel in de school maar eveneens in de omgeving buiten de school kan gebeuren, of via een combinatie van beide. De leerlingen uit het vierde leerjaar die meewerkten aan de studie geven de voorkeur aan deze manier van werken omdat het observatie, onderzoeks- en 'hands-on'-activiteiten in de hand werkt. De mobiele leeromgeving bestaat uit twee belangrijke componenten: een Ecologische Vijver website en een tablet-pc die gebruikt wordt door elke deelnemende leerling. Op deze manier kunnen de leraar en de leerlingen de gegevens van de website op elke mogelijke plaats (zoals bij de ecologische vijver of in het laboratorium) gebruiken en raadplegen. Op de website, die wordt gemaakt door een groep leraren mits ondersteuning van de onderzoekers, bevinden er zich zowel 'hands-on'-problemen als concepten en inzichten. Het materiaal op de website kan gebruikt worden voor klasinstructie, onderzoek buiten, experimenten, individuele of groepsstudie en -evaluatie. Het materiaal kan heel makkelijk opgevraagd worden.

Het effect van een mobiele leeromgeving werd eveneens onderzocht door Zhang en medewerkers²⁸⁸. De omgeving die zij ontwikkelden is gebaseerd op een HTC Tytn II Windows mobiele telefoon die onder andere de volgende mogelijkheden had: functie voor het nemen van foto's, stylus pen, toetsenbord, 3G internet, onderwijsapplicaties zoals GoKnowapplicaties waaronder KWL-tabel, StopWatch, Picomap (concept mapping) en Sketchy voor het ontwerpen van animaties. Deze mobiele smartphone werd geselecteerd omwille van zijn lichtheid, de applicaties en de makkelijke toegang tot internet. Na het uitvoeren van de onderzoeksactiviteiten, in combinatie met de mobiele toestellen, zijn de leerlingen meer betrokken en gemotiveerd. Er is een aanzienlijke verbetering in hun wetenschapsexamen. De leerlingen vertonen eveneens signalen van samenwerkend en zelfgestuurd leren.

Daarnaast heeft de leraar, als facilitator van het mobiele leren, meer tijd om naar de leerproblemen van leerlingen te kijken. De leraar heeft eveneens meer kans om misconcepties van leerlingen te identificeren. Om dit tot slot kort te illustreren: In een les waar de Sketchy software gebruikt wordt, tekent een leerling een spin zoals een insect, met zes poten en een paar antennes. Deze tekening op de tablet van de individuele leerling zorgt ervoor dat de leraar kan ingrijpen.

3.10.2. Hoeveel tijd vragen activiteiten binnen STEM-disciplines?

Tijd blijkt een belangrijk gegeven te zijn binnen STEM-onderwijs. Helaas wordt een gebrek aan tijd, vooral door de hoge druk van de overheid uit (toetsen), doorgaans als excuus gebruikt om bijvoorbeeld geen zinvolle experimenten te doen⁷⁷ of niet in te gaan op de antwoorden of overtuigingen van kinderen tijdens o.a. wiskundelessen¹¹⁵. We willen hier toch een pleidooi doen om voldoende tijd te nemen in je wiskunde-, techniek- en/of wetenschapsonderwijs en de voor- en nadelen van een ruime tijdsinvestering af te wegen^{51, 77}. Tijd is essentieel om succesvol te leren in zowel lager als secundair onderwijs¹²⁶. Het is zelfs zo dat onvoldoende tijd demotiverend kan werken²²⁸. Een gebrek aan tijd zal leiden tot een nadruk op leesactiviteiten en het inoefenen van woordenschat, men kan hierbij denken aan het inoefenen van namen van verschillende planten aan de hand van een hand- en werkboek. Een zulke aanpak kan leiden tot negatieve attitudes van kinderen tegenover wetenschap, wat een impact heeft op hun verdere schoolcarrière²⁰⁶.

In wat volgt, geven we je een overzicht van het belang van tijd binnen verschillende disciplines en vullen we aan met tips.

Jongeren (leeftijd dertien tot veertien jaar) blijken heel enthousiast te zijn wanneer ze de kans krijgen om te herontwerpen en een probleem te herdenken binnen een **techniekactiviteit**¹⁸⁴. Als je als leraar hier tijd voor geeft, blijken leerlingen tot dieper leren te komen en betere inzichten te verwerven. Neumann¹⁸⁴ doet daarom een oproep om jongeren tijdens techniekactiviteiten de kans – tijd – te geven om meerdere pogingen te ondernemen bij het oplossen van een probleem en dus om trial en error toe te laten. Ook jongere kinderen (acht tot elf jaar) houden ervan om ontwerp opdrachten te doen¹⁸⁶. Webster et al.²⁷⁶ geven aan dat niet alleen het productieproces tijd vraagt, kinderen hebben eveneens tijd nodig om tot creatieve ideeën te komen. In hun onderzoek wordt deze tijd de incubatieperiode genoemd. Tijdens deze periode, die enkele dagen in beslag neemt, kunnen de leerlingen nadenken over het ontwerp dat ze zullen maken, kunnen ze tot meerdere ideeën komen en kunnen ze deze bespreken met familie en peers. De onderzoekers noemen deze periode een periode van 'niet-gefocused denken'. Deze constatering is belangrijk, want ze geeft aan dat men moet letten op hoe men techniekactiviteiten geeft. Het betekent in eerste instantie dat men niet alles kan plannen op één dag. Er moet tijd zijn tussen de voorstelling van de opdracht, het creatieve proces en de productie van het ontwerp. De scholen die deelnamen vonden een periode van enkele dagen voldoende, meer tijd leidde tot problemen.

Een onderzoekende aanpak bij **wetenschap** heeft duidelijk een positief effect op de motivatie van kinderen en jongeren en leidt tot betere en diepere inzichten^{75, 98}. Een onderzoekende aanpak vraagt echter tijd en dit niet alleen tijdens de activiteit zelf. Er dient gedurende het hele jaar permanent aandacht aan besteed te worden. Deze noodzaak aan tijd werd eveneens ervaren door een leraar die OOL (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak) toepaste²⁵⁵. Deze leraar geeft aan dat deze manier van werken veel tijd vraagt, ondanks het feit dat hij bij leerlingen een versnelling in hun persoonlijke ontwikkeling kon zien alsook een conceptuele verdieping. Ook werd er in deze aanpak aan meerdere disciplines tegelijkertijd gewerkt, namelijk naast biologie en techniek kwamen ook rekenen, handvaardigheid en taal aan bod.

Het stellen van vragen, discussiëren en argumenteren zijn vaardigheden die onlosmakelijk met wetenschapsonderwijs verbonden zijn en daarenboven vaak met een onderzoekende aanpak samengaan. Het vraagt vooral in het begin tijd om kinderen en jongeren deze vaardigheden bij te brengen. Hoe sneller je kinderen (vanaf kleuterleeftijd) hierin coacht, hoe beter ze deze vaardigheden op latere leeftijd zullen toepassen¹⁷⁴. Ook de projectgebaseerde probleemoplossende aanpak zorgt voor een hogere motivatie bij zowel leerlingen als leraren¹³⁸. Met deze manier van werken is het mogelijk om leerlingen geïnteresseerd te maken in wetenschappelijke onderwerpen. In de meeste onderzochte klassen leidde de aanpak tot goede leerresultaten. Het is echter een manier van leren die meer tijd vraagt, vooral bij aanvang als dit nog onbekend terrein is voor leerlingen. Je werkt bij voorkeur niet één keer op dergelijke manier, maar past ze best regelmatig toe. Leerlingen zouden vanaf de jongste leeftijd met deze manier van leren in contact moeten komen, zodat ze op latere leeftijd vlotter werken. Een mogelijke oplossing is het combineren van verschillende disciplines zodat er tijd vrijkomt voor een projectgebaseerde probleemoplossende aanpak. In de studie¹³⁸ werden lessen zodanig gecombineerd dat er meer tijd was voor een probleemoplossende aanpak. Daarnaast kunnen mobiele apparaten een volgende oplossing zijn, het leren gebeurt immers eveneens buiten de klas. Klasgenoten blijven vaak na de schooluren betrokken in het probleem of het onderzoek en ook ouders kunnen betrokken worden. (zie Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak, Hoe? 3.10. Praktische voorwaarden: leermiddelen en Hoe? 3.5. Samenwerkend leren).

Ook binnen **wiskunde** is het belangrijk om tijd te nemen en wordt er een pleidooi gedaan om in te zetten op wiskundige vaardigheden. Een geïntegreerde aanpak wordt als meest functioneel naar voor geschoven¹²⁶, waarbij vaardigheden niet afzonderlijk en na elkaar getraind worden maar allemaal samen. Onder de wiskundige vaardigheid verstaat Kilpatrick¹²⁶: 1) wiskundig inzicht; 2) vloeiend berekeningen doen; 3) concepten gebruiken om problemen op te lossen; 4) logisch redeneren; en 5) wiskunde zien als nuttig en doenbaar (betrokken zijn). In dezelfde publicatie wordt een pleidooi gedaan om minstens een uur per dag te spenderen aan wiskunde vanaf de kleuterklas tot een leeftijd van veertien jaar. Meer tijd zou moeten gaan naar het ontwikkelen van minder onderwerpen per graad. Tijd dient gebruikt te worden om wiskundige ideeën te ontwikkelen en niet enkel om vaardigheden te oefenen. Op basis van vragen en discussie kunnen het denken en de oplossingsstrategieën bij leerlingen uitgelokt worden. Tegelijkertijd blijkt uit de Eurydice-rapporten^{78, 79} dat er in verschillende Europese landen centrale richtlijnen, aanbevelingen of acties zijn die scholen aanmoedigen om wiskunde en/of wetenschapsactiviteiten in de tijd buiten de lessen te organiseren. Een aantal landen rapporteert over wetenschapsclubs, die tijdens de middag of na de lessen doorgaan en die aan het stimuleren van wetenschappelijke geletterdheid gewijd zijn. Kinderen en jongeren ontwikkelen binnen deze clubs onderzoeksprojecten over onderwerpen die hen interesseren. Dergelijke wetenschapsclubs worden aangeboden in Frankrijk, Letland, Malta, Oostenrijk, Polen, Portugal, Roemenië en het Verenigd Koninkrijk. Over het effect van deze initiatieven wordt jammer genoeg niet gerapporteerd.

Wat wiskunde betreft, richten de meeste activiteiten zich naar getalenteerde leerlingen, denk hierbij bijvoorbeeld aan de olympiades. De STEM-clubs uit het Verenigd Koninkrijk vormen hierop echter een uitzondering, deze hebben als doel alle leerlingen te motiveren voor wiskunde en wetenschap, ook deze die minder getalenteerd zijn op vlak van wiskunde. Het is de ambitie van de overheid om een STEM-club op te richten in elke secundaire school in het Verenigd Koninkrijk (www.stemclubs.net).

Dergelijke acties worden bij voorkeur ingericht op de school zelf, dit zorgt ervoor dat elk kind kan deelnemen aan deze activiteiten, ook kansarme kinderen⁷⁷.

3.10.3. Waar organiseer je STEM-activiteiten?

I can only remember a couple of times science was held outside. Most of my science classes were either lectures or labs that involved instruction. However, I do think that teaching science outside once in awhile is good. It breaks the monotony of classroom lectures. [Preservice teacher]¹⁰² (p.109)

Uiteraard is de klas of het klaslokaal een belangrijke plaats in het lesgebeuren. Om projecten, onderzoek, klasdiscussies, samenwerken... op een goede manier te laten verlopen, zijn er echter een aantal aandachtspunten.

Bij projectwerk bijvoorbeeld kan het lokaal met een traditionele opstelling van tafels en stoelen demotiverend werken²²⁸. Leerlingen die in rijen zitten, voelen zich gevangen. Een open plek om plannen te maken met daarnaast bureaus en computers en plaats voor groepswerk zou ideaal zijn.

Sommige scholen hebben een wetenschapslokaal waar het mogelijk is om in teams 'hands-on'-onderzoek te doen. Wanneer dit niet het geval is dan is het noodzakelijk dat de tafels en stoelen kunnen verplaatst worden. De materialen zitten dan bij voorkeur in kleine boxen of laden die makkelijk toegankelijk zijn voor de leerlingen. Bovendien moeten de leerlingen er verantwoordelijkheid voor kunnen dragen²⁸⁴.

Niet alleen de klas is een plaats waar aan wiskunde, wetenschap en/of techniek kan gedaan worden. Er kan heel wat meer geleerd worden buiten de klas¹⁵⁸, want tenslotte zorgt onderwijs buiten voor een grotere betrokkenheid van leerlingen⁷⁶. Onder 'buiten de klas' verstaan we zowel plaatsen die in de onmiddellijke buurt van de school liggen als plaatsen die verder verwijderd zijn, zoals een waterzuiveringsstation, een elektriciteitscentrale, een museum, een interactief wetenschappelijk centrum¹⁵⁸ of bedrijfsbezoeken^{82, 137}. Dergelijke bezoeken kunnen zorgen voor een levenslange interesse in het onderwerp. Maar deze bezoeken alleen zijn onvoldoende. Ook de speelplaats en de onmiddellijke omgeving van de school zijn ideale plaatsen voor onderzoek. Bovendien kan een sterkere betrokkenheid via stage of projectwerk bij een instelling of op de bedrijfsvloer een meerwaarde betekenen^{91, 107}. Verder houdt de combinatie van onderzoek in de omgeving met mobiele digitale toestellen heel wat mogelijkheden in^{152, 288}. Wanneer van een mobiele leeromgeving gebruik wordt gemaakt, dan kan de leraar bijvoorbeeld makkelijk de rol van coach opnemen en individuele feedback geven. Verder onderzoek is nodig om alle mogelijkheden van dergelijke mobiele leeromgevingen in kaart te brengen, ook

in Vlaanderen. (zie ook de uitgewerkte voorbeelden bij Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak, Hoe? 3.10. Praktische voorwaarden: leermiddelen)

Hieronder gaan we nog even specifiek in op onderzoek in de natuur (veldwerk), onderzoek in een stedelijke omgeving en de schooltrip naar een museum.

Veldwerk biedt leerlingen tal van mogelijkheden om vragen te formuleren tijdens het observeren van de natuur. Onderzoek naar natuurlijke fenomenen kan bovendien goed in wiskundige termen worden uitgedrukt, bijvoorbeeld bij het verzamelen en analyseren van data. Hierbij kan ondersteuning gezocht worden in het gebruik van technologische hulpmiddelen om data te verzamelen en te analyseren en om nadien de onderzoeksresultaten te rapporteren¹⁰².

Onderzoek in een stedelijke omgeving: In de studie van Endredy⁷⁶ werd aan leerlingen (vijfde leerjaar) gevraagd om het water in de buurt van hun school te onderzoeken op basis van observaties en begeleid onderzoek (Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak). Doorheen het jaar (van september tot maart) deden de leerlingen verschillende observaties en onderzoeken ter hoogte van een beek in de onmiddellijke buurt van de school. De leerlingen leerden dat het water afkomstig was van de omringende stedelijke omgeving waar het water afgevoerd wordt van het omliggende land naar de beek. Zo begonnen ze te begrijpen hoe stedelijke grond invloed heeft op de kwaliteit van water.

Museum: De Witt en Osborne⁶⁷ ontwikkelden enkele principes voor het ontwerp van materialen voor leeruitstappen naar wetenschapsmusea en -centra. Deze principes moeten ervoor zorgen dat door schooluitstappen het leren van leerlingen wordt bevorderd en dat hun motivatie wordt verhoogd. Deze principes zijn zowel voor de musea en centra als ook voor de leraar interessant.

- ▶ Principe 1: Neem het perspectief van de leraar in bij het ontwikkelen van materialen voor leeruitstappen naar musea en centra. Dit wil zeggen dat het materiaal en de activiteiten bij voorkeur kunnen ingepast worden in de context van de leraar (bijvoorbeeld te bereiken doelen, tijd die kan besteed worden).
- ▶ Principe 2: Het materiaal biedt structuur voor de leeruitstap zelf en legt daarenboven verband tussen het bezoek en wat voor en na de leeruitstap in de klas gebeurt.
- ▶ Principe 3: Het materiaal moedigt gezamenlijke productieve activiteiten aan. Dit zijn activiteiten die het samenwerken tussen leerlingen en leraar aanmoedigen om zo gezamenlijk tot een eindproduct te komen.

Deze activiteit zal bij voorkeur:

- discussie tussen peers en volwassenen aanmoedigen, dialoog tussen leraar en leerlingen;
 - nieuwsgierigheid en interesse stimuleren;
 - keuze en controle bevorderen (leerlingen kunnen zelf bepalen waarin en hoe ze betrokken willen zijn);
 - cognitieve betrokkenheid en uitdaging aanmoedigen;
 - relevant zijn voor de leerlingen.
- ▶ Principe 4: Het materiaal bevordert dialoog, geletterdheid en informatievaardigheden.

3.11. Welke partners betrekken bij STEM-onderwijs?

Externe partners betrekken bij onderwijs veronderstelt samenwerkingsverbanden tussen leraren en leerlingen enerzijds en partners buiten de school anderzijds. Deze samenwerking wordt met verschillende partners en met verschillende doelen voor ogen georganiseerd. De belangrijkste potentiële partners zijn familie en/of voogden⁷⁸, bedrijven, andere onderwijsinstellingen, overheden en ten slotte andere organisaties die de interesse in wetenschap en techniek promoten (zoals musea en wetenschapscentra⁷⁸, ⁷⁹). In de onderstaande paragrafen zullen we dieper ingaan op het belang van elk van deze partners.

De impact van de **familie** op het aanmoedigen van leerlingen tot schoolse activiteiten is reeds vanaf een jonge leeftijd van zeer groot belang. De thuisomgeving bepaalt in sterke mate de cognitieve en sociale ontwikkeling van kinderen. Zo blijkt dat het gedrag en de attitudes die kinderen in verband met wiskunde en wetenschap ontwikkelen, sterk bepaald worden door de ouders. Daarbij spelen volgende factoren een rol: 1) de schoolse verwachtingen die de ouders zelf hebben, 2) het belang dat ze hechten aan vakbekwaamheid en de inspanning die kinderen moeten leveren om deze bekwaamheid te verwerven, en 3) de manier waarop zij hun kinderen stimuleren om inspanningen te leveren voor school^{51, 191, 204}. In verschillende Europese landen werden daarom al initiatieven uitgewerkt die de betrokkenheid van de ouders bij het leerproces vergroten⁷⁸. Dat kan gaan van schriftelijk contact met de ouders tot intensief contact op de school zelf. In Griekenland bij voorbeeld worden leraren aangemoedigd om brieven te schrijven naar ouders waarin ze hen informeren over de inhoud van de wiskundelessen. Daarbij reiken zij de ouders tips en manieren aan om thuis samen met hun kinderen aan wiskunde te werken⁷⁸. In Malta worden ouders dan weer aangemoedigd om hun kinderen efficiënte leermethodes bij te brengen. Ze krijgen hierbij de kans om wekelijks tweemaal met de leraar daarover te overleggen en kunnen tijdens deze bijeenkomsten samen met hun kinderen oefenen. Aansluitend hierbij werd een zogenaamd ouder-tot-ouder initiatief ontwikkeld, waarbij een team van ouders wordt samengesteld en vervolgens getraind in het geven van opleidingen aan andere ouders, dit alles onder supervisie van een leraar⁷⁸. Een driejarig project in Noord-Amerika ten slotte, waarbij ouders actief betrokken werden bij het onderwijs doordat leerlingen bijvoorbeeld tassen met "take-home" activiteiten mee naar huis namen, leidde tot een significante verbetering van de attitudes van de leerlingen ten opzichte van wetenschap tijdens de lesuren. Vreemd genoeg daalde de interesse van de leerlingen om later een wetenschappelijk beroep uit te oefenen tijdens het project en werd er geen significante invloed op de leerprestaties gevonden. De beperkte positieve resultaten in deze studie werden door de onderzoekers toegeschreven aan een 'plafondeffect' omdat dit onderzoek zich situeerde in een scholendistrict dat bij aanvang van het onderzoek nationaal reeds zeer hoog scoorde²²⁰.

De samenwerking met bedrijven is een echte win-winsituatie voor alle betrokken partners^{79, 82, 137}. De leerlingen, die de belangrijkste speler zijn bij deze samenwerking, komen op een zeer concrete en positieve manier in aanraking met het vakgebied, waardoor hun motivatie en interesse toenemen^{78, 79}. Ook voor de bedrijven zelf is de samenwerking positief. Op lange termijn kan dit immers een verhoogde instroom voor wetenschappelijk/technische richtingen opleveren⁹¹. Door de relevantie van wetenschap⁷⁹ en techniek⁹¹ in het dagelijkse leven aan te tonen, kunnen leerlingen immers gestimuleerd worden om later te kiezen voor een wetenschappelijke⁷⁹ of technische⁹¹ richting. Mogelijke vormen van samenwerking tussen bedrijven en leerlingen zijn: het uitnodigen van beroepsbeoefenaars in de klas; een stage van oudere leerlingen in een bedrijf⁹¹.

Een samenwerking binnen het onderwijs zelf kan tevens inspirerend werken en een motor tot verandering zijn. Daarbij kan deze samenwerking zich rechtstreeks richten naar de leerlingen, met als doel het enthousiasmeren van leerlingen voor STEM-vakken, maar ook de leraren kunnen de centrale partner zijn, waarbij het doel dan ligt in het veranderen van de onderwijsaanpak.

Bij samenwerkingsinitiatieven met een rechtstreekse focus op de leerlingen kan de complementaire partner een lerende (een leerling of student) zijn, maar tevens een professional (zoals een leraar, wetenschapper of docent). De eerste manier van samenwerking – tussen leerlingen onderling of tussen leerlingen en studenten – wekt vaak groot enthousiasme op bij beide partijen. Oudere leerlingen die jongere leerlingen helpen, leren vaak zelf bij tijdens het proces⁴⁵. Dit bleek bijvoorbeeld bij een techniekproject in de Verenigde Staten het geval te zijn, waarbij ingenieursstudenten samenwerkten met leerlingen uit het basisonderwijs. De ingenieursstudenten waren zelf zo verrast door de resultaten van het project (o.a. het samen bouwen van een robotarm en een fietsgenerator) dat hun enthousiasme oversloeg op de jonge leerlingen¹³⁷. Uit een analoge studie bleken de betrokken leerlingen uit het basisonderwijs zes maanden na de studie nog steeds positiever te staan tegenover wetenschapsonderwijs dan leerlingen die niet hadden deelgenomen aan het project. Bovendien bleken de verschillen tussen jongens en meisjes kleiner te zijn dan in de controlegroep¹⁷⁹. We kunnen vaststellen dat door de samenwerking niet alleen toekomstige carrières in de wetenschap aangemoedigd worden, maar dat daarnaast de studenten hoger onderwijs verrijkt uit het project komen⁷⁹.

Ook de tweede manier van samenwerking – tussen leerlingen en professionals zoals docenten hoger onderwijs en wetenschappers – kan bij de leerlingen tot een groter inzicht en een meer positieve houding ten opzichte van wetenschap leiden^{19, 277}. Het Eurydice-rapport van de Europese commissie^{78, 79} belicht talrijke voorbeelden, waaronder initiatieven zoals de kinderuniversiteit, het beantwoorden van leerlingenvragen door wetenschappers, de begeleiding van leerlingen door wetenschappers bij het uitvoeren van hun wetenschappelijk onderzoek⁷⁹.... In enkele landen ging men nog een stapje verder en werden leerlingen niet alleen betrokken bij het lopende onderzoek van de wetenschappers, maar werd bovendien het resultaat gecommuniceerd naar een breed publiek⁷⁹. Het doel van een dergelijk programma is ruimer dan het enthousiasmeren van leerlingen voor wetenschap. Deze aanpak streeft er immers ook naar om de manier waarop leerlingen over het ontstaan en de evolutie van wetenschap denken, verder te ontwikkelen. Bovendien wordt op deze manier de maatschappelijke rol van wetenschappers duidelijk. Verder vormt in dit soort programma's de genderstereotypering dikwijls een aandachtspunt⁷⁹. Goed uitgevoerde projecten kunnen een positief effect hebben op de participatie van meisjes in wetenschappelijke activiteiten, wat hun motivatie en prestaties verhoogt^{79, 179}.

Zoals gezegd, kan de samenwerking binnen onderwijs naast de leerling ook de leraar als centrale partner beogen. Leraren lager onderwijs en leraren secundair onderwijs kunnen elkaar inspireren, zowel inhoudelijk als didactisch. Uit een Chinese studie rond onderzoekend leren bleek dat leerlingen uit het basisonderwijs vaker beter presteerden dan leerlingen in het secundair onderwijs. De auteurs vermoedden dat dit te wijten was aan een eerder beperkte bereidwilligheid van leraren secundair onderwijs om nieuwe instructiemethodes toe te passen. Ze suggereerden dan ook om een samenwerkingsverband uit te bouwen tussen leraren lager onderwijs en leraren secundair onderwijs²⁷³. Het belang van een goede samenwerking tussen leraren binnen een school (strikt genomen is dit geen externe partner) of buiten een school wordt bevestigd door een Amerikaanse studie. Deze toonde aan dat een goede

samenwerking tussen leraren één van de krachtigste motoren is in de verandering en verbetering van onderwijs⁵¹. In deze studie met 200 slecht presterende basisscholen in Chicago slaagden enkel deze scholen met een goed afgesteld curriculum en een sterke professionele gemeenschap tussen de leraren onderling erin om het niveau in wiskunde te verbeteren. In de scholen waar deze samenwerking niet of nauwelijks bestond, werd er geen enkele verbetering vastgesteld⁵¹. Bovendien kan de deelname van wetenschappers, technologen en ingenieurs leraren vertrouwen geven in aspecten van wetenschap waarin ze niet getraind zijn¹¹⁴.

De promotie van wetenschap buiten de schoolomgeving vraagt een groot aantal activiteiten: van het dissemineren van leermateriaal tot het organiseren van professionaliseringstrajecten voor leraren. Twee derden van alle Europese landen hebben inmiddels een instituut opgericht dat het promoten van wetenschap als doel heeft. Deze zijn vaak in min of meerdere mate verbonden aan universiteiten of instellingen voor hoger onderwijs. Ze ondersteunen scholen bij het inrichten van wetenschapsonderwijs en zijn de ideale plaatsen om onderzoek te doen op het gebied van wetenschapsonderwijs.

Wetenschapsmusea en -centra zijn de meest in het oog springende voorbeelden van wetenschapspromotie. Ze organiseren vaak speelse activiteiten om de interesse van de leerlingen op te wekken. Deze organisaties kunnen de leerstof van de school verder vastzetten en leraren adviseren over wetenschapsonderwijs. De positieve invloed die dergelijke wetenschappelijke centra op de carrièrekeuze van leerlingen voor wetenschap hebben, werd bevestigd door een studie in Noorwegen. 20% van alle studenten die in 2008 kozen voor een wetenschappelijke richting refereerden naar wetenschapscentra als een bron voor motivatie of inspiratie om voor een wetenschappelijke richting te kiezen. Analoge resultaten werden gevonden bij een onderzoek in het Verenigd Koninkrijk⁷⁹. Drie kwart van de wetenschapsleraren rapporteerden een impact op de interesse, motivatie en leerresultaten van de leerlingen⁷⁹. Bovendien kunnen dergelijke centra inspirerend werken voor leraren, die de originele aanpak van deze centra kunnen verwerken in hun eigen lessen¹⁶⁶. Toch zijn er aandachtspunten die deze centra in acht moeten nemen om effectief positieve attitudes zoals interesse, zelfvertrouwen en intrinsieke motivatie te stimuleren. De activiteiten moeten voldoende gevarieerd zijn, actieve participatie stimuleren en bij voorkeur als groepswork georganiseerd worden²³². Praktische overwegingen zoals bereikbaarheid, kunnen dan weer omzeild worden door het inschakelen van transporteerbare labo's. Zo werden in het Verenigd Koninkrijk labo's ondergebracht in vrachtwagens. In het zogenaamde lab-in-a-lorry project begeleidden wetenschappers en ingenieurs de leerlingen bij hun experimenteel onderzoek¹⁸. Ook in Wallonië bestaat een analoog initiatief onder de naam 'Camion des Sciences'⁷⁹.

Ondanks de vele voordelen die dergelijke samenwerkingsverbanden bieden, zijn er enkele potentiële valkuilen: de praktische organisatie wordt soms bemoeilijkt door aspecten zoals tijd en afstand; het ontbreken van voldoende financiering kan een volledig project in gevaar brengen; het is niet altijd eenvoudig voor de leraren om de inspiratie, die ze uit de samenwerking halen, te vertalen naar het curriculum en het begeleiden en opvolgen van de leerlingen tijdens dergelijke vernieuwende activiteiten blijkt niet altijd eenvoudig te zijn⁷⁹.

HOOFDSTUK IV

WIE?

4.1. Wat is de invloed van de persoonlijke kenmerken van de leerling op de interesse en motivatie voor STEM?

In dit hoofdstuk behandelen we welke persoonlijke kenmerken van leerlingen invloed kunnen hebben op de manier waarop je de lessen best organiseert. We kijken naar gender, het prestatieniveau van de leerlingen en de potentiële invloed van leerstijlen.

4.1.1. Wat is de invloed van gender op de keuze voor STEM-onderwijs?

Resultaten van internationale studies zoals PISA en TIMSS tonen aan dat meisjes over het algemeen een inhaalbeweging maken voor wiskunde en wetenschap²⁰³. Ondanks deze inhaalbeweging zijn er echter nog belangrijke genderverschillen in de studiekeuze tijdens het secundair onderwijs en in de latere carrière²⁰³. De beperkte keuze van meisjes voor wetenschappen, wiskunde en techniek is een onderwerp dat veel aandacht krijgt in wetenschappelijk onderzoek. Het idee leeft dat meisjes gemiddeld genomen minder geïnteresseerd zijn in deze vakken, maar de werkelijkheid is complexer dan dat. In dit deel zullen we eerst ingaan op attitudes zoals motivatie, interesse en zelfvertrouwen van jongens en meisjes. Vervolgens bekijken we de maatregelen en didactische tips om zowel meisjes als jongens te betrekken bij en te motiveren voor STEM-onderwijs.

Verskil in attitudes

De resultaten van wetenschappelijk onderzoek in verband met de attitudes van meisjes ten opzichte van wetenschap, wiskunde en techniek zijn sterk uiteenlopend. Een algemene tendens is wel dat meisjes vaak minder **zelfvertrouwen** vertonen dan jongens in de wetenschappelijke en technische vakken^{92, 110, 138, 209}. Ze halen vaak dezelfde of zelfs betere resultaten dan jongens^{136, 191, 250}, maar geloven minder in hun capaciteiten^{61, 136, 250}. Bij technische activiteiten denken meisjes van zichzelf dat ze er minder goed in zijn dan jongens, hoewel ze niet noodzakelijk geloven in het stereotype denkbeeld dat meisjes in het algemeen minder goed zijn in technische activiteiten. Bij meisjes leeft dus de perceptie: "Wij kunnen het, ik kan het niet" ("We can, I can't")¹⁹¹. Bij jongens daarentegen leeft wel het stereotype beeld dat zij beter zijn in techniek^{61, 203} en wetenschap¹¹⁰ dan meisjes. Bovendien hebben ze meer zelfvertrouwen en denken ze ook dat ze beter zijn dan de meerderheid van hun mannelijke klasgenoten. Het gebrek aan zelfvertrouwen bij meisjes is alarmerend²⁰³. Analoge resultaten worden gevonden voor wetenschap en wiskunde. Bovendien blijkt dat het zelfvertrouwen van meisjes voor wiskunde verder daalt naarmate ze vorderen op school, terwijl jongens net meer zelfvertrouwen krijgen. Naast zelfvertrouwen speelt ook angst voor het vak een rol bij meisjes. Dit kan grote gevolgen hebben omdat sommige leraren zelfvertrouwen associëren met bekwaamheid voor het vak, waardoor ze de bekwaamheid van meisjes

onderschatten omdat deze meer angst vertonen dan jongens, zelfs al zijn ze even bekwaam⁷⁸. Meisjes zullen hun succes of falen eerder toeschrijven aan zichzelf dan jongens, wat ook gevolgen kan hebben voor hun zelfbeeld⁹⁹.

Jongens staan vaker positief tegenover wiskunde en het gebruik van technologie (ICT en rekenmachines) in wiskunde dan meisjes^{17,85}. De positievere attitudes van jongens ten opzichte van wetenschap is vaak meer uitgesproken voor fysica dan voor biologie¹⁹¹. Daarnaast nuanceert een review van Osborne et al.¹⁹¹ deze bevindingen. Zij citeren een studie die onderzocht wat de favoriete onderwerpen bij tien- tot vijftienjarige meisjes zijn. Daaruit bleek dat de top drie bestond uit wiskunde, wetenschappen en spelletjes (games), onderwerpen dus die typisch gezien worden als 'mannelijk'¹⁹¹.

Daarnaast blijkt ook **het aandeel jongens en meisjes in de klas** een rol te spelen in de attitudes die zij ontwikkelen ten opzichte van de STEM-vakken. Een Duitse studie bij tien- tot zestienjarige leerlingen toonde aan dat gemiddeld gezien leerlingen in klassen met meer jongens dan meisjes meer angst en minder plezier vertonen in wiskunde dan klassen met een groter aandeel meisjes. Bovendien lijken meisjes het meest benadeeld in de klassen met een groter aandeel jongens. Hun negatieve emoties (minder plezier en meer angst) voor wiskunde nemen toe in deze klassen. De auteurs pleiten voor meer onderzoek om na te gaan of deze effecten algemeen zijn en hoe ze verklaard kunnen worden⁸⁵. Onderzoekers van een Keniaanse studie stellen zelfs voor om aparte wiskundeklassen of aparte scholen op te richten voor meisjes⁸⁸. Maar onderzoek toonde reeds aan dat dit geen oplossing biedt. In meisjesscholen is het aandeel meisjes dat kiest voor wetenschap en wiskunde immers niet groter dan in gemengde scholen. Integendeel, in jongensscholen ziet men dat jongens eerder zullen kiezen voor de 'zachtere' richtingen zoals kunst en humane wetenschappen dan in gemengde scholen. De auteurs argumenteren dat jongens die voor meer 'mannelijke' vakken kiezen vaak extrinsiek gemotiveerd zijn: status, erkenning en een goed betaalde job zijn de belangrijkste motivatie. Jongens zullen om deze redenen eerder een 'mannelijke' beroepskeuze maken dan meisjes. Dit zou betekenen dat meisjes niet ondervertegenwoordigd zijn in wiskunde en fysica, maar dat jongens oververtegenwoordigd zijn in deze richtingen. Dit zou ook verklaren waarom jongens in jongensscholen eerder voor kunst en humane wetenschappen kiezen: Ze voelen minder druk om hun 'mannelijke' identiteit te bevestigen¹⁹¹.

Oorzaken van genderverschillen en hoe ze te overbruggen

De oorzaken van genderverschillen en de suggesties die aangereikt worden in de literatuur zijn zeer uiteenlopend en gaan van veranderingen op cultureel en maatschappelijk vlak (rolmodellen) tot het inspelen op subtiele interacties in de klas. In deze paragraaf geven we een overzicht van de suggesties die we terugvonden in de literatuur.

Stereotype denkbeelden

Er is aanzienlijk bewijs dat meisjes technologische onderwerpen vermijden omdat het niet overeenstemt met hun idee van een 'vrouwelijke' identiteit. Aan het begin van de lagere school, op de leeftijd van zes à zeven jaar, worden de **stereotype ideeën** van kinderen mee bepaald door culturele invloeden zoals speelgoed en rollenpatronen^{203, 210}. Deze denkbeelden zijn vaak star en rigide. Wanneer kinderen, zeker meisjes, op die leeftijd denken dat techniek niet bedoeld is voor meisjes, dan zullen ze dit onder-

werp minder interessant en minder relevant vinden²⁰³. Techniek moet daarom al in de eerste schooljaren van het basisonderwijs geïntegreerd worden om te voorkomen dat meisjes dit onderwerp laten vallen. Vrouwelijke leraren kunnen daarbij fungeren als positief **rolmodel** voor meisjes door hun eigen technologische competentie te demonstreren. Dit kan betekenen dat zij hun eigen kennis en competenties misschien moeten uitbreiden vooraleer ze techniek geven in de klas²⁰³.

Verschillend of gelijk inspelen op de bijdrage van jongens en meisjes?

Leraren moeten zich er bewust van zijn dat er een **genderproblematiek bestaat**, 'ook al beweren ze dat die er niet is'¹²⁰⁹. Onderzoek toont aan dat genderstereotypering zo diep verankerd zit dat men er zich vaak niet bewust van is¹⁹¹. In een Fins onderzoek wordt een aantal genderverschillen die je in de klas kan vinden opgesomd: meisjes krijgen minder aandacht dan jongens, die meer (zelfs negatieve) aandacht vragen; leraren interageren meer met jongens; jongens hebben de neiging om de conversatie te domineren in de klas; meisjes worden geprezen voor voorkomen, medewerking en gehoorzaamheid, terwijl jongens geprezen worden voor hun prestaties¹²⁰.

Meisjes lijken op deze manier inactieve deelnemers te zijn. Door de aandacht die jongens krijgen, krijgen meisjes de indruk dat jongens belangrijker zijn. Stereotyperende acties versterken stereotypes. Daardoor ontwikkelt het zelfvertrouwen meer bij jongens dan bij meisjes en lijken jongens beter te zijn in bijvoorbeeld wetenschappen, terwijl meisjes even goed presteren. Jongens blijken wel meer informele, buitenschoolse ervaring met wetenschap en techniek te hebben¹²⁰. Daarbovenop blijken meisjes in de klas minder de kans te krijgen om deel te nemen aan wetenschappelijke activiteiten¹⁹¹. Ook in het wiskundeonderwijs zouden jongens in het secundair onderwijs een grotere participatie vertonen in de klas waardoor ze betere prestaties afleveren²⁵¹. Daarom is het belangrijk dat je er als leraar voor zorgt dat meisjes en jongens dezelfde kansen krijgen om met jou en met de andere leerlingen in interactie te gaan. Jouw onderwijs moet zo ingericht worden dat jongens én meisjes ervaringen opdoen met wetkunde, wetenschap en techniek¹²⁰ en dat beide even actief zijn in de klas¹²⁰.

Het is dus zeker belangrijk dat meisjes in het bijzonder van hun leraar **appreciatie** krijgen voor hun technische vaardigheden⁶⁰. Technische activiteiten in de klas moeten zo voorgesteld worden dat ze het zelfvertrouwen bij meisjes stimuleren²⁰³. Met name meisjes, maar ook sommige jongens, hebben het idee dat STEM-vakken moeilijk zouden zijn en alleen geschikt voor mensen met talent. Toch zijn het net deze vakken die door redeneren en veel oefenen goed aan te leren zijn. Positieve feedback, gericht of eerder terloops, vergroot het zelfvertrouwen dat leerlingen wel degelijk iets kunnen begrijpen van deze vakken^{60, 92}.

Coöperatief leren is een methode die effectief is om de leiderschapscapaciteiten bij meisjes aan te moedigen en om zowel jongens als meisjes aan te moedigen om elkaars mening te respecteren. Coöperatief leren leidt tot een groter gevoel van eigenwaarde bij meisjes dan competitief of individueel leren¹⁵⁷. Jongens werken niet zo gestructureerd als meisjes⁷⁷ en lijken een soort van hiërarchische structuur nodig te hebben bij projectwerk. Dit omvat zowel 'bazen' als 'werkers', terwijl meisjes vaker samenwerken als gelijke teamgenoten¹³⁸. Zowel meisjes als jongens hebben voordeel bij groepswerk, vooral indien jongens daarbij leren van meisjes (bv. plannen en resultaatgerichtheid) en vice versa (bv.

experimenteren zonder angst)¹³⁸. Uit een andere, weliswaar beperkte studie, blijkt dat in kleine groepsactiviteiten jongens zich prestatiegerichter en dominanter gedragen dan meisjes. De auteurs stellen zich daarbij de vraag in welke mate het competitieve en dominante gedrag van jongens eventueel bijdraagt aan het onbehagen van meisjes bij onderzoeksactiviteiten, waardoor het leerproces van meisjes net gedeeltelijk verhinderd zou kunnen worden¹⁹⁴.

In een Fins onderzoek werd nagegaan in welke mate vrouwen en mannen op een vertekende manier in **instructiemateriaal** weergegeven worden: 1) vrouwen en minderheden ontbreken, ze lijken geen rol te hebben; 2) stereotypen tonen mannen als actief en sterk, vrouwen als lief, zacht, angstig en hulpbehoevend; beide geslachten worden doorgaans in traditionele beroepen getoond; 3) het onevenwicht in het materiaal geeft slechts één visie op mannen en vrouwen weer; 4) leerboeken verdoezelen vaak onaangename feiten en controversiële gebeurtenissen; 5) vrouwen komen minder en fragmentarisch aan bod en komen daarom als minder belangrijk over; 6) taal, in woorden zoals 'mankind' (menschheid), ontkent de volledige participatie en erkenning van vrouwen en meisjes; 7) vrouwen worden gebruikt als opsmuk van figuren, maar lijken geen actief deel uit te maken van het verhaal¹²⁰. Handboeken moeten dan ook aandacht schenken aan het genderneutraal maken van het materiaal²⁰⁹. In deze Finse doctoraats thesis worden volgende aanbevelingen gedaan betreffende het vermijden van gender bias¹²⁰:

- ▶ In de leeromgeving kan men woorden die een zeker vooringenomenheid weergeven best zo veel mogelijk vermijden (bijvoorbeeld 'mankind' in het Engels).
- ▶ Vrouwen en mannen zouden in verhalen, figuren en andere elementen in de leeromgeving een evenwichtige verdeling moeten krijgen.

Welke inhoud en spreken jongens én meisjes aan?

De **leerstijl** van jongens en die van meisjes kunnen verschillend zijn. Jongens lijken hands-on experimenten te verkiezen bij het oplossen van problemen⁹⁹. Meisjes verkiezen eerder stapsgewijze werkwijzen met duidelijke richtlijnen. Meisjes lijken meer zelfvertrouwen te hebben in klassen waar zo een stapsgewijze aanpak gebruikt wordt⁹⁹.

Het is niet zo dat leerlingen ofwel wel geïnteresseerd ofwel niet geïnteresseerd zijn in wetenschappen. De **context** speelt ook een rol. Meisjes blijken gevoeliger te zijn voor een interessante contextuele benadering¹²⁰, terwijl jongens gemakkelijker te motiveren zijn met 'gevaarlijke experimenten'. Meisjes vinden het interessant om te leren over (fysische) verschijnselen gerelateerd aan de mens. Voor jongens zijn technische toepassingen net de meest interessante context¹²⁰. Ook bij techniek is het daarom aangewezen de context aan te passen. Een verandering in inhoud en leerstijl die meer gerelateerd is aan de **humane kant** van wetenschap en techniek, zou een significante stijging in wetenschappelijke beroepskeuze bij meisjes kunnen betekenen¹⁹¹.

In STEM-vakken kan het een meerwaarde zijn om het **aanbod te differentiëren**, waarbij jongens en meisjes kunnen kiezen voor bepaalde activiteiten die hen aanspreken²¹⁰. De huidige inhoud van de curricula zou namelijk minder gericht zijn op meisjes dan op jongens⁹⁷. Er wordt bijvoorbeeld gesuggereerd om in de basisschool de klassieke 'ambachtelijke' techniek te veranderen naar modern techniekonderwijs en om er een verplicht vak van te maken voor zowel jongens als meisjes²⁰³. Muziektechnologie is een

voorbeeld van een onderwerp dat zowel jongens als meisjes kan boeien²³⁹. Ook onderzoekend leren blijkt de interesse en deelname in wetenschappelijke activiteiten van meisjes te bevorderen⁷⁷. Meisjes zien de STEM-vakken als een hobby, maar niet als mogelijke **carrièrekeuze**²⁰⁹. Uit Taiwanees onderzoek blijkt dat vrouwelijke leerlingen daar een hogere interesse vertonen in wetenschap en meer bijdragen leveren dan hun mannelijke medeleerlingen. Toch geven ook zij lagere scores aan de persoonlijke waarde die ze hechten aan wetenschap, hun zelfbeeld in verband met wetenschap, het plezier dat ze beleven aan wetenschap en de mogelijke keuze voor een carrière in een wetenschappelijke richting¹¹⁰. Ook al zijn meisjes competent in STEM-vakken en geloven ze in hun capaciteiten, toch kiezen ze zelden voor een wetenschappelijke carrière. De auteurs halen als reden aan dat het beeld dat meisjes hebben van wetenschap daarbij een rol zou kunnen spelen. Wetenschap wordt gezien als universeel, waardenvrij en objectief van aard. Dit zou in strijd zijn met vrouwelijke waarden die de menselijke en emotionele aard van kennis waarderen¹⁹¹.

Bovendien leeft bij leerlingen vaak een vaag en **stereotiep beeld van wetenschappelijke beroepen**. Meer correcte informatie over studie en beroep is dus belangrijk²⁵⁰. Bij de beroepskeuze zijn meisjes gemiddeld gezien meer doelgericht en meer gemotiveerd wanneer ze de voordelen en het nut van het beroep inzien¹³⁶, terwijl jongens gemiddeld meer prestatiegericht zijn. Ze willen graag indruk maken op anderen en publieke waardering krijgen¹³⁶. Het belang van techniek voor de verdere schoolloopbaan en het verdere leven moeten benadrukt worden²⁵⁰, want leerlingen beschouwen in dat opzicht techniek vaak als onbelangrijk²⁰³.

4.1.2. Hoe leerlingen met een verschillend prestatieniveau betrekken bij STEM-onderwijs?

In deze paragraaf gaan we in op de vraag hoe leerlingen met een verschillend prestatieniveau betrokken en gemotiveerd kunnen blijven bij STEM-onderwijs. We gaan in op de invloed van de leeromgeving en de invloed van het opdelen in prestatie-'clusters'.

Hoe je onderwijs organiseren zodat leerlingen van alle prestatieniveaus betrokken worden?

Wat betreft het **remediëren** van laag presterende leerlingen bestaat er een frappant verschil tussen wetenschappen en wiskunde. Wanneer beide Eurydice-rapporten voor wetenschap⁷⁹ en wiskunde⁷⁸ naast elkaar gelegd worden, wordt meteen duidelijk dat er voor wiskunde in bijna alle Europese landen nationale initiatieven bestaan om laag presterende leerlingen te begeleiden en te remediëren. Voor wetenschap bestaat dit slechts in twee landen: Nederland en Litouwen. Bovendien zijn er in het Eurydice-rapport voor wiskunde een reeks aanbevelingen terug te vinden om het aantal laagpresterders terug te dringen, terwijl dit in het rapport voor wetenschap slechts summier behandeld wordt. Onderzoek naar de factoren die de **wiskundige prestaties** in de basisschool bepalen, toonde aan dat factoren zoals de thuissituatie, het aantal keren dat leerlingen in aanraking komen met wiskunde en de reeds eerder aanwezige wiskundige vaardigheden bepalende factoren zijn³⁶. Het belang van buitenschoolse factoren – zoals de socio-economische achtergrond en het opleidingsniveau van de ouders, de taal die thuis gesproken wordt – kan niet overschat worden. Om het aantal laag presterende leerlingen in wiskunde terug te dringen, is er dus een gecombineerde aanpak nodig die zowel factoren binnen als

buiten de school aanpakt. In het tekstvak op de volgende pagina nemen we de aanbevelingen over die in het Euridyce-rapport in verband met wiskundeonderwijs vermeld worden om het aantal laagpresterende leerlingen terug te dringen⁷⁸. Vermoedelijk zijn veel van de onderstaande factoren ook toepasbaar voor wetenschapsonderwijs, maar verder onderzoek in die richting is aangewezen.



Aanbevelingen om het aantal laagpresterende leerlingen terug te dringen (Euridyce-rapport, p.83-85)⁷⁸

- ▶ "Speel in op de uiteenlopende behoeften van de leerlingen: leerlingen hebben een individuele leernood en leerstijl. Wanneer rekening gehouden wordt met de diverse leerbehoeften, heeft dit een positieve invloed op de prestaties en het engagement voor wiskunde.
- ▶ Benadruk het belang van wiskunde: werkvormen moeten ingaan tegen de idee dat wiskunde moeilijk, abstract of oninteressant is en niet relevant is voor het echte leven. Organiseer daarom je wiskundelessen rond interdisciplinaire thema's die het verband leren zien met het dagelijks leven.
- ▶ Grijp tijdig in: de eerste twee jaar van het lager onderwijs vormen de basis voor het verdere wiskunde leren. Het identificeren van problemen in dit stadium kan voorkomen dat kinderen ongepaste strategieën en misvattingen vormen die op lange termijn belemmeringen kunnen vormen voor het leren. Kinderen die in dit opzicht gevaar lopen zouden al in de kleuterschool bijscholing kunnen krijgen. Zo'n vroege interventie kan ook de ontwikkeling van angst voor wiskunde voorkomen, een factor die belangrijk kan worden bij oudere leerlingen.
- ▶ Speel in op de persoonlijke zwaktes: interventies moeten gericht worden op specifieke moeilijkheden bij het kind. Individuele en gedifferentieerde ondersteuning heeft een significante impact op de prestaties van kinderen.
- ▶ Motiveer: vooral in het secundair onderwijs blijkt motivatie een beperkende factor te zijn in de groei van de wiskundekennis. Als leraar moet je hoge verwachtingen stellen en de actieve deelname van alle leerlingen aanmoedigen. Samen met de ouders, moet je er nadruk op leggen dat inspanning voor wiskunde belangrijk is om vooruitgang te boeken. Succes in wiskunde is niet enkel te wijten aan aanleg! Als leraar moet je een band scheppen met de leerlingen, hen betrekken, en de klas zo organiseren dat de leerlingen hun interesse en engagement niet verliezen in het secundair onderwijs.
- ▶ Betrek de ouders: ouders moeten worden aangemoedigd om hun kinderen te helpen bij het studeren en genieten van wiskunde. Bovendien is de betrokkenheid van de ouders van cruciaal belang voor het succes van remediëring. Hoewel het mogelijk is dat niet alle ouders in staat zijn om de juiste ondersteuning te bieden voor hun kinderen.
- ▶ Hou rekening met leesproblemen: wiskundige prestaties zijn vaak sterk gelinkt met prestaties op andere gebieden zoals leesvaardigheid en wetenschap. Onderzoek heeft de relatie tussen wiskunde leren en taalfactoren zoals begrijpend lezen aangetoond. Hou deze relatie in je achterhoofd wanneer je ondersteuning biedt aan de leerling⁷⁸."

Coöperatief werken geeft kansen aan laag presterende leerlingen. Minder goed presterende leerlingen leren van de betere leerlingen en deze laatste hebben er ook baat bij doordat ze hun minder sterke teamgenoten helpen. Bovendien bouwen ze op deze manier een band op die hen kan helpen tijdens het leerproces¹⁵⁷.

Over het al dan niet toepassen van **onderzoekend leren** bij laag presterende leerlingen lopen de meningen uiteen. Enerzijds is er onderzoek dat aantoonde dat onderzoekend leren voor zowel hoog presterende als laag presterende leerlingen geschikt is. Het onderzoekende leren zou net een sterke positieve invloed hebben op leerlingen met een beperkte conceptuele kennis²⁷² en zou volledig aansluiten bij de ambitie om te excelleren in het onderwijs⁷⁷. Anderzijds bestaat er onderzoek dat aantoonde dat bij slecht presterende leerlingen een geleide, expliciete aanpak beter zou werken bij wetenschaps-²² en wiskundeonderwijs¹³⁵. Bovendien zouden deze leerlingen deze aanpak verkiezen¹³⁸ boven een constructivistische aanpak. Dit zou betekenen dat de voorgestelde hervorming in het wetenschapsonderwijs niet noodzakelijk een effectieve methode is voor alle slecht presterende leerlingen²². Daarnaast zouden volgens bepaalde onderzoeken ook hoog presterende leerlingen traditioneel onderwijs verkiezen¹³⁸.

Wat is de invloed van het opdelen in 'clusters' op de motivatie en interesse?

Over de hele wereld worden leerlingen in 'clusters' ingedeeld. Dit kan op verschillende niveaus gebeuren: binnen de klas, enkel voor bepaalde lessen, op klasniveau of op schoolniveau.

De invloed van een dergelijke clustering op de prestatie, de toekomstige schoolloopbaan, het moreel en het geluk van leerlingen is reeds intensief onderzocht²⁴¹. In de onderstaande paragraaf gaan we dieper in op de invloed van "clustering" in de basisschool en in het secundair onderwijs.

In de **basisschool** leidt groeperen volgens bekwaamheid tot een kleine maar positieve impact op het wiskundige redeneren van de goed scorende groep, maar werd de vordering in de andere groepen belemmerd⁷⁸. Het gemiddelde leereffect lijkt klein te zijn en dat geldt zowel voor wiskunde als voor andere vakken. De kwaliteit van het onderwijs en de aard van de leerlingeninteracties blijken de belangrijkste factoren te zijn en dus niet de samenstelling van de klassen. Studies die de effecten van het groeperen volgens bekwaamheid en volgens geslacht in de wiskundeklas onderzochten, toonden geen duidelijke en consistente invloed op de motivatie aan, hoewel het er wel op lijkt dat leerlingen die weten dat ze niet hoog kunnen scoren het moeilijk vinden om hun motivatie te behouden⁷⁸.

In het **secundair onderwijs** bestaan twee contrasterende visies op de invloed van **onderwijsvormen** op de motivatie en interesse van leerlingen. Enerzijds zijn er onderzoekers die suggereren dat het groeperen van leerlingen een positief effect heeft op de motivatie van leerlingen in algemeen vormende richtingen, maar nadelige effecten in de meer praktisch georiënteerde richtingen. Het zelfbeeld van een leerling in de beter presterende klassen zou versterkt worden door de goede prestaties van zijn medeleerlingen. Het zelfbeeld van een leerling zou volgens deze visie bepaald worden door zijn eigen resultaten en door de status van de school en de onderwijsvorm (assimilatie-effect). Dit staat in sterk contrast met recent onderzoek (zie Hoe? 3.8. Evalueren) dat zich focuste op wiskundeonderwijs. Dit onderzoek toonde aan dat eenzelfde leerling een positiever zelfbeeld heeft wanneer hij in een minder goed presterende groep geplaatst wordt, dan wanneer hij een in goed presterende groep geplaatst

wordt, omdat hij zijn resultaat vergelijkt met het groepsgemiddelde. Dit is belangrijk omdat leerlingen die ruim boven het gemiddelde presteren een lage interesse in wiskunde zullen vertonen wanneer de meeste van hun medeleerlingen nog beter presteren²⁴¹. Het bovengenoemde assimilatie-effect treedt dus niet op²⁴¹. Voor leraren betekent dit een uitdaging omdat ze binnen een klasgroep de interesse van alle leerlingen dienen te stimuleren. Toch staan zij niet machteloos. Onderzoek toonde aan dat leraren een positieve invloed hebben op de interesse van leerlingen wanneer ze gebruik maken van uitdagende probleemstellingen en activerende werkvormen en zich focussen op taakgerichtheid en formatieve evaluatie (in plaats van op de prestaties van de leerlingen via summatieve evaluatie)²⁴¹.

Leerlingen die nog niet klaar zijn voor abstracte wiskunde kunnen dat op latere leeftijd wel zijn. Voor hen kan het zalmmodel nuttig zijn. Het zalmmodel creëert de mogelijkheid om door een schakelprogramma terug aan te sluiten bij een meer abstract niveau en bij studierichtingen waar dat abstracte niveau nodig is²⁴⁶.

4.1.3. Welke leerstijlen bereik je met STEM-onderwijs?

In dit hoofdstuk behandelen we de onderzoeksresultaten betreffende leerstijlen. Daarbij willen we eerst en vooral de kanttekening maken dat recent onderzoek het bestaan van leerstijlen in twijfel trekt. Of zoals we in een recent artikel lezen: "Kortom, er bestaat momenteel geen empirische rechtvaardiging om onderwijs aan te passen op maat van de zogenaamde leerstijlen van leerlingen. Opvoeders moeten zich in plaats daarvan richten op het ontwikkelen van de meest effectieve en samenhangende manieren om bepaalde inhouden aan te brengen ..." ²⁰⁵ (p.635)

Toch willen we de onderzoeksresultaten in verband met leerstijlen niet weglaten voor de volledigheid van deze review. Onderzoekers geloven dat de leerstijl een invloed heeft op de manier waarop leerlingen de leeromgeving waarnemen, de manier waarop ze informatie opnemen en herinneren en hun uiteindelijke leerresultaat²⁴⁶. In een klasomgeving is het van belang leerlingen met verschillende leerstijlen aan te spreken.

i

De vier leerstijlen volgens Kolb:

- ▶ Analytische leerlingen (of denkers) zijn analytisch, technisch, logisch, rationeel en kritisch. Ze zijn vaak ook prestatiegericht;
- ▶ Planmatige leerlingen (of beslissers) zijn georganiseerd, gecontroleerd, planmatig, gestructureerd en hebben oog voor detail. Ze zijn vaak taak- en productgericht;
- ▶ Sociale leerlingen (of doeners) zijn zintuiglijk, emotionele, sociaal en houden van symboliek. Zij zijn gedreven door waarden en gevoelens;
- ▶ Fantasierijke leerlingen (of dromers) zijn visueel, innovatief, creatief, fantasierijk, conceptueel, flexibel en intuïtief. Ze zijn ook speels, nemen graag risico's en zijn onafhankelijk²⁴⁶.

Onderzoek toont aan dat zowel bij de onderzoekende^{157, 246} als de ontwerpende²⁵⁴ aanpak de vier leerstijlen van Kolb aangesproken worden en de motivatie stijgt om verschillende redenen. Ten eerste creëert onderzoekend en ontwerpend leren kansen om coöperatief aan de slag te gaan. Onderzoek toont aan dat coöperatieve werkvormen het leren stimuleert bij alle leerstijlen^{246, 254}. Door groepjes te vormen waarin kinderen met verschillende leerstijlen bij elkaar gebracht worden, kunnen ze elkaar aanvullen en gebruik maken van elkaars sterke kanten. Bovendien draagt het vormen van gemengde groepen bij tot de begripsvorming door de belangrijke sociale interactie tussen medeleerlingen²⁵⁴. Ten tweede kunnen leerlingen, naast hun geprefereerde denkstijl, ook gebruik maken van de andere denkstijlen²⁴⁶. Ten slotte worden deze activiteiten vaak gecombineerd met andere werkvormen zoals groepsdiscussie, demonstratie, open werk en experimenteractiviteiten, waardoor het geheel opnieuw aansluit bij de verschillende leerstijlen²⁴⁶. Ook binnen het wiskundeonderwijs is het mogelijk de vier leerstijlen tijdens verschillende leerfasen aan te spreken: concreet ervaren, reflecteren, abstraheren en experimenteren. De abstracte inhoud in wiskunde kan voor leerlingen toegankelijker gemaakt worden door in te spelen op de verschillen in leerstijlen²⁶⁶.

Ook wat betreft de beroepsoriëntatie naar wetenschap en techniek onderscheidt men vier analoge types¹⁷⁷. Deze types worden op verschillende manieren gemotiveerd voor een carrière in wetenschap en techniek:

- ▶ De concrete bètatechnicus staat het minst negatief tegenover STEM-vakken. Leerlingen met dit profiel vinden het vakken met diepgang, waarbij ze veel moet nadenken. Bij deze groep is het belangrijk om in je lessen te focussen op de toepassingen: Wat kun je ermee doen en worden?
- ▶ De carrière bèta moet je in je lessen kennis laten maken met succesvolle werknemers uit die sector. Laat bijvoorbeeld een productontwikkelaar een gastles geven over het ontwerpproces van een nieuw product (bijvoorbeeld kauwgom). Dit motiveert de leerlingen om later in deze branche (voedingsindustrie) een opleiding te volgen.
- ▶ De mensgerichte generalist staat op zich niet negatief tegenover het exacte onderwijs, maar ambieert niet direct een baan in deze richting. Juist hen moet je laten zien wat het belang is van een technisch beroep. Laat de menselijke kant van techniek zien: hoe helpt techniek mensen? Koppel de inhoud aan medische verzorging, of koppel het vak scheikunde aan het menselijk lichaam, werking van de hersenen en geneeskunde.
- ▶ De non bèta zien het nut niet in van STEM-vakken. Hen moet je steeds weer laten zien waarom het belangrijk is dat zij bepaalde kennis en vaardigheden opdoen. Koppel je les techniek bijvoorbeeld aan design, architectuur en kunst.

Besluit

Onderwijs dient gericht te zijn op alle leerlingen. De leraar dient iedereen te betrekken, wat een uitdagende taak is. De verschillen tussen jongens en meisjes bestaan. Het is belangrijk dat je je als leraar daar bewust van bent en daar bewust mee omgaat in de klas: enerzijds door inhoud te variëren zodat je inspeelt op leerlingen met verschillende belangstellingsgebieden (meisjes én jongens) en anderzijds door rekening te houden met de verschillen in attitudes (zelfvertrouwen).

Daarnaast is het ook belangrijk om rekening te houden met de verschillen in prestatieniveau van de leerlingen: differentiëren in niveau en aanpak komt de zwakkere én sterkere leerling ten goede. Bovendien is het van belang om samen met de leerlingen te focussen op taakgerichtheid (en niet op prestatiegerichtheid), wat de leerling met een lager prestatieniveau motiveert om betrokken te blijven bij het STEM-onderwijs.

HOOFDSTUK V

ROL VAN DE LERAAR

5.1. Wat wordt verwacht van een STEM-leraar?

Notwithstanding the influence of factors such as socio-economic status, home, and community, student learning is strongly influenced by what and how teachers teach. - Helen Timperley (2008)

In dit onderdeel gaan we specifiek in op wat verwacht wordt van een leraar zodat hij de motivatie en de interesse van leerlingen voor STEM-disciplines verhoogt. Onder een leraar verstaan we de leraar wetenschap, de leraar techniek, de leraar wetenschappen, de leraar in de basisschool, de zorgleraar, kortom elke leraar die binnen STEM-onderwijs een rol opneemt in de begeleiding van de leer- en ontwikkelprocessen van kinderen en jongeren. In wat volgt bekijken we de taak van de leraar binnen STEM-onderwijs meer in detail, om vervolgens de professionalisering van deze leraar onder de loep te nemen.

5.1.1. Voldoe je als STEM-leraar?

De leraar blijkt binnen STEM-onderwijs heel belangrijk te zijn¹³⁵. Er wordt zelfs gesproken over leraren als hoekstenen in de vernieuwing van STEM-onderwijs⁷⁷. De leraar moet vooral gezien worden als de bewaker van kwaliteit, de begeleider in het aanscherpen van de kritische zin van leerlingen en het bijsturen waar nodig. Hij introduceert het probleem en de aanpak, maar de uitwerking zit bij de leerlingen zelf ("eigenaarschap ligt bij de leerling")^{9, 52, 109, 161}. Leraren moeten zodanig lesgeven dat alle leerlingen geïnspireerd worden en dat hun inzicht in STEM-inhouden en -vaardigheden vergroot⁵¹. Hierbij komen strategieën zoals het stimuleren van vragen, dialoog en discussie, het hanteren van een onderzoekende aanpak en het bevorderen van samenwerkend leren en een probleemoplossende aanpak naar voor (zie 3. Hoe?).

Om dit te kunnen doen moet de leraar beschikken over voldoende kennis en inzicht. STEM-leraren moeten een grondige kennis hebben van het onderwerp dat ze geven⁵¹. Ze moeten daarenboven inzicht hebben in het leren van leerlingen binnen deze disciplines, in misconcepties die leerlingen hebben en ontwikkelen én in strategieën die inspelen op de veranderende behoeften van de leerlingen⁵¹. Om bijvoorbeeld over te stappen naar een onderzoekende aanpak moet de leraar zich bewust zijn van mogelijke problemen die zich kunnen voordoen in toekomstige onderzoekende activiteiten¹¹⁵. We denken bijvoorbeeld aan het nog niet onmiddellijk uitvoeren van open onderzoek door een groep leerlingen

die deze aanpak niet gewoon is. Om een duidelijk overzicht te hebben van wat fout kan lopen bij een open onderzoekende aanpak, verwijzen we graag naar paragraaf 'Hoe? 3.2. Onderzoekende aanpak'.

Verder moet een leraar inzicht hebben in het bevorderen van samenwerkend leren en probleemoplossend denken, het voeren van dialoog en discussies, het toepassen van formatieve evaluatie, werkelijkheidsnabij onderricht, enz...

Ook het belang van een goede relatie tussen leraar en leerling wordt in de literatuur duidelijk aangehaald^{187, 230}. Interpersoonlijke relaties (meer betrokkenheid van de leraar en meer individuele contacten) hebben een invloed op de motivatie en de resultaten van leerlingen¹⁸⁷. Groen en partners⁹¹ spreken van een leraar die vertrouwen en durf geeft, die interesse aanwakkert, die leerlingen persoonlijk weet aan te spreken, die enthousiast en motiverend lesgeeft. Uit een studie in Australië²³⁰ blijkt dat er bij de overgang van lager naar secundair, een aanzienlijke verandering is in de organisatie van de school, het curriculum en de relatie leraar-leerling. De leerlingen uit de studie, vooral de meisjes, waren over het algemeen ontgoocheld over de onderwijsstrategieën die worden gebruikt in de wetenschappelijke vakken in het secundair onderwijs en ze betreuren het verlies van de nauwe relatie tussen leerling en leraar uit de lagere school. Hun opvatting was dat wetenschap in de middelbare school niet was wat ze ervan verwacht hadden, nl. dat wetenschap in het secundair spannend, leuk, hands-on en uitdagend zou zijn. Deze ervaring kan een gevolg hebben op hun verdere studiekeuze en latere carrière.

5.1.2. Wat betekent dit voor de professionalisering van leraren?

Goed STEM-onderwijs vraagt veel van leraren. Om effectief te zijn, moeten leraren beschikken over inhoudelijke kennis en de expertise om deze inhoud op zodanige manier te onderwijzen en te begeleiden dat alle leerlingen geïnspireerd zijn en een hoger inzicht bekomen in STEM-inhouden en -vaardigheden⁵¹. Leraren die onvoldoende voorbereid zijn, zullen zich oncomfortabel voelen bij het geven van de inhouden en het hanteren van minder traditionele werkvormen en onderwijssettings^{51, 97} (zie alle aanpakken die aan bod komen onder 3. Hoe?).

Schraw et al.²¹⁶ geven niet toevallig aan dat vooral leraren met geavanceerde epistemologische overtuigingen (deze leraren hebben de overtuiging dat kennis wijzigt en moet gepersonaliseerd worden door ervaring), onderzoek en argumentatie bevorderen door gebruik te maken van strategieën zoals debat, argumentatie en groepsprojecten die de synthese van ideeën bevorderen. Onderzoek leert ons verder dat dergelijke expert-leraren door middel van co-teaching deze geavanceerde redeneringen en argumentatievaardigheden bij andere leraren kunnen promoten²¹⁶.

Het is echter zo dat nog steeds niet alle leraren overtuigd zijn van onderzoekende en probleemoplossende aanpakken. Er is nog altijd, vooral in het secundair onderwijs, de overtuiging dat dergelijke leerling-gestuurde aanpakken ten koste gaan van de inhoud. Het zou zinvol zijn om leraren te laten deelnemen aan discussies over de vraag wat wetenschap en wiskunde eigenlijk zijn en waarom leerlingen ze moeten bestuderen¹⁶².

Het is weliswaar zo dat een verandering in pedagogie gepaard moet gaan met een verandering in inhoud en curriculum⁹⁸. Er is dus zeker nood aan 'big ideas' (zie 2. Wat?).

In verschillende studies die in deze review aan bod kwamen, kregen de leraren die betrokken waren in het uittesten van een bepaalde aanpak, een kortere tot langere opleiding. Professionele ontwikkeling is dus nodig om tot een andere aanpak te komen¹⁶¹.

Professionele ontwikkeling, wat is belangrijk?

Er is nood aan professionele ontwikkeling die zich toespitst op de vakdidactiek en algemene didactiek van leraren en bijvoorbeeld niet alleen op inhoud²²⁵. Dit wordt bevestigd door Kilpatrick en Swafford¹²⁶. Zij geven aan dat leraren vormingen moeten volgen die wiskunde (inhoud), het denken van leerlingen en aanpakken integreren.

Uit de literatuur⁷⁸ omtrent strategieën en methodes binnen het vak wiskunde, blijkt dat onderzoek heeft aangetoond dat de correcte manier om wiskunde te geven niet bestaat. Leraren moeten die methodes selecteren die werken binnen hun context, voor hun leerdoel en ook passend bij hun eigen onderwijsstijl. Professionele ontwikkeling zou zich moeten focussen op verschillende methodes en daarbij leraren ondersteunen in het nemen van beslissingen over welke methode het best wordt angewend in een bepaalde context en waarom.

Niet alleen binnen wiskunde is het belangrijk om inhoud en pedagogische aanpak te integreren. Tijdens het vijf jaar durende 'SciencePALs' programma²²⁰ kregen de deelnemende leraren (lager onderwijs) ongeveer 110 uren professionele training om zowel hun inhoudelijke kennis van wetenschap als hun pedagogisch-didactisch inhoudelijke kennis te verhogen.

In een studie van Mant et al.¹⁶¹ ligt de klemtoon in het professionaliseringsprogramma eveneens op strategieën, omdat deze noodzakelijk zijn om de nieuwsgierigheid en het wetenschappelijk inzicht van leerlingen te bevorderen. In elke school namen twee leraren deel aan de vorming: een wetenschapscoördinator en een klasleraar (zesde leerjaar). De leraren woonden acht dagen en vier twilight sessies bij in de universiteit en dit verspreid over verschillende tijdstippen doorheen het hele schooljaar. De leraren kregen ook tijd om samen te werken op school en hun lesaanpak voor te bereiden. Verschillende strategieën werden geïntegreerd in het professionaliseringsprogramma, zoals strategieën om de getalenteerde leerlingen uit te dagen, strategieën om leerlingen cognitief uit te dagen, praktische wetenschapslessen met tijd en ruimte om na te denken en te discussiëren. De deelnemende leraren oefenden en bespraken de verschillende strategieën. Deze professionalisering resulteerde in wetenschapslessen waarin meer tijd werd besteed aan het bediscussiëren van wetenschappelijke ideeën, waarin er een verhoogde aandacht was voor het bevorderen van metacognitie, waarin meer tijd werd besteed aan praktisch werk en onderzoek, waarin notities van leerlingen doelgericht waren en ze minder schreven.

Uit de studie van Murphy en Kilfeather¹⁸⁰ blijkt duidelijk dat de leerlingen uit klassen van leraren die specifiek getraind waren in 'Nature of science'-activiteiten, een meer positieve houding hebben tegenover hun wetenschapslessen dan leerlingen die geen les genoten van leraren die hierin getraind waren. De leerlingen die betrokken waren in en reflecteerden over Nature of science-activiteiten, vertelden over hun wetenschapslessen in de zin van 'aan wetenschap doen'. De vorming van de leraren was een cursus die verliep over meerdere dagen, waarbij de leraren zelf 'Nature of Science'-activiteiten uitvoerden (zie Wat? 2.1.5. Nature of Science).

Uit het bovenstaande blijkt dat een professionalisering of nascholing van één dag niet volstaat. Leraren moeten zich levenslang vormen. Dit kan onder verschillende vormen. Bijvoorbeeld Kilpatrick en Swafford¹²⁶ doen een pleidooi voor het organiseren van studiegroepen op school die focussen op onderwijsaanpakken in de klas. Het is ook interessant om met collega's in overleg te gaan over het ontwikkelen van vaardigheden en over wiskundige vaardigheden van leerlingen. Ze opperen het idee om een mentor te worden van een collega om zo wiskunde vaardig te leren onderwijzen.

Het vormen van een lerende gemeenschap wordt ook naar voor geschoven in een studie uit Taiwan²⁷³. De onderzoekers suggereren om samenwerkingsverbanden op te richten tussen wetenschappers en wetenschapsleraren van lager en secundair onderwijs. Leraren lager onderwijs kunnen hun partners tips geven over lesgeven terwijl wetenschappers de leraren kunnen helpen bij het verwerven van inzicht in de wetenschappelijke kennis.

Uiteraard zouden we nog veel meer studies kunnen aanhalen waarin strategieën worden besproken om leraren en toekomstige leraren te professionaliseren in STEM-disciplines. De focus van deze review ligt echter niet op aanpakken binnen nascholingen en lerarenopleidingen. Dit zou het onderwerp kunnen zijn van een volgende review.

In verband met de professionalisering van leraren kunnen we wel de review 'De leraar: professioneel leren en ontwikkelen' van Jo Denis en Jan Van Damme (Acco, 2010) aanraden.

BESLUIT

Besluit

Deze praktijkgerichte literatuurstudie heeft als doel leraren en toekomstige leraren lager onderwijs en secundair onderwijs (eerste en tweede graad) een kritisch overzicht aan te bieden van effectieve leeromgevingen op het gebied van wiskunde, techniek en wetenschappen. Met effectieve leeromgevingen wordt in deze studie  beld, leeromgevingen die de interesses, motivatie, nieuwsgierigheid en het zelfvertrouwen van meisjes en jongens voor wetenschap, techniek en wiskunde aanwakkeren en bij voorkeur ook effect hebben op hun leerprestaties.

In deze studie kozen we er voor om afzonderlijk in te gaan op het Wat? Hoe? en Wie?, toch zal je merken dat ze niet van elkaar kunnen gescheiden worden. De verschillende onderdelen in deze studie zijn dan ook sterk met elkaar verbonden. Om een voorbeeld te geven: een effectieve en motiverende onderzoekende aanpak is niet mogelijk als je als leraar de leerlingen geen vrijheid geeft, als je slechts een beperkte tijd voorziet voor hands-on activiteiten en groepsgesprekken, als je daarenboven een beperkt aantal materialen voorziet en summatieve evaluatie toepast met focus op feitenkennis uit het handboek. Toch kun je stellen dat je een aantal activiteiten hebt uitgevoerd waarvan je weet dat ze motiverend kunnen zijn, met name hands-on activiteiten en groepsgesprek. Kiezen voor a betekent dus ook nadenken over b, c en d. Op het einde van dit besluit geven we een overzicht van kenmerken van effectieve leeromgevingen binnen STEM-disciplines.

Deze studie beschrijft aanpakken die kunnen worden gebruikt bij jongeren tussen acht en zestien jaar oud. Aanpakken die in het hoofdstuk "Hoe?" beschreven zijn, kunnen dikwijls toegepast worden bij verschillende leeftijden. Ook kunnen dezelfde onderwerpen in meerdere leeftijdsgroepen aan bod komen. Wel zullen leerlingen van jongere leeftijd vaak iets meer begeleiding vragen dan oudere leerlingen. Bij jongere leerlingen zal het onderwerp minder diepgaand worden uitgewerkt dan bij oudere leerlingen. Dit hoeft echter geen algemene regel te zijn. Veertienjarige leerlingen die bijvoorbeeld nog nooit hebben samengewerkt, zullen hierin sterk begeleid moeten worden. Daarnaast is het denkbaar dat achtjarige leerlingen tot diepgaande groepsgesprekken komen en elkaar ondersteunen bij het verwerken van concepten, indien ze dit reeds toepassen vanaf een leeftijd van vier jaar.

Deze studie belicht de disciplines wetenschap, wiskunde en techniek. Vanuit STEM is er het pleidooi om deze disciplines meer geïntegreerd te bekijken en spreekt men over STEM-onderwijs. Onze zoektocht naar bronnen waarin een interdisciplinaire aanpak is beschreven en onderzocht, leverde echter weinig resultaat op. Er zijn wel indicaties dat geïntegreerd werken leidt tot een verhoogde motivatie en inzicht, maar de meeste studies die in deze publicatie verwerkt zijn, focussen op één discipline. Er is nog onvoldoende empirisch onderzoek gedaan. De publicaties die wel aandacht hebben voor een integratie van disciplines zijn vaak project-gebaseerd of bestaan uit meerdere lessen. Denk maar aan het project

waarin leerlingen lager onderwijs een diertuin moeten ontwerpen en bouwen²⁵⁵ of leerlingen secundair onderwijs een driewieltandem ontwerpen en bouwen²⁵⁷. Telkens gaat het hier om ontwerp en worden techniek, wetenschap en wiskunde gecombineerd.

Wat we op basis van deze literatuurstudie wel kunnen doen is een aantal belangrijke kenmerken van leeromgevingen naar voor schuiven die de motivatie, interesse en nieuwsgierigheid van leerlingen lager en secundair zullen verhogen binnen STEM-disciplines, al dan niet geïntegreerd.

Wat?

Welke inhoud zullen we behandelen in STEM-onderwijs? Een zorgvuldige afweging over wat het doel van onderwijs is, is hierbij noodzakelijk. Het basisidee is volgens ons dat leerlingen in staat moeten zijn om te gebruiken wat ze leren. Daarvoor moeten ze uiteraard de belangrijkste concepten begrijpen, een brede achtergrond hebben (ter ondersteuning) en weten hoe ze dit inzicht effectief kunnen toepassen. We pleiten dus voor zowel voldoende kennis als voor inzicht, om zo een transfer naar een brede waaier aan toepassingen mogelijk te maken.

De verzuchting "Waarom moeten we dit kennen?" klinkt velen niet vreemd in de oren. Leerlingen ervaren STEM-onderwijs vaak als irrelevant en weinig zinvol. Authentieke contexten, probleem-gebaseerd onderwijs, projectonderwijs en geïntegreerd werken kunnen hier voor een stuk aan tegemoet komen. Deze contextuele omkadering van de leerinhouden maken het geleerde betekenisvol, wat op zich motiverend werkt en onmiddellijk een antwoord biedt op bovenstaande vraag.

Een veelgehoorde klacht is dat de leerplannen overvol zitten. Daardoor ligt het tempo hoog, wordt er vaak gekozen voor frontaal onderwijs en wordt onvoldoende tijd vrijgemaakt om misconcepties of inzichtelijke problemen die leerlingen hebben grondig aan te pakken, waardoor een aantal leerlingen mentaal afhaken. Leerinhouden zouden echter moeten geselecteerd (of kritisch bekeken) worden in functie van een aantal belangrijke concepten en inzichten die leerlingen in staat stellen de wereld waarin ze leven te begrijpen. Eén suggestie die we terug vonden in de literatuur is om de leerplaninhoud flexibeler te maken waardoor leraren de tijd krijgen om basisideeën (o.a. 'ten big ideas') op zo een manier aan te brengen dat leerlingen ze ten volle inzichtelijk begrijpen en dus ook langer meedragen. Daarnaast kan er ook in het lessenrooster meer ruimte voorzien worden om onderzoekend en ontwerpend aan de slag te gaan. De bovenstaande verzuchting van de leerlingen leidt ook tot een verkeerd beeld over hoe wetenschap, wiskunde en techniek werken en wat ze precies doen. Wetenschap leidt niet tot een absolute waarheid; dé wetenschappelijke methode bestaat eigenlijk niet ... Sommige artikels pleiten daarom voor STEM-onderwijs waarin ideeën over wetenschap en techniek (Nature of Science) een expliciete plaats krijgen binnen het curriculum.

Hoe?

Het beeld dat leerlingen hebben van de technische beroepen of de wetenschapper is vaak een vertekend stereotiep beeld. Dit beeld dient bijgesteld te worden. Dit kan door ze in contact te brengen met mensen uit de bedrijfswereld, door rolmodellen te bespreken ..., maar ook door duidelijk te maken dat de huidige high-tech maatschappij niet mogelijk was geweest zonder innovatieve, creatieve denkers.

Door creatief denken een plaats te geven in de lessen wetenschap en techniek ervaren de leerlingen dat ook zij dat innovatieve inzicht hebben en dat ook zij tot nieuwe passende ontwerpen kunnen komen. Bovendien is het beeld dat leerlingen hebben van wetenschap vaak dat van starre inhouden die niet meer veranderen. Toch is wetenschap een dynamisch gegeven dat ontstaan is en gegroeid is dankzij de nieuwsgierigheid en inventiviteit van een gemeenschap van onderzoekers en technici. Door 'Nature of Science' en een onderzoekende aanpak met aandacht voor hands-on activiteiten en simulaties in de lessen te integreren, ervaren leerlingen dat zijzelf tot wetenschappelijke inzichten kunnen komen en deel kunnen uitmaken van deze gemeenschap van onderzoekers. Het expliciet integreren van 'Nature of Science' en creatief denken in het STEM-onderwijs staat nog in zijn kinderschoenen. Op dit vlak is dus zeker nog ruimte voor onderzoek: In welke mate beïnvloeden deze twee aspecten het beeld van leerlingen van STEM-onderwijs? Leidt dit op termijn tot een verhoogde instroom in technisch-wetenschappelijke richtingen?

Kritisch denken is een kwaliteit die onmisbaar is om een weg te vinden in de overvloed van informatie die digitaal of op papier te vinden is. Kritisch denken is een vaardigheid die je niet van nature uit bezit of die je impliciet tijdens de lessen verwerft. Uit onderzoek blijkt dat het expliciet werken aan kritische denkvaardigheden noodzakelijk is om deze bekwaamheid te verwerven. Daarom is het ontwikkelen van een gerichte onderwijsaanpak om aan deze competentie te werken noodzakelijk. Het leren vragen stellen (aan elkaar, zichzelf) en het in vraag stellen van onderzoeksresultaten kan parallel daaraan gebeuren. Ook leren argumenteren, discussiëren en debatteren sluit aan bij deze competentie.

Het al dan niet succesvol coöperatief werken van leerlingen hangt samen met de schoolcultuur en de mate waarin leerlingen dit gewoon zijn. In de Finse cultuur is het coöperatieve werken sterk ingeburgerd en beseffen leerlingen dat ze van en aan elkaar kunnen leren. Sterkere leerlingen helpen zwakkere leerlingen en begrijpen dat ze daardoor zelf meer inzichten verwerven. In een competitieve schoolcultuur kan deze positieve samenwerking in het gedrang komen. Het is dus van belang dat leerlingen al zo jong mogelijk kennis maken met de voordelen van samenwerkend leren.

De zelfsturing van leerlingen bij het leren is in onze complexe maatschappij een sleutelcompetentie. Het is dan ook een noodzaak om expliciet aandacht te besteden aan deze competentie. Het mag niet bij vrijblijvende tips van de leraar blijven, ook hier is een geïntegreerde aanpak van alle aspecten van dit complex proces noodzakelijk. Een leerling wordt immers niet vanzelf zelfgestuurd, maar een volgehouden leerlijn is daarbij noodzakelijk. Daarnaast is een verdere implementatie van formatieve evaluatie een noodzaak. Evalueren om te leren. Zo leren leerlingen welke stappen ze zelf moeten zetten om bepaalde leerdoelen te bereiken. Het is belangrijk dat leerlingen daarbij beseffen dat fouten maken mag en dat dit net mogelijkheden schept om het leerproces te verdiepen.

Om de doelstellingen van goed STEM-onderwijs te bereiken zijn er ook een aantal randvoorwaarden waaraan voldaan moet worden: voldoende tijd, ruimte en leermiddelen. De implementatie van de onderzoekende en ontwerpende aanpak en de ondersteuning van dit leerproces kan maar gebeuren mits het gebruik van doeltreffende leermiddelen, zowel digitaal als niet-digitaal. ICT kan het leerproces ondersteunen zowel binnen als buiten de klas. Deze leermiddelen blijven middelen om het leerproces te ondersteunen en zijn dus geen doel op zich.

Wie of met wie?

Meisjes hebben door de band genomen een andere leerstijl dan jongens. Ze vertonen vaak minder zelfvertrouwen en zijn meer geïnteresseerd in de menselijke kant van de STEM-disciplines. Als leraar kan je daar op inspelen om zo meisjes sterker te betrekken in de les. Daarnaast is het ook belangrijk meisjes in contact te brengen met positieve rolmodellen en om stereotypen in de les en het lesmateriaal te vermijden.

Op vlak van remediërend werken is al veel werk verricht voor wiskunde⁷⁸. Voor de andere STEM-disciplines echter bestaan er meestal geen specifieke (nationale) initiatieven om de kloof voor laag presterende leerlingen te dichten⁷⁹. Toch bouwt de kennis bij wetenschapsvakken ook stapsgewijs op en is het dus van belang tijdig misconcepties vast te stellen en te remediëren. In deze review hebben we een aantal methodes voorgesteld om misconcepties aan te pakken. Toch is er nood aan gerichte initiatieven om ook op het vlak van wetenschappen en techniek remediëring aan te bieden.

En de leraar?

De leraar is cruciaal in STEM-onderwijs. Het is de leraar die een inschatting moet maken van de beginsituatie van de leerlingen. Onder beginsituatie verstaan we enerzijds de reeds aanwezige kennis, de inzichten die de leerlingen hebben en de aanwezige leerlingendenkebeelden. Anderzijds moet de leraar weten welke aanpakken reeds toegepast zijn bij leerlingen: Zijn ze in staat om open onderzoek uit te voeren, kunnen ze bij groepswork tot consensus komen, durven ze vragen formuleren en in de fout gaan...? Zoals duidelijk blijkt in de studies die werden besproken, hebben leerlingen die nog geen ervaring hebben opgedaan met onderzoekend of samenwerkend leren begeleiding nodig zoniet zal frustratie toeslaan. Nieuwe aanpakken kunnen dan alleen maar tot ontgoocheling leiden, bij zowel leraar als leerling.

Om deze begeleiding op een goede manier te voorzien hebben leraren ondersteuning nodig. Niet alleen om nieuwe aanpakken in te voeren maar eveneens om opgedane ervaringen te delen en te reflecteren over het bekomen resultaat bij leerlingen. Hoewel professionalisering geen doel was van deze studie, blijkt uit de geselecteerde literatuur dat leraren die deelnamen aan het betrokken onderzoek, vaak vooraf deelnamen aan een professionaliseringstraject en tijdens het onderzoek verder gecoacht werden. Soms was er zelfs sprake van een lerende gemeenschap waaraan onderzoekers, ontwerpers en leraren deelnamen.

We doen hier dan ook een pleidooi om een literatuurstudie op te zetten die specifiek focust op de professionalisering van leraren. Bij voorkeur wordt in Vlaanderen eveneens onderzoek opgestart dat nagaat wat het effect van dergelijke professionalisering is op de motivatie, de interesse, nieuwsgierigheid en het leren van leerlingen lager en secundair onderwijs.

Op vlak van de STEM-disciplines zijn er dus nog veel kansen tot onderzoek. Het specifiek uittesten van de in deze review vermelde aanpakken in een typisch Vlaamse klas, is zeker een optie. Ook ontwikkelingsonderzoek, bijvoorbeeld de onderzoeksmatige ontwikkeling van een mobiele digitale leeromgeving die gebaseerd is op een onderzoekende aanpak, is een uitdagend onderzoeksdomrein. We doen hier dan ook een pleidooi om onderwijsonderzoek in de STEM-disciplines te promoten. Met onderwijsonderzoek bedoelen we alle vormen van onderzoek waaronder ontwikkelingsonderzoek, effectenonderzoek, case studies, . Bovendien lijkt het ons zinvol ervoor te zorgen dat er onderzoeksgroepen ontstaan die alle leeftijdsgroepen coveren, van kleuter- tot hoger onderwijs. Zo kunnen de hierboven vermelde principes diepgaand behandeld worden en kan er een leeftijdsgerichte aanpak uitgewerkt worden.

APPENDICES

A.1. Methodologische verantwoording

In deze publicatie hebben we gekozen voor een narratieve aanpak⁵⁰, meer bepaald een synthetisch academische narratieve review. Dergelijke review kunnen we als volgt omschrijven⁵³: "Through the process of synthetic academic narrative review, the researchers locate, compare and combine available studies in order to create new interpretations across the multiple studies." Volgens Collins en Fauser⁵⁰ zijn narratieve reviews over het algemeen goed verstaanbaar en bestrijken ze een breed scala aan topics binnen een bepaald onderwerp. Wat voor ons één van de belangrijkste redenen was om te kiezen voor een narratieve review, het is immers de bedoeling dat de output van deze literatuurstudie toegankelijk is voor leraren. Narratieve reviews geven echter niet noodzakelijk aan hoe de bronnen werden gevonden. Toch hebben we er in deze literatuurstudie voor gekozen om een zekere systematiek in te bouwen zodat het resultaat van de studie kan getraceerd worden.

Wanneer in onderstaande tekst gesproken wordt over onderzoeksteam bedoelen we het basisonderzoeksteam bestaande uit drie onderzoekers waaronder de hoofdonderzoeker en de promotor. Op een aantal momenten werd dit team uitgebreid met andere onderzoekers of experts.

A.1.1. Zoekstrategieën, inbreng in databank en voorwaarden voor inclusie

Om een zo breed mogelijke selectie van studies te verkrijgen, maar anderzijds ook de focus op STEM-disciplines te behouden, maakten we o.a. gebruik van de werkwijze gehanteerd in de Nederlandse studie 'Rekenonderwijs op de basisschool' van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen¹³⁵, zij schreven een vijftigtal experts aan met expertise in het onderwerp van hun literatuurstudie.

Aanvullend deden we een zoektocht in wetenschappelijke databanken en screenen we literatuur uit aanverwante onderzoeksprojecten. De werkwijze die in deze literatuurstudie werd toegepast, bestond dus uit verschillende onderdelen.

Deel 1: Bevragen experts

In een eerste fase werden 77 experts uit de domeinen wiskunde, techniek en/of wetenschapsonderwijs (specifiek lager en secundair onderwijs) gecontacteerd met de vraag om het onderzoeksteam te attenderen op interessante publicaties binnen wiskunde, techniek en/of wetenschapsonderwijs. Tot deze experts behoorden zowel partners uit de associatie UGent die expertise hebben in het onderwerp als nationale en internationale partners uit andere onderzoeken die een link hebben met het onderwerp.

De vraag naar interessante onderzoeken werd enigszins afgebakend door de volgende voorwaarden:

- ▶ Ze gaan over onderzoek dat zich richt op de leeromgeving op het vlak van wiskunde, wetenschap of/en techniek.
- ▶ Ze gaan over onderzoek waar effecten worden gemeten betreffende aanwakkeren van motivatie, nieuwsgierigheid en/of zelfvertrouwen of effect op leerprestaties én waarbij men de effecten voor kinderen en jongeren in de leeftijdsgroep acht tot zestien jaar kan nagaan.
- ▶ Het onderzoek is verricht tijdens de laatste tien à twaalf jaar.

Bijkomend werd aan deze experts gevraagd om in de mate van het mogelijke overzichtsartikels door te geven. Vlaamse experts werden aangezet om zoveel mogelijk Vlaams onderzoek in te brengen.

De deskundigen hebben in totaal 89 publicaties aangedragen, waaronder rapporten en boeken. Omwille van de zinvolheid van de boeken en rapporten voor de review (vermelding van effectieve werkvormen) werd de beslissing genomen om deze niet onmiddellijk uit te sluiten op basis van bovenstaande voorwaarde. Deze beslissing werd ondersteund door de ENW AUGent expertencommissie (zie verder).

Deel 2: Zoektocht in databanken

Aanvullend werden in de belangrijkste internationale elektronische databanken voor onderwijsonderzoek, opzoeken verricht. Er werd gezocht in de databanken van Web of Science en Ebscohost (inclusief ERIC). Gezien heel wat tijdschriften over techniek en wetenschapsonderwijs worden uitgegeven onder Springerlink, werd eveneens gericht in de databank van Springerlink gezocht. Daarnaast hebben we ook systematisch de meest recente artikels van enkele toonaangevende tijdschriften op basis van hun abstract gescreend.

Bij onze zoektocht hebben we volgende Engelse zoektermen, in verschillende combinaties, gehanteerd:

- ▶ science, biology, mathematics, technology, engineering, STEM, STES
- ▶ primary, elementary school, elementary education, secondary education, education, children, learning environment, practices, gender
- ▶ motivation, self-confidence, curiosity, interest, learning performance
- ▶ inquiry based, problem based

Op basis van een snelle screening van de abstracts, aan de hand van jaartal en onderwerp, vonden we 308 extra bronnen. Deze werden ingebracht in een databank en verder geanalyseerd, zie verder.

Deel 3: Aanvullen met bronnen uit voorgaande onderzoeken en dit onderzoek

De geselecteerde publicaties werden aangevuld met literatuur uit voorgaande en lopende onderzoeken die een link hebben met het onderwerp. Op deze bronnen werd dezelfde snelle screening gedaan, dit resulteerde in 43 bijkomende bronnen.

Deel 4: Inbreng in databank en analyse van de publicatie

Inbreng databank

Alle verzamelde bronnen worden stelselmatig ingebracht in een web-gebaseerde databank. Van elke bron worden volgende gegevens ingebracht:

- ▶ **Auteurs-organisatie:** auteur of de organisatie van de publicatie
- ▶ **Jaar:** jaar van publicatie
- ▶ **Titel:** de titel van de publicatie
- ▶ **Tijdschrift, organisatie:** tijdschrift waarin het artikel verscheen, of bij publicatie de organisatie verantwoordelijk voor de publicatie of de uitgeverij.
- ▶ **Volume:** volume van het tijdschrift waar dit artikel verscheen
- ▶ **Issue:** uitgave binnen het volume waar dit artikel verscheen
- ▶ **Pag.:**
 - begin- en eindpagina van het artikel bv. 123-145
 - in geval van een boek of rapport het aantal pagina's bv. 231
- ▶ **Hoe werd dit artikel gevonden** (bv. welke zoektermen, welke expert, sneeuwbal effect)?
- ▶ **Pdf OK:** zit de pdf in de map Literatuur op dropbox?
- ▶ **Abstract:** de abstract van het artikel

Screening en analyse van de publicatie

Elke bron wordt geanalyseerd aan de hand van een bijkomende analysetool gekoppeld aan de web-gebaseerde databank 'te openen via open bespreking'. Het basisonderzoeksteam werd voor deze analyse uitgebreid met drie bijkomende onderzoekers, die allen deze tool gebruikten voor analyse.

De analysetool bestaat uit onderstaande onderdelen:

- ▶ **In review?:** is deze bron geschikt voor onze review? Met andere woorden:
 - valt de leeftijd van de kinderen tussen acht en zestien jaar?
 - gaat het over techniek, wetenschap of wiskundeonderwijs?
 - gaat het over leereffecten en/of attitudes?
- ▶ **Indien uitgesloten. Waarom?:**
 - Wat is de reden waarom dit artikel volgens jou niet thuishoort in onze review? Indien de publicatie niet thuishoort in de review, dienen de onderstaande velden niet verder ingevuld te worden. Indien er toch een relevantie is voor de publicatie omdat de inhoud kan gekoppeld worden aan een andere publicatie, kunnen de velden wel ingevuld worden maar wordt dit hier aangegeven.
- ▶ **Land:** waar werd het onderzoek uitgevoerd/gepubliceerd?
- ▶ **Soort Bron:** hier is er keuze uit zes verschillende opties: boek, guidelines, narratieve review, onderzoeksartikel, rapport, systematische review.
- ▶ **Staal:** Op wie is de interventie uitgevoerd? Hoeveel kinderen (jongens, meisjes), leeftijd of klas? Werd er gebruik gemaakt van een referentiegroep waar geen interventie op gebeurde?
- ▶ **Onderzoeksvraag:** Wat is de onderzoeksvraag/de hypothese/ het doel van het onderzoeksartikel?
- ▶ **Onderzoeksmethode:** Hoe werd het onderzoek uitgevoerd, bv. video-opnames, pre- en post-tests, interviews, ...

- ▶ **Kwalitatief/kwantitatief onderzoek:** Zijn de resultaten van het onderzoek kwantitatief (meetbare resultaten) of kwalitatief (bv. interviews)?
- ▶ **Leeftijdscategorie:** Welke leeftijd hebben de kinderen?
 - 8-12: wil zeggen van acht tot en met twaalf jaar
 - 8&12: wil zeggen: onderzoek op kinderen van acht jaar en op kinderen van twaalf jaar
- ▶ **Onderwijsrichting:** bv. ASO, TSO, BSO, of andere onderwijsrichtingen (in andere landen)
- ▶ **Aantal bronnen review:** Indien het een review betreft. Hoeveel bronnen werden er geanalyseerd voor de review? (indien gekend)
- ▶ **Aanvinken**

☐ Inquiry based	☐ Problem Based	☐ wero	☐ wetenschap_algemeen
☐ fysica	☐ chemie	☐ biologie	
☐ techniek	☐ wiskunde	☐ aardrijkskunde	

Handelt het artikel over bovenstaande zaken. Indien ja, aanvinken. Bij wetenschap, zo specifiek mogelijk aanduiden. Wero omvat ook geschiedenis.

- ▶ **Motivatie/Nieuwsgierigheid/Zelfvertrouwen:** Hierbij komen ook andere attitudes/eigenschappen zoals interesse en self-efficacy aan bod. Trekt het artikel besluiten in verband met de attitudes of attitudewijzigingen tijdens het onderzoek. Heeft de uitgeprobeerde methodiek een positief of negatief effect op de attitudes? Beschrijf!
- ▶ **Leereffect:** Trekt het artikel besluiten in verband met leereffecten tijdens het onderzoek. Heeft de uitgeprobeerde methodiek een positief of negatief effect op de kennis en/of vaardigheden van de leerlingen? Beschrijf!
- ▶ **De kenmerken van een leeromgeving werden opgesplitst in negen aspecten:**
 1. **Leerdoelen:** Welke leerdoelen worden nagestreefd? Bv. Leerlingen kunnen een experiment uitdenken en opstellen.
 2. **Leerinhoud:** Welke leerinhouden worden nagestreefd? Bv. drijven, zinken, zweven; stelling van Pythagoras, ...
 3. **Rol leraar:** Welke rol heeft de leraar? Coach, ondersteunend, leidend, inhoudelijk expert, discussie bevorderend...
 4. **Leeractiviteiten:** Wat gebeurt er aan activiteiten? Experimenten uitvoeren, logboek maken, onderling discussiëren, stappenplannen uitvoeren...
 5. **Groeperingsvorm:** Zijn de leerlingen gegroepeerd of werken ze individueel. Welke coöperatieve werkvorm wordt gebruikt (kan eventueel ook bij leeractiviteit)? Worden de groepjes op specifieke manieren samengesteld? ...
 6. **Toetsing/evaluatie om de leerlingen te begeleiden:** Hoe worden de leerlingen begeleid in hun leerproces? Zijn er formatieve of summatieve evaluatievormen, feedback momenten, individuele begeleiding, ...
 Let op: Hier wordt evaluatie om de leerlingen te begeleiden bedoeld, dus niet een evaluatie om vast te stellen of de interventie (het onderzoek) geslaagd is.
 7. **Locatie:** Gingen de lessen door op een specifieke locatie? Bv. labo, buiten, ...
 8. **Tijd:** Hoeveel tijd werd er gespendeerd aan de lessen tijdens de interventie (uren, weken, ...) Bv. 2 x 2 uur per week gedurende 5 weken.

9. Bronnen Materialen: welke materialen of informatiebronnen werden gebruikt tijdens de lessen? Bv. internet, onderzoeksmateriaal, meetgereedschap, ...

► **Externe factoren:** welke externe factoren (onafhankelijk van het klasgebeuren) kunnen een rol gespeeld hebben bij dit onderzoek? Bv. sociale situatie, peers, thuissituatie, leerlingen met speciale noden (bv. slechthorenden), ...

► **Suggesties leeromgeving:**

Welke suggesties worden in het artikel gegeven met betrekking tot een betere leeromgeving, maar die niet bewezen zijn tijdens het onderzoek! Bv. op basis van een belangrijke conclusie uit het onderzoek, kan de onderzoeker zelf zaken suggereren (eventueel later nog te onderzoeken) gebaseerd op zijn expert knowledge, maar niet gebaseerd op vastgestelde feiten.

► **Belangrijkste conclusies:** Wat zijn de belangrijkste conclusies die vastgesteld werden tijdens dit onderzoek. Conclusies die dus effectief aangetoond zijn!

► **Abstract**

Bij de analyse van de publicaties, werden op basis van het sneeuwbaleffect bijkomende referenties gevonden. Deze interessante referenties in de geselecteerde publicaties werden gescreend op hun bruikbaarheid. Op die manier werden nog 166 publicaties ingebracht in de databank.

Zoals zal blijken uit het deel 'Verwerken van de bronnen in de publicatie' gaf de analyse van een 200-tal bronnen uit de databank voldoende gegevens om een volledig overzicht te maken van alle mogelijke werkvormen, aanpakken en methodes. Bronnen die nadien werden gelezen, onderbouwden eerdere resultaten.

A.1.2. Beschrijving van de verzamelde bronnen

In de databank zitten momenteel 639 referenties naar publicaties. Omwille van de tijdsdruk werden 300 bronnen volledig geanalyseerd en 103 bronnen geanalyseerd op basis van hun abstract. Daarnaast werden tijdens het schrijfproces nog 65 extra bronnen geraadpleegd. Van deze laatste bronnen werd geen analyse meer ingevoerd in de databank.

In deze publicatie hebben we uiteindelijk 295 bronnen geselecteerd. Deze 295 publicaties omvatten 32 boeken, 30 reviews, 28 rapporten, 18 guidelines en 187 onderzoeksartikels.

De taal van de publicaties is voornamelijk Engelstalig (nl. 247 publicaties). Daarnaast gebruikten we ook 38 Nederlandstalige publicaties.

A.1.3. Verwerken van de bronnen in de publicatie

Het verwerken van gegevens uit de databank in de publicatie gebeurde in 4 fasen. Deze fasen worden hieronder in meer detail weergegeven.

Fase 1

Begin juli waren iets meer dan honderd publicaties geanalyseerd. Daarvan waren er 78 bruikbaar voor de review. De betrokken onderzoekers maakten elk op zich een overzicht (mind map) met de gegevens uit de geselecteerde bronnen naar leeftijd, attitudes en leereffect. Het resultaat van dit individuele werk werd samengebracht, voorgelegd aan de expertencommissie, gebruikt om een draft structuur voor de publicatie te maken en om tot eerste conclusies te komen. De onderzoekers hadden ook het gevoel dat de grote lijnen met deze 78 publicaties konden vastgelegd worden. Dit werd naderhand, na lezen van een honderdtal bijkomende publicaties, bevestigd.

Fase 2

De draft structuur, herleid tot negen hoofdonderdelen op advies van de expertencommissie, werd gebruikt om alle geanalyseerde gegevens op een gestructureerde manier te clusteren. Dit wil zeggen dat de gegevens van elke geselecteerde en geanalyseerde bron werden ondergebracht onder één van de titels in de draft structuur. Om de oorspronkelijke bronnen makkelijk terug te vinden werd naast het ingebrachte gegeven het unieke nummer van de bron ingebracht (in de databank kreeg elke bron een eigen nummer). Naarmate er meer bronnen waren geanalyseerd, groeide dit document aan en werd de structuur verfijnd. Het document vormde dus een eerste draft tekst, waarvan de structuur en een gedeelte van de tekst werd voorgelegd aan de toetsgroep.

Fase 3

De structuur van de draft tekst werd grondig aangepast op basis van het advies van de toetsgroep, nl. een zo eenvoudig mogelijke structuur hanteren. Hun voorkeur ging eerder uit naar drie grote onderdelen met verdere onderverdelingen dan naar teveel hoofdtitels. Daarnaast gaf de toetsgroep er de voorkeur aan om te werken met vragen zoals Wat?, Hoe? en Wie? Naar aanleiding van dit advies, besloot het onderzoeksteam deze drie basisvragen verder uit te diepen onder de vorm van deelvragen, in analogie met FAQs. De leraar die de studie leest kan op die manier gericht kijken op welke vraag hij of zij advies wil.

De gegevens uit de bronnen werden geherstructureerd en ondergebracht onder de juiste vragen. In het onderzoeksteam gebeurde een taakverdeling en per vraag werden de gegevens uit de bronnen omgezet naar vlot leesbare teksten.

Fase 4

De geschreven teksten werden nagelezen door een taalexperte, aangepast en voor feedback verstuurd naar zowel leden van de expertencommissie als leden van de toetsgroep. Dit resulteerde uiteindelijk in de literatuurstudie die hier voorligt.

A.1.4. Bewaken van kwaliteit en toepasbaarheid

Om de kwaliteit van de literatuurstudie te garanderen en mogelijke hiaten te vermijden, werd het literatuuronderzoek opgevolgd door een expertencommissie. Deze waakte samen met een toetsgroep eveneens mee over de toepasbaarheid.

De expertencommissie

Leden van het expertisenetwerk AUGent vormden de wetenschappelijke expertencommissie bij de review. Tot de leden behoorden onderwijsonderzoekers en lerarenopleiders uit verschillende soorten lerarenopleidingen van het expertisenetwerk AUGent (geïntegreerde en specifieke lerarenopleiding). In totaal kwam deze expertengroep drie keer samen met een wisselend aantal leden.

De taak van de expertencommissie was tweeledig:

- ▶ Enerzijds adviseerden ze de gehanteerde onderzoeksmethodiek.
- ▶ Anderzijds gaven ze raad in verband met de output van de review meer bepaald over het niveau, de structuur en de stijl van rapportering.

De leden van de expertencommissie verbonden er zich toe om delen van de review kritisch te lezen en van feedback te voorzien, hierbij bekeken ze de literatuurstudie vanuit het standpunt van onderwijspractici.

De toetsgroep

Zoals vermeld in het deel 'Verwerken van de bronnen in een publicatie', werd de draft structuur voorgelegd aan een toetsgroep. Enerzijds werden voor deelname aan deze toetsgroep onderwijspractici uitgenodigd, dit wil zeggen leraren basisonderwijs en secundair onderwijs en pedagogische begeleiders van het basis- en secundair onderwijs. Anderzijds werd de uitnodiging verstuurd naar auteurs van vergelijkbare publicaties. Gezien de lerarenopleiders reeds zetelden in de expertencommissie en verschillende onderzoekers eveneens een taak opnemen in de lerarenopleiding, werd deze groep niet uitgenodigd. In totaal bestond de toetsgroep uit vier deelnemers en de onderzoekers, zowel basisonderwijs als secundair onderwijs was vertegenwoordigd waarvan enkele ook auteur.

De belangrijkste opmerkingen van deze toetsgroep waren de aanpassingen aan de structuur, het vermijden van te specifieke woorden of onderzoeksjargon en het omzetten van onderzoeksgegevens in zo verstaanbaar mogelijke taal. Daarnaast vroegen ze zich af of alle disciplines evenwaardig worden besproken en of alle onderwijsniveaus wel voldoende aan bod komen in de review. Hierop kon het onderzoeksteam jammer genoeg niet bevestigend antwoorden. Het is duidelijk dat techniekonderwijs veel minder aandacht krijgt dan wiskunde- of wetenschapsonderwijs. Daarnaast wordt er weinig gesproken over specifiek technisch of beroepsonderwijs. De meeste studies of onderzoeken verwijzen enkel naar de eerste en tweede graad van het secundair onderwijs zonder verdere specificatie.

A.2. Literatuurlijst en inspirerende suggesties

In deze literatuurlijst zijn drie delen terug te vinden. Het eerste deel is een geannoteerde literatuurlijst met een aantal inspirerende bronnen die we aanbevelen. Het tweede deel bevat een aantal websites met enerzijds meer literatuur, maar met eveneens inspirerende voorbeelden voor de praktijk. Het laatste deel is de volledige literatuurlijst van alle geraadpleegde literatuur en gerefereerde literatuur in deze review.

A.2.1. Geannoteerde literatuurlijst van inspirerende bronnen

- Bavarian State Ministry of Education and Cultural Affairs (2010) SINUS Bavaria. Exploring New Paths in Teaching Mathematics and Science. Beschikbaar op http://sinus.uni-bayreuth.de/math/ISB_SINUS_Bavaria.pdf

Overzicht van een aantal nieuwe aanpakken met betrekking tot wetenschap- en wiskundeonderwijs, waarin aangegeven wordt hoe verbeelding kan gestimuleerd worden, hoe blijvende resultaten kunnen geboekt worden, hoe de verantwoordelijkheid bij de lerende kan versterkt worden en hoe procesevaluatie kan opgevolgd worden. Dit alles wordt ruim gestoffeerd met inspirerende en levensechte voorbeelden.

- De Groof, J., Donche, V., Van Petegem, P. (2012) Onderzoekend leren stimuleren: effecten, maatregelen en principes. Acco, Leuven.

In deze praktijkgerichte literatuurstudie onderwijsonderzoek van de Vlaamse Onderwijsraad worden het onderzoekend leren, het effect ervan en de verschillende fasen in een onderzoekscyclus op basis van het OVUR-model onder de loep genomen. Er wordt een link gelegd tussen onderzoekend leren en de onderzoekscompetentie. De publicatie omvat zowel informatie voor het basis- als voor het secundair onderwijs en is niet specifiek afgestemd op de STEM-disciplines.

- Dochy, F., Schelfout, W., Janssens, S. (Red.) (2003). Anders evalueren. Assessment in de onderwijspraktijk. Lannoo Campus.

Overzichtelijk boek waarin duidelijk gemaakt wordt dat er een nood is aan nieuwe evaluatievormen. Dit vlot leesbaar boek geeft een gestructureerd overzicht van bruikbare formatieve evaluatievormen. Bij elke evaluatievorm wordt duidelijk aangegeven wat ze inhouden en wat de voor- en nadelen zijn. Elke evaluatievorm wordt verduidelijkt met in de praktijk bruikbare voorbeelden. Het boek sluit af met een hoofdstuk rond feedback geven.

- European commission (2007). Science education now: a Renewed Pedagogy for the Future of Europe. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit. Beschikbaar op http://ec.europa.eu/research/science-society/document_library/pdf_06/report-rocard-on-science-education_en.pdf

In dit rapport wordt een analyse gemaakt van de huidige situatie in Europa in verband met wetenschapsonderwijs (in de ruime zin, dus inclusief techniek en wiskunde). Op basis van de huidige initiatieven worden besluiten en aanbevelingen in de richting van een nieuwe pedagogie geformuleerd. In dit rapport wordt aangegeven waarom deze wijziging naar een onderzoekende aanpak nodig is.

- European commission (2011). Mathematics in Education in Europe: Common Challenges and National Policies (Eurydice). Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. Beschikbaar op: http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic_reports/132EN.pdf

Overzichtsrapport met vergelijkende resultaten van alle Europese landen met betrekking tot het wiskundeonderwijs. Voorbeelden uit andere landen geven aan wat nog mogelijk is om het onderwijs in Vlaanderen te verbeteren. Het rapport geeft resultaten, aanbevelingen en wetenschappelijke achtergrond in bevattelijke taal over: het curriculum, didactische aanpak, evalueren, hoe laag presterende leerlingen te betrekken en het belang van professionalisering en een adequate opleiding van wiskundeleraren.

- European commission (2011). Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research (Eurydice). Education, Audiovisual and Culture Executive Agency. Beschikbaar op: http://eacea.ec.europa.eu/education/eurydice/documents/thematic_reports/133EN.pdf

Overzichtsrapport met vergelijkende resultaten van alle Europese landen met betrekking tot het wetenschapsonderwijs. Voorbeelden uit andere landen geven aan wat nog mogelijk is om het onderwijs in Vlaanderen te verbeteren. Het rapport geeft resultaten, aanbevelingen en wetenschappelijke achtergrond in bevattelijke taal over: het prestatieniveau van de leerlingen, promotie van wetenschap, curriculum organisatie en inhoud, evaluatie en het belang van professionalisering en een adequate opleiding van wiskundeleraren.

- Harlen, W. (Red.) (2010). Principles and big ideas of science education. The Association for Science Education. Beschikbaar op: <http://cmaste.ualberta.ca/en/Outreach/~media/cmaste/Documents/Outreach/IANASInterAmericasInquiry/PrinciplesBigIdeasInSciEd.pdf>

Rapport met een pleidooi om het curriculum met betrekking tot wetenschapsonderwijs te veranderen aan de hand van tien sleutelprincipes. Harlen pleit voor een omschakeling van het curriculum waarin tien 'big ideas' en vier ideeën over wetenschapsonderwijs de voorrang krijgen.

- Harlen, W., Deakin Crick, R. (2003). Testing and Motivation for Learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 10(2), 169-207. Beschikbaar op: http://sohs.pbs.uam.es/webjesus/motiv_ev_autorr/lects%20extranjer/efecto%20ev.pdf

Deze review bevat een overzicht van wetenschappelijk onderzoek naar de impact van summatieve evaluatie op de motivatie van leerlingen. Het bewijsmateriaal ondersteunt de visie dat summatieve evaluatie een negatieve impact heeft op de leermotivatie. Op basis daarvan worden een aantal aanbevelingen voor de praktijk en het beleid geformuleerd.

- Gamire, E., Pearson, G. (2006) *Tech Tally: Approaches to Assessing Technological Literacy*. The National Academies Press.

Uitgebreide publicatie over fundamentele principes bij techniek en techniekonderwijs. In deze publicatie wordt een overzicht gegeven van de technische inzichten en kennis die van belang zijn in onze maatschappij. Een hoofdstuk is gewijd aan het ontwerpproces dat volledig beschreven en gekaderd wordt volgens recente inzichten.

- Laevers, F., Heylen, L. (Eds.) (2011) *EE-Cahier 7: Een passie voor wetenschap en techniek. Onderzoekend en ontwerpend leren in de basisschool*. Cego Publishers, Leuven.

Dit EE-cahier geeft een kader voor het werken rond wetenschap en techniek, beschrijft bestanddelen van een krachtige leeromgeving rond wetenschap en techniek, verduidelijkt bevindingen uit flankerend onderzoek en verbindt dit met praktijkvoorbeelden. Aan dit cahier hebben verschillende experts binnen techniek en wetenschapsonderwijs een bijdrage geleverd. Vooral leraren basisonderwijs zullen hier heel wat inspirerende voorbeelden in terug vinden.

- Minstrell, J., van Zee, E.H. (Eds.) (2000). *Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science*. American Association for the Advancement of Science, Washington, D.C. Beschikbaar op: http://www.aaas.org/programs/education/about_ehr/pubs/inquiry.shtml

Diepgaande publicatie over de onderzoekende aanpak. Het werk bestaat uit drie grote delen: Waarom een onderzoekende aanpak? Hoe ziet een onderzoekende aanpak eruit? Wat zijn de mogelijke implicaties van de onderzoekende aanpak bij het leren en in het onderwijs?

- Strubbe, K., D'Haese, B., De Poorter, J., Vanhoe, H. (2012). *Onderzoekskompetent in de klas*. Academia Press, Gent.

Praktische gids voor de vakken biologie, chemie en fysica in het secundair onderwijs. Het aanbrengen van de competentie om onderzoekend aan de slag te gaan, is de kern van het wetenschapsonderwijs. De vertaling naar de klaspraktijk is voor leraar echter niet altijd evident. Dit boek begeleidt de leraar bij dit proces.

- van Graft, M., Kemmers, P. (2007) Onderzoekend en Ontwerpend Leren bij Natuur en Techniek. Basisdocument over de didactiek voor onderzoekend en ontwerpend leren in het primair onderwijs. Stichting Platform Bèta Techniek, Den Haag. Beschikbaar op: <http://www.slo.nl/primair/leergebieden/wereldorientatie/natuur/vtb/LOOLbasis.pdf/>

Bevattelijke publicatie voor het basisonderwijs waarbij onderzoekend en ontwerpend leren naast elkaar geplaatst worden. De rol van de leraar wordt besproken en het geheel wordt verduidelijkt met praktijkvoorbeelden. De publicatie sluit af met voorstellen voor een leerlijn voor onderzoekend en ontwerpend, met verwijzingen naar een wiskunde-, kunst- en taalleerlijn.

- Vanhoof, J., Van De Broek, M., Penninckx, M., Donche, V., Van Petegem, P. (2011) Leerbereidheid van leerlingen aanwakken. Principes die motiveren, inspireren én werken. Acco, Leuven.

Deze praktijkgerichte literatuurstudie onderwijsonderzoek van de Vlaamse Onderwijsraad geeft een interessant overzicht van de factoren die van belang zijn om leerlingen te motiveren, te inspireren en om te werken. De algemene principes hebben we verwerkt in de inleiding van deze review. Voor meer achtergrondinformatie verwijzen we graag naar deze publicatie.

- Van Velzen, J. (2012). Beter leren denken. Garant, Antwerpen.

In dit boek worden op een bevattelijke wijze denkvaardigheden zoals redeneren, onderzoekend denken, creatief denken en kritisch denken ontleed en vergeleken met elkaar en verder verduidelijkt aan de hand van concrete voorbeelden. Op basis van wetenschappelijke inzichten wordt het belang van metacognitief denken verduidelijkt. Het verbeteren van het denken wordt hier weergegeven als een continue lijn van het leren gebruiken van denkvaardigheden tot het metacognitief denken.

A.2.2. Interessante websites

► Pollen

<http://www.pollen-europa.net/>

Website met uitgebreide informatie en praktisch lesmateriaal voor de basisschool om met een onderzoekende aanpak aan de slag te gaan in de klas. Het lesmateriaal is volledig uitgeschreven en er wordt duidelijk aangegeven voor welke leeftijdsgroep de lessen bedoeld zijn. Er is ook materiaal ter beschikking voor beleidsmedewerkers hoe zij de onderzoekende aanpak kunnen implementeren in het onderwijs.

► SINUS

<http://sinus.uni-bayreuth.de/>

SINUS staat voor 'verhogen van de efficiëntie in wiskunde- en wetenschapsonderwijs'. De website biedt achtergrondinformatie en didactische materiaal die aan de grondslag liggen van het SINUS programma: ontwikkelen van een taakcultuur, wetenschappelijk werken, leren van fouten, basiskennis verwerven, cumulatief leren, interdisciplinair werken, meisjes en jongens motiveren, coöperatief en autonoom leren. Het programma verliep in drie fasen: de eerste vijf jaar van het project werd een proefproject gedraaid op 180 scholen, waarna in een tweede en een derde fase nog eens resp. 800 en 1500 scholen.

► Fibonacci-project

<http://www.fibonacci-project.eu/>

Dit project heeft tot doel om onderzoekende aanpakken en leermethodes voor wetenschap en wiskunde te ontwerpen, te testen en te dissemineren in Europese basis- en secundaire scholen. Op de website is inspiratiemateriaal te vinden met betrekking tot deze aanpakken.

► Creative little scientists

www.creative-little-scientists.eu

Dit Europees project richt zich op jonge kinderen tot acht jaar en wil een duidelijk beeld scheppen van de bestaande en mogelijke praktijken om wetenschap en wiskunde te leren gekoppeld aan creativiteit. Het project streeft er ook naar de opgedane kennis te dissemineren naar kleuteronderwijzers en onderwijzers, zodat ze deze op creativiteit gebaseerde benaderingen ten volle kunnen benutten. Op de website is disseminatiemateriaal te vinden.

► Eindtermen, ontwikkelingsdoelen en basiscompetenties

<http://www.ond.vlaanderen.be/curriculum/>

Overzicht van alle eindtermen, ontwikkelingsdoelen en basiscompetenties voor onder andere het basisonderwijs en secundair onderwijs.

A.2.3. Literatuurlijst

- 1 Abrami, P.C., Bernard, R.M., Borokhovski, E., Wade, A., Surkes, M.A., Tamim, R., Zhang, D. (2008) Instructional Interventions Affecting Critical Thinking Skills and Dispositions: A Stage 1 Meta-Analysis. *Review of Educational Research* December, 78, 1102-1134.
- 2 Akcay, H., Yager, R.E. (2010) The impact of a science/technology/society teaching approach on student learning in five domains. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 602-611.
- 3 Alvermann, D.E., Rezak, A.T., Mallozzi, C.A., Boatright, M.D., Jackson, D.F. (2011) Reflective Practice in an Online Literacy Course: Lessons Learned from Attempts to Fuse Reading and Science Instruction. *Teachers College Record*, 113(1), 27-56.
- 4 Anderson, Ch. (2007) Perspectives on Science Learning. In: S. Abell, Lederman, N. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, 3-31.
- 5 Andrade, A. (2011) The clock project: gears as visual-tangible representations for mathematical concepts. *International Journal of Technology and Design Education*, 21, 93-110.
- 6 Apotheker, J., Pol, H. (2002) Samenwerkend leren in de betavakken. In: *Werken aan de kwaliteit van onderwijs in de betavakken. Reeks proefschriften en bundels*, 6. Groningen: UCLO, RuG.
- 7 Arsenault, J., Godsoe, S., Holden, C., Vetelino, J. (2006) Work in progress - Integration of sensors into middle school classrooms. *Frontiers in Education 36th Annual Conference (IEEE Cat. No.06CH37781C)*.
- 8 Aschbacher, P., Alonzo, A. (2006) Examining the Utility of Elementary Science Notebooks for Formative Assessment Purposes. *Educational Assessment*, 11(3), 179-203.
- 9 Attard, C. (2009) "My favourite subject is maths. For some reason no-one really agrees with me": student perspectives of mathematics teaching and learning in the upper primary classroom. *Mathematics Education Research Journal*, 23(3), 363-377.
- 10 Baptist, P. (2011) On Going for a Walk with an Artist and a Famous Mathematician. *Sinus international. Towards New Teaching in Mathematics*, 1(11), 1-14.
- 11 Baptist, P. (2011) Towards New Teaching in Mathematics. *Sinus international. Towards New Teaching in Mathematics*, 1(2), 1-10.
- 12 Baptist, P. (2011) Experiencing Mathematics. *Sinus international. Towards New Teaching in Mathematics*, 1(4), 1-30.
- 13 Barak, M. (2009) Idea focusing versus idea generating: a course for teachers on inventive problem solving. *Innovations in Education and Teaching International*, 46(4), 345-356.
- 14 Barak, M. (2010) Motivating self-regulated learning in technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 20(4), 381-401.

- 15 Barak, M., Dori, Y.J. (2011) Science Education in Primary Schools: Is an Animation Worth a Thousand Pictures? *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 608-620.
- 16 Barak, M., Mesika, P. (2007) Teaching methods for inventive problem-solving in junior high school. *Thinking Skills and Creativity*, 2(1), 19-29.
- 17 Barkatsas, A., Kasimatis, K., Gialamas, V. (2009) Learning secondary mathematics with technology: Exploring the complex interrelationship between students' attitudes, engagement, gender and achievement. *Computers & Education*, 52(2), 562-570.
- 18 Barmby, P., Kind, P.M., Jones, K. (2008) Examining changing attitudes in secondary school science. *International Journal of Science Education*, 30(8), 1075 -1093.
- 19 Bartley, J. E., Mayhew, L. M., Finkelstein, N. D. (2009) Promoting Children's Understanding And Interest In Science Through Informal Science Education. *Physics Education Research Conference*.
- 20 Beeker, A., Canton, J., Trimbos, B. (2008) Scaffolding Technieken om MVT leerlingen hoger te laten reiken. SLO, Enschede.
- 21 Bell, L., Smetana, L., Binns, I. (2005) Simplifying inquiry instruction: assessing the inquiry level of classroom activities. *Science Teacher*, 72(7), 30-33.
- 22 Bell, R.L., Trundle, K.C. (2008) The use of a computer simulation to promote scientific conceptions of moon phases. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(3), 346-372.
- 23 Bencze, L., Sperling, E., Carter L. (2012) Students' Research-Informed Socio-scientific Activism: Re/Visions for a Sustainable Future. *Research in Science Education*, 42(1), 129 -148.
- 24 Ben-Hur, M. (2006) Concept-Rich Mathematics Instruction: Building a Strong Foundation for Reasoning and Problem Solving. Association for Supervision and Curriculum Development, Alexandria, Virginia.
- 25 Benson, C., Lunt, J. (2011) We're creative on a Friday afternoon: investigating children's perceptions of their experience of design & technology in relation to creativity. *Journal of Science Education and Technology*, 20, 679-687.
- 26 Beyers, R. N. (2010) Nurturing creativity and innovation through FabKids: a case study. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 447-455.
- 27 BMBF (2010) SINUS Bavaria. Exploring New Paths in Teaching Mathematics and Science. Bavarian State Ministry of Education and Cultural Affairs.
- 28 Boekaerts, M., Simons, P.R.J. (1995) *Leren en instructie: psychologie van de leerling en het leerproces*. Uitgeverij Van Gorcum, Assen.
- 29 Borland, S., Crawford, K., Brand, V. (2003) Setting the stage: developmental biology in pre-college classrooms. *The International Journal of Developmental Biology*, 47(2-3), 85-91.

- 30 Borsch, F., Jurgen-Lohmann, J., Giesen, H. (2002) Cooperative learning in elementary schools: Effects of the jigsaw method on student achievement in science. *Psychologie in Erziehung und Unterricht*, 49(3), 172-183.
- 31 Bransford, J.D., Brown, A.L., Cocking, R. (1999) *How People Learn: Brain, Mind, Experience and School*. National Academy Press: Washington DC.
- 32 Brinkmann, A. (2003) Graphical Knowledge Display – Mind Mapping and Concept Mapping as Efficient Tools in Mathematics Education. *Mathematics Education Review*, 16, 35-48.
- 33 Brotman, J.S., Moore, F.M. (2008) Girls and Science: A Review of Four Themes in the Science Education Literature. *Journal of Research in Science Teaching*, 45(9), 971-1002.
- 34 Brunkalla, K. (2009) How to Increase Mathematical Creativity-an Experiment. *The Montana Mathematics Enthusiast*, 6(1), 257-266.
- 35 Bybee, R.W., Taylor, J.A., Gardner, A., Van Scotter, P., Powell, J.C., Westbrook, A., Landes, N. (2006) The BSCS 5E instructional model: Origins and Effectiveness. Colorado Springs, BSCS.
- 36 Byrnes, J.P., Wasik, B.A. (2009) Factors predictive of mathematics achievement in kindergarten, first and third grades: An opportunity-propensity analysis. *Contemporary Educational Psychology*, 34(2), 167-183.
- 37 Byttebier, I. (2002) *Creativiteit. Hoe? Zo!*. Uitgeverij Lannoo, Tielt.
- 38 Campbell, C., Jane, B. (2012) Motivating children to learn: the role of technology education. *International Journal of Technology Design Education*, 22, 1-11.
- 39 Castledine, A.R., Chalmers, C. (2011) Lego robotics: an authentic problem solving tool?. *Design and Technology Education: An International Journal*, 16(3), 19-27.
- 40 Cavallini, G., Cavinato, M., Cazzaniga, L., Giliberti, M. (2010) Learning "without Teaching": Lab Activities to increase Motivation and Disciplinary Reasoning. *GIREP-ICPE-MPTL 2010 Reims International Conference*.
- 41 Chalupa, M., Chen, C., Charles, T. (2001) An analysis of college students' motivation and learning strategies in computer courses: A cognitive view. *Delta Pi Epsilon*, 43(4), 185-199.
- 42 Chang, K.E., Sung, Y.T., Lin, S.F. (2006) Computer-assisted learning for mathematical problem solving. *Computers & Education*, 46(2), 140.
- 43 ChanLin, L. (2008) Technology integration applied to project-based learning in science. *Innovations in Education and Teaching International*, 45(1), 55-65.
- 44 Chin, C., Brown, D.A., Bruce, B.C. (2002) Student-generated questions: A meaningful aspect of learning in science. *International Journal of Science Education*, 24(5), 521-549.
- 45 Ching, C.C., Kafai, Y.B. (2008) Peer Pedagogy: Student Collaboration and Reflection in a Learning-Through-Design Project. *Teachers College record*, 110(12), 2601-2632.

- 46 Chiu, M.M., Xihua, Z. (2008) Family and motivation effects on mathematics achievement: Analyses of students in 41 countries. *Learning and Instruction*, 18(4), 321-336.
- 47 Choi, E., Park, J. (2003) Conditions for the effective use of simulation and its application to middle-school physics inquiry activities. *Journal of the Korean Physical Society*, 42(3), 318-324.
- 48 Chu, S.K.W., Tse, S.K., Chow, K. (2011) Using collaborative teaching and inquiry project-based learning to help primary school students develop information literacy and information skills. *Library & Information Science Research*, 33(2), 132 -143.
- 49 Cohen, E.G. (1994) Restructuring the Classroom: conditions for Productive Small groups. *Review of Educational Research*, 64(1), 1-35.
- 50 Collins, J.A., Fauser, B.C.J.M. (2005) Balancing the strengths of systematic and narrative reviews. *Human Reproduction Update*, 11(12), 103-104.
- 51 Committee on Highly Successful Schools or Programs in K-12 STEM Education, National Research Council (2010) *Successful K-12 STEM Education: Identifying Effective Approaches in Science, Technology, Engineering, and Mathematics*. The National Academies Press, Washington DC.
- 52 Crawford, B.A. (2000) Embracing the essence of inquiry: New roles for science teachers. *Journal of Research in Science Teaching*, 37(9), 916-937.
- 53 Creative Little Scientists (2012) *Conceptual Framework*. Deliverable D2.2. EU Project (FP7 Contract: SIS-CP-2011-289081 – Project Coordinator: Ellinogermaniki Agogi, Greece). Available at http://www.creative-little-scientists.eu/sites/default/files/CLS_Conceptual_Framework_FINAL.pdf.
- 54 Crippen, K.J., Archambault, L. (2012) Scaffolded Inquiry-Based Instruction with Technology: A Signature Pedagogy for STEM Education. *Computers in the Schools*, 29(1-2), 157-173.
- 55 Cuevas, P., Lee, O., Hart, J., Deaktor, R. (2005) Improving science inquiry with elementary students of diverse backgrounds. *Journal of Research in Science Teaching*, 42(3), 337-357.
- 56 Dawes, L. (2008) Encouraging students' contributions to dialogue during science. *School Science Review*, 90(331), 101-107.
- 57 de Bono, E. (2006) *Zes Denkende Hoofddeksels*. Uitgeverij Business Contact, Amsterdam Achttiende druk.
- 58 De Corte, E., Op 't Eynde, P., Depaepe, F., Verschaffel, L. (2010) The reflexive relation between students' mathematics-related beliefs and the mathematics classroom culture. In: Bendixen, L.D., Feucht, F.C. (Eds.), *Personal Epistemology in the Classroom: Theory, Research, and Implications for Practice*. Cambridge University Press, 292-327.

- 59 De Groof, J, Donche, V., Van Petegem, P. (2012) Onderzoekend leren stimuleren: effecten, maatregelen en principes. Acco, Leuven.
- 60 de Weerd, J., Rommes, E. (2011) To bèta or not to bèta? Over de rol van docenten in de keuze voor het N&T profiel. Tijdschrift voor genderstudies, 14(4), 51-62.
- 61 Debacker, T., Nelson, R. (2000) Motivation to learn science: Differences related to gender, class type, and ability. Journal of Educational Research, 93, 245-254.
- 62 Deci, E.L., Ryan, R.M. (2000) The "what" and the "why" of goal pursuits: Human needs and the self-determination of behavior. Psychological Inquiry, 11, 227-268.
- 63 DeHaan, R.L. (2009) Teaching Creativity and Inventive Problem Solving in Science. CBE—Life Sciences Education, 8, 172-181.
- 64 Dejonckheere, P.J.N., Van de Keere, K., Mestdag, N. (2010) Training the Scientific Thinking Circle in Pre- and Primary School Children. The Journal of Educational Research, 103, 1-16.
- 65 Dejonckheere, P.J.N., Van De Keere, K., Tallir, I. (2011) Are fourth and fifth grade children better scientists through metacognitive learning? Electronic Journal of Research In Educational Psychology, 9(1), 133-156.
- 66 Delclos, V.R., Harrington, C. (1991) Effects of strategy monitoring and proactive instruction on children's problem-solving performance. Journal of Educational Psychology, 83(1), 35-42.
- 67 DeWitt, J., Osborne, J. (2007) Supporting Teachers on Science-focused School Trips: Towards an integrated framework of theory and practice. International Journal of Science Education, 29(6), 685-710.
- 68 Dochy, F., Schelfout, W., Janssens, S. (Red.) (2003) Anders evalueren. Assessment in de onderwijspraktijk. Lannoo Campus.
- 69 Dochy, F., Struyven, K. (2008) Assessment en competentie-ontwikkelen: een visietekst. In: M. Douterlungne (Ed.), Competentieontwikkelen onderwijs: Een verkenning. Antwerpen/Apeldoorn, 83-106.
- 70 Donche, V., Brandt, W., Jacobs, D., Van Petegem, P. (2004) Begeleid zelfstandig leren: leren leren als hefboom. Acco Leuven.
- 71 Donovan, M.S., Bransford, J.D., Pellegrino, J.W. (1999) How People Learn: Bridging Research and Practice. National Academy Press: Washington DC.
- 72 Doorman, M., Drijvers, P., Dekker, T., van den Heuvel-Panhuizen, M., de Lange, J., Wijers, M. (2007) Problem solving as a challenge for mathematics education in The Netherlands. ZDM Mathematics Education, 39, 405-418.
- 73 Driver, R., Squires, A., Rusworth, P., Woord-Robinson, V. (2000) Making sense of secondary science: research into children's ideas. Routledge, New York.

- 74 Dye, J. (1996) Socratic method and scientific method. Beschikbaar op <http://www.niu.edu/~jdye/method.html>.
- 75 Eilam, B. (2002) Strata of comprehending ecology: Looking through the prism of feeding relations. *Science Education*, 86(5), 645-671.
- 76 Endreny, A.H (2009) Urban 5th Graders Conceptions during a Place-Based Inquiry Unit on Watersheds. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(5), 501-517.
- 77 European commission (2007) Science education now: a Renewed Pedagogy for the Future of Europe. European Commission Directorate-General for Research Information and Communication Unit.
- 78 European commission (2011) Mathematics in Education in Europe: Common Challenges and National Policies (Eurydice). Education, Audiovisual and Culture Executive Agency.
- 79 European commission (2011) Science Education in Europe: National Policies, Practices and Research (Eurydice). Education, Audiovisual and Culture Executive Agency.
- 80 Facione, P., Gittens, C.A. (2012) Think Critically. Prentice Hall, Pearson Education, Inc.
- 81 Fawcett, L.M., Garton, A.F. (2005) The effect of peer collaboration on children's problem-solving ability. *British Journal of Educational Psychology*, 75, 157-169.
- 82 Feldman, A., Pirog, K. (2011) Authentic science research in elementary school after-school science clubs. *Journal of Science  and Technology*, 20, 494-507.
- 83 Foo, L.K. (Ed.) (2007) Teaching science in school La main a la pate resource materials for the primary classroom. A Collaborative Project of Southeast Asian Ministers of Education Organisation Regional Centre for Education in Science and Mathematics (SEAMEO RECSAM) with Académie des Sciences France.
- 84 Fox-Turnbull, W. (2010) The Role of Conversation in Technology Education. *Design and Technology Education: An International Journal*, 15(1), 24-30.
- 85 Frenzel, A.C., Pekrun, R., Goetz, T. (2007) Perceived learning environment and students' emotional experiences: A multilevel analysis of mathematics classrooms. *Learning and Instruction*, 17, 478-493.
- 86 Gamire, E., Pearson, G. (2006) Tech Tally: Approaches to Assessing Technological Literacy. The National Academies Press.
- 87 Geoff Hilton, University of Queensland (2007) Students representing mathematical knowledge through digital filmmaking. Proceedings of the 30th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia, Watson, J., Beswick, K. (Eds.), Merga inc., 382-391.

- 88 Githua, B.N., Mwangi, J.G. (2003) Students' mathematics self-concept and motivation to learn mathematics: relationship and gender differences among Kenya's secondary-school students in Nairobi and Rift Valley provinces. *International journal of Educational Development*, 23(5), 487-499.
- 89 Gömleksiz, M.N. (2012) Elementary school students' perceptions of the new science and technology curriculum by gender. *Educational Technology & Society*, 15(1), 116-126.
- 90 Green, K., Marcer, M., McWilliam, P., Rowlands, S. (1998) Research report on the classroom implementation of the Socratic method in mechanics. *Proceedings of the British Society for Research into Learning Mathematics*, 18(3), 103-108.
- 91 Groen T., Prisma, partners (2012) Naar 4 op de 10: meer technologietalent voor Nederland. Masterplan Bèta en Technologie.
- 92 Hamer, R. (2010) PlatformPocket 20: Tien didactische aandachtspunten voor de bètavakken op de havo. Platform Bèta Techniek.
- 93 Hanrahan, H. (1998) The effect of learning environment factors on students' motivation and learning. *International Journal of Science Education*, 20(6), 737-753.
- 94 Hantson, P. (2011) Cyborg 2. Leerwerkboek. Die Keure Educatief, Brugge.
- 95 Hargrove, R.A. (2012) Assessing the long-term impact of a metacognitive approach to creative skill development. *International Journal of Technology and Design Education*.
- 96 Harlen, W. (2009) Teaching and learning science for a better future. *School Science Review*, 90(333), 1-9.
- 97 Harlen, W. (Ed.) (2008) Perspectives on education: Primary Science. Education Wellcome Trust.
- 98 Harlen, W. (Ed.) (2010) Principles and big ideas of science education. The Association for Science Education.
- 99 Harlen, W., Deakin Crick, R. (2003) Testing and Motivation for Learning. *Assessment in Education: Principles, Policy & Practice*, 10(2), 169-207.
- 100 Harris, C.J., Rooks, D.L. (2010) Managing inquiry-based science: Challenges  acting complex science instruction in elementary and middle school classrooms. *Journal of Science Teacher Education*, 21(2), 227-240.
- 101 Havu-Nuutinen, S., Keinonen, T. (2010) The changes in pupils' conceptions of human body based on science, technology and society based teaching. *Journal of Baltic Science Education*, 9(3), 212-223 .
- 102 Heflich, D. A., Dixon, J. K., Davis, K. (2001) Taking it to the field: The authentic integration of mathematics and technology in inquiry-based science instruction. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 20, 99-111.

- 103 Hennessy, S., Murphy, P. (1999) The Potential for Collaborative Problem Solving in Design and Technology. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(1).
- 104 Herrenkohl, L.R., Tasker, T., White, B. (2011) Pedagogical Practices to Support Classroom Cultures of Scientific Inquiry. *Cognition and instruction*, 29(1), 1-44.
- 105 Hickey, D.T., Moore, A.L., Pellegrino, J.W. (2001) The motivational and academic consequences of elementary mathematics Environments: Do Constructivist Innovations and Reforms Make a Difference? *American Educational Research Journal*, 38(3), 611-652.
- 106 Higgins, S., Hall, E., Baumfield, V., Moseley, D. (2005) A meta-analysis of the impact of the implementation of thinking skills approaches on pupils. In: *Research Evidence in Education Library*. London: EPPI-Centre, Social Science Research Unit, Institute of Education, University of London.
- 107 Hill, A.M. (1998) Problem Solving in Real-Life Contexts: An Alternative for Design in Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 8, 203-220.
- 108 Hirsh, R.A. (2010) Creativity: Cultural capital in the mathematics classroom. *Creative Education*, 1(3), 154-161.
- 109 Hodgson, C. (2010) Assessment for learning in primary science: Practices and benefits. NFER Review.
- 110 Hong, Z.R., Lin, H.S. (2011) An Investigation of Students' Personality Traits and Attitudes toward Science. *International journal of Science Education*, 33(7), 1001 -1028.
- 111 Howe, C., Tolmie, H. (2003) Group work in primary school science: discussion, consensus and guidance from experts. *International Journal of Educational Research*, 39(1-2), 51-72.
- 112 Hummel, E., Randler, C. (2012) Living Animals in the Classroom: A Meta-Analysis on Learning Outcome and a Treatment-Control Study Focusing on Knowledge and Motivation. *Journal of Science Education and Technology*, 21(1), 95 -105.
- 113 Hus, V., Abersek, M.K. (2011) Questioning as a mediation tool for cognitive development in early science teaching. *Journal of Baltic Science Education*, 10(1), 6-16.
- 114 IBSE (2010) Taking IBSE into Secondary Education. Report on the conference, York, UK, October 27-29 2010.
- 115 Inoue, N., Buczynski, S. (2011) You Asked Open-Ended Questions, Now What? Understanding the Nature of Stumbling Blocks in Teaching Inquiry Lessons. *The Mathematics Educator*, 20(2), 10-23.
- 116 Jaakkola, T., Nurmi, S. (2008) Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, 24(4), 271-283.

- 117 Jalil, P.A., Abu Sbeih, M.Z., Boujettif, M., Barakat, R. (2009) Autonomy in Science Education: A Practical Approach in Attitude Shifting Towards Science Learning. *Journal of Science Education and Technology*, 18(6), 476-486.
- 118 Jennings, L.B., Mills, H. (2009) Constructing a Discourse of Inquiry: Findings From a Five-Year Ethnography at One Elementary School. *Teachers College record*, 111(7), 1583-1618.
- 119 Johnson, D.W., Johnson, R.T., Stanne, M.B. (2000) Cooperative Learning Methods: A Meta-Analysis. Cooperative Learning Center website.
- 120 Juuti, K. (2005) Towards Primary School Physics Teaching and Learning. Design Research Approach. Academic Dissertation of the Faculty of Behavioural Sciences in the University of Helsinki.
- 121 Kanselaar, G., Linden, J.L. van der, Erkens, G. (1997) Samenwerkend leren in het studiehuis. In: Leenheer, P., Simons, R.J., Zuylen, J. (Eds.), *Didactische verkenningen van het studiehuis*. Tilburg: MesoConsult, 76-89.
- 122 Keogh, B., Naylor, S. (1999) Concept cartoons, teaching and learning in science: an evaluation. *International Journal of Science Education*, 21(4), 431-446.
- 123 Keogh, B., Naylor, S. (2000) Teaching and learning in science using concept cartoons: why Dennis wants to stay in at playtime. *Investigating*, 16(3), 10-14.
- 124 Keogh, B., Naylor, S. (2009) Puppets count. *Mathematics Teaching*, 213, 32-34.
- 125 Khishfe, R., Abd-El-Khalick, F. (2002) Influence of explicit and reflective versus implicit inquiry-oriented instruction on sixth graders' views of nature of science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(7), 551-578.
- 126 Kilpatrick, J., Swafford, J. (2002) *Helping Children Learn Mathematics*. The National Academies Press, Washington DC.
- 127 Kilpatrick, J., Swafford, J., Findell, B. (2001) *Adding It Up: Helping Children Learn Mathematics*. National Academies Press, 407-432.
- 128 Kim, H. (2011) Inquiry-based science and technology enrichment program: green earth enhanced with inquiry and technology. *Journal of Science Education and Technology*, 20, 803-814.
- 129 Kim, H., Song, J. (2005) The Features of Peer Argumentation in Middle School Students' Scientific Inquiry. *Research in Science Education*, 36(3), 211-233.
- 130 Kim, M.C., Hannafin, M.J., Bryan, L.A. (2007) Technology-enhanced inquiry tools in science education: An emerging pedagogical framework for classroom practice. *Science Education*, 91(6), 1010-1030.

- 131 Kimbell, R.A., Stables, K., Wheeler, A.D., Wozniak, A.V., Kelly A.V. (1991) *The Assessment of Performance in Design and Technology*. London: Schools Examinations and Assessment Council, HMSO.
- 132 Kind, P.M., Kind, V. (2007) Creativity in Science Education: Perspectives and Challenges for Developing School Science. *Studies in Science Education*, 43(1), 1-37.
- 133 Kirschner, P.A. (2006) Why Minimal Guidance During Instruction Does Not Work: An Analysis of the Failure of Constructivist, Discovery, Problem-Based, Experiential, and Inquiry-Based Teaching, 41(2), 75-86.
- 134 Klahr, D., Nigam, M. (2004) The Equivalence of Learning Paths in Early Science Instruction Effects of Direct Instruction and Discovery Learning. *Psychological Science*, 15(10), 661-667.
- 135 KNAW (2009) *Rekenonderwijs op de basisschool. Analyse en sleutels tot verbetering*. Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen.
- 136 Koul, R., Lerdpornkulrat, T., Chantara, S. (2011) Relationship Between Career Aspirations and Measures of Motivation Toward Biology and Physics, and the Influence of Gender. *Journal of Science Education and Technology*, 20(6), 761 -770.
- 137 Krueger, J.G., Anderson, S., Lyle, M., Nyenhuis, J. (2005) Creating an inquiry-based engineering learning environment for upper elementary students through successful K-16 service learning partnerships: the happy hollow elementary school story. 35th Annual *Frontiers in Education*.
- 138 Krüger-Basener, M., Schlaak, M., Scheumann, I., Siemsen, H., Gronewold, A., Project Partners (2010) *School Science Teaching by Project Orientation - Improving the Transition to University and Labour Market for Boys and Girls*. Sixth EU Framework Programme for Research and Technological Development.
- 139 Kunter, M., Baumert, J., Koller, O. (2007) Effective classroom management and the development of subject-related interest. *Learning and Instruction*, 17(5), 494-509.
- 140 Laevers, F., Heylen, L. (2011) *EE-Cahier 7: Een passie voor wetenschap en techniek*. Onderzoekend en ontwerpend leren in de basisschool. Cego Publishers, Leuven.
- 141 Lederman, N. G., Abd-El-Khalick, F. (1998) Avoiding de-natured science: Activities that promote understandings of the nature of science. In: W. McComas (Ed.), *The nature of science in science education: Rationales and strategies*. Boston: Kluwer., 83-126.
- 142 Lee, V.R., Thomas, J.M. (2011) Integrating physical activity data technologies into elementary school classrooms. *Educational Technology Research and Development*, 59(6), 865-884.
- 143 Lester, B.T., Ma, L., Lee, O., Lambert, J. (2006) Social Activism in Elementary Science Education: A science, technology, and society approach to teach global warming. *International Journal of Science Education*, 28(4), 315-339.

- 144 Lewis, T. (2005) Creativity - A Framework for the Design/Problem Solving Discourse in Technology Education. *Journal of Technology Education*, 17(1).
- 145 Lewis, T. (2006) Design and inquiry: Bases for an accommodation between science and technology education in the curriculum? *Journal of Research in Science Teaching*, 43(3), 255-281.
- 146 Lewis, T. (2009) Creativity in technology education: providing children with glimpses of their inventive potential. *International Journal of Technology and Design Education*, 19, 255-268.
- 147 Li,Q., Ma,X. (2010) A Meta-analysis of the Effects of Computer Technology on School Students' Mathematics Learning. *Educational Psychology Review*, 22, 215-243.
- 148 Lim, C. P., Nonis, D., Hedberg, J. (2006) Gaming in a 3D multiuser virtual environment: engaging students in Science lessons. *British Journal of Educational Technology*, 37(2), 211-231.
- 149 Lim, C.P, Tay, L.Y., Hedberg, J. (2011) Employing an activity-theoretical perspective to localize an education innovation in an elementary school. *Journal of Educational Computing Research*, 44(3), 319-344.
- 150 Limón, M. (2001) On the cognitive conflict as an instructional strategy for conceptual change: a critical appraisal. *Learning and Instruction*, 11(4-5), 357-380.
- 151 Lin, S.-F., Chang, W.-H., Cheng, Y.-J. (2011) The Perceived Usefulness of Teachers' Guides for Science Teachers. *International Journal of Science and Mathematical Education*, 9(6), 1367-1389.
- 152 Liu, T., Peng, H., Wu, W., Lin, M. (2009) The Effects of Mobile Natural-science Learning Based on the 5E Learning Cycle: A Case Study. *Educational Technology & Society*, 12(4), 344-358.
- 153 Liu, T.-Y., Tan, T.-H., Lin, M.-S., Chu, Y.-L. (2011) Educational affordances of ubiquitous learning. *Lecture notes in computer science*, 6872, 86-91.
- 154 Logar, A., Savec, V.F. (2011) Students' Hands-on Experimental Work vs Lecture Demonstration in Teaching Elementary School Chemistry. *Acta Chimica Slovenica*, 58, 866-875.
- 155 Looi, C.K., Zhang, B., Chen, W., Seow, P., Chia, G., Norris, C., Soloway, E. (2011) 1:1 mobile inquiry learning experience for primary science students: a study of learning effectiveness. *Journal of Computer Assisted Learning*, 27(3), 269-287.
- 156 Lord, P., O'Donnell, S., Brown, R., Grayson, H. (2005) International Review of Curriculum and Assessment Frameworks. Thematic Probe: Learner Motivation 3-19. An International Perspective.
- 157 Lord, T.R. (2001) 101 Reasons for Using Cooperative Learning in Biology Teaching. *The American Biology Teacher*, 63(1), 30-38.

- 158 Loxley, P., Dawes, L., Nicolls, L., Dore, B. (2010) Teaching Primary Science: Promoting Enjoyment Developing Understanding. Pearson Education Ltd.
- 159 Lu, C.C., Tsai, C.W., Hong, J.C. (2008) Use root cause analysis teaching strategy to train primary pre-service science teachers. *US-China Education Review*, 5(12), 47-53.
- 160 Lyn English, Queensland University of Technology (2007) Interdisciplinary Modelling in the Primary Mathematics Curriculum. Proceedings of the 30th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia, Watson, J., Beswick, K. (Eds.), Merga inc., 275-284.
- 161 Mant, J., Wilson, H., Coates, D. (2007) The Effect of Increasing Conceptual Challenge in Primary Science Lessons on Pupils' Achievement and Engagement. *International Journal of Science Education*, 29(14), 1707-1719.
- 162 Marshall, J.C., Horton, R., Igo, B.L., Switzer, D.M. (2009) K-12 Science and Mathematics Teachers' Beliefs about and Use of Inquiry in the Classroom. *International Journal of Science and Mathematical Education*, 7(3), 575-596.
- 163 Mawson, B. (2003) Beyond 'The Design Process': An Alternative Pedagogy for Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 13(2), 117-128.
- 164 Mercer, N., Dawes, L., Staarman, J.K. (2009) Dialogic teaching in the primary science classroom. *Language and Education*, 23(4), 353-369.
- 165 Mercer, N., Dawes, L., Wegerif, R., Sams, C. (2004) Reasoning as a scientist: ways of helping children to use language to learning science. *British Educational Research Journal*, 30(3), 359-377.
- 166 Mettas, A.C., Constantinou, C.C. (2007) The Technology Fair: a project-based learning approach for enhancing problem solving skills and interest in design and technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 18(1), 79-100.
- 167 Michalsky, T., Mevarech, Z.R., Haibi, L. (2009) Elementary School Children Reading Scientific Texts: Effects of Metacognitive Instruction. *The Journal of Educational Research*, 102(5), 363-374.
- 168 Middleton, H. (2005) Creative Thinking, Values and Design and Technology Education. *International Journal of Technology and Design Education*, 15(1), 61-71.
- 169 Middleton, J.A., Spanias, P.A. (1999) Motivation for Achievement in Mathematics: Findings, Generalizations, and Criticisms of the Research. *Journal for Research in Mathematics Education*, 30(1), 65-88.
- 170 Miller, L.M., Chang, C.I., Wang, S., Beier, M.E., Klisch, Y. (2011) Learning and motivational impacts of a multimedia science game. *Computers & Education*, 57(1), 1425 -1433.

- 171 Minner, D.D., Levy, A.J., Century, J. (2010) Inquiry-Based Science Instruction-What Is It and Does It Matter? Results from a Research Synthesis Years 1984 to 2002. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(4), 474-496.
- 172 Minstrell, J., van Zee, E.H. (Eds.) (2000) Inquiring into Inquiry Learning and Teaching in Science: introduction. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, i-xx.
- 173 Minstrell, J., van Zee, E.H. (Eds.) (2000) Part 1: Why Inquiry?. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 1-62.
- 174 Minstrell, J., van Zee, E.H. (Eds.) (2000) Part 2: What Does Inquiry Look Like?. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 63-280.
- 175 Minstrell, J., van Zee, E.H. (Eds.) (2000) Part 3: What Issues Arise with Inquiry Learning and Teaching?. American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 281-496.
- 176 Morrison, J. (2006) TIES STEM education monograph series. Attributes of STEM education. Ties, Baltimore.
- 177 Motivaction (2010) Bèta mentality 2011-2016: jongeren boeien voor Bèta en techniek. Studie in opdracht van Platform Bèta Techniek Nederland.
- 178 Munier, V., Merle, H. (2009) Interdisciplinary Mathematics-Physics Approaches to Teaching the Concept of Angle in Elementary School. *International Journal of Science Education*, 31(14), 1857-1895.
- 179 Murphy, C., Beggs, J., Carlisle, K., Greenwood, J. (2004) Students as 'catalysts' in the classroom: the impact of co-teaching between science student teachers and primary classroom teachers on children's enjoyment and learning of science. *International Journal of Science Education*, 26(8), 1023-1035.
- 180 Murphy, C., Kilfeather, P. (2011) Children Making Sense of Science. *Research in Science Education*, 41(2), 283-298.
- 181 Naylor, S., Keogh, B. (2007) Active Assessment: thinking, learning and assessment in science. *School Science Review*, 88(325), 73-79.
- 182 Naylor, S., Keogh, B. (2009) Active Assessment. *Mathematics Teaching*, 215, 35-37.
- 183 Naylor, S., Keogh, B., Downing, B. (2007) Argumentation and primary science. *Research in Science Education*, 37, 17-39.
- 184 Neumann, K.E. (2003) The importance of redesign. Students Gain So Much More Knowledge and Understanding When They Take Time to Redesign. *The Technology Teacher*, 63(3), 7-9.
- 185 Ofsted (2011) Good practice in primary mathematics: evidence from 20 successful schools. The Office for Standards in Education, Children's Services and Skills.

- 186 Oliver, K. (2009) An Investigation of Concept Mapping to Improve the Reading Comprehension of Science Texts. *Journal of Science Education and Technology*, 18, 402-414.
- 187 Opdenakker, M.-C., Maulanaa, R., den Brok, P. (2012) Teacher-student interpersonal relationships and academic motivation within one school year: developmental changes and linkage. *School Effectiveness and School Improvement*, 23(1), 95 -119.
- 188 Opgenhaffen, T. (2011) *Leren. Hoe? Zo!*. Lannoo Campus.
- 189 Osborne, J. (2010) Arguing to Learn in Science: The Role of Collaborative, Critical Discourse. *Science*, 328(5977), 463-466.
- 190 Osborne, J., Dillon, J. (2008) *Science Education in Europe: Critical Reflections. A Report to the Nuffield Foundation*.
- 191 Osborne, J., Simon, S., Collins, S. (2003) Attitudes towards science: a review of the literature and its implications. *International Journal of Science Education*, 25(9), 1049-1079.
- 192 Oshima, J., Oshima, R., Inagaki, S., Murayama, I., Takenaka, M., Nakayama, H., Yamaguchi, E. (2004) Design experiments in Japanese elementary science education with computer support for collaborative learning: hypothesis testing and collaborative construction. *International Journal of Science Education*, 26(10), 1199-1221.
- 193 Palincsar, A.S., Magnusson, S.J., Collins, K.M., Cutter, J. (2001) Making science accessible to all: Results of a design experiment in inclusive classrooms. *Learning Disability Quarterly*, 24(1), 15-32.
- 194 Patrick, H., Yoon, C. (2004) Early adolescents' motivation during science investigation. *Journal of Educational Research*, 97, 319-328.
- 195 Penninckx, M., Vanhoof, J., Van Petegem, P. (2011) *Evaluatie in het Vlaamse onderwijs. Beleid en praktijk van leerling tot overheid*. Garant.
- 196 Perry, N., Phillips, L., Dowler, J. (2004) Examining Features of Tasks and Their Potential to Promote Self-Regulated learning. *Teachers College Record*, 106(9), 1854-1878.
- 197 Peters, E. E. (2009) Developing Content Knowledge in Students Through Explicit Teaching of the Nature of Science: Influences of Goal Setting and Self-Monitoring. *Science & Education*.
- 198 Pintrich, P.R. (1999) The role of motivation in promoting and sustaining self-regulated learning. *International Journal of Educational Research*, 31, 459-470.
- 199 Pintrich, P.R., Marx, R.W., Boyle, R.A. (1993) Beyond Cold Conceptual Change: The Role of Motivational Beliefs and Classroom Contextual Factors in the Process of Conceptual Change. *Review of Educational Research*, 63(2), 167-199.
- 200 Posner, G. (1982) Accommodation of scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2), 211-227.

- 201 Puustinen, M., Pulkkinen, L. (2001) Models of Self-regulated Learning: a review. *Scandinavian Journal of Educational Research*, 45(3), 269-286.
- 202 Raes, A., Schellens, T., De Wever, B. (2010) Wetenschapsonderwijs in het secundair onderwijs: samen met WISE op onderzoek binnen het World Wide Web. *ICT en Onderwijsvernieuwing*, 24, 75-98.
- 203 Rasinen, A., Virtanen, S., Endepohls-Ulpe, M., Ikonen, P., Ebach, J., Stahl-von Zubern, J. (2009) Technology Education for Children in Primary Schools in Finland and Germany: Different School Systems, Similar Problems and How to Overcome Them. *International Journal of Technology and Design Education*, 19(4), 367-379.
- 204 Reusser, K. (2000) Success and failure in school mathematics: effects of instruction and school environment. *European Child & Adolescent Psychiatry*, 9, 17-26.
- 205 Rohrer, D., Pashler, H. (2012) Learning styles: where's the evidence? *Medical Education*, 46, 630-635.
- 206 Romance, N., Vitale, M. (2001) Implementing an in-depth expanded science model in elementary schools: Multi-year findings, research issues, and policy implications. *International Journal of Science Education*, 23(4), 373-404.
- 207 Roschelle, J., Rafanan, K., Bhanot, R., Estrella, G., Penuel, B., Nussbaum, M., Claro, S. (2010) Scaffolding group explanation and feedback with handheld technology: impact on students' mathematics learning. *Educational Technology Research and Development*, 58(4), 399-419.
- 208 Ryan, A. M., Patrick, H. (2001) The classroom social environment and changes in adolescents' motivation and engagement during middle school. *American Educational Research Journal*, 38(2), 437-460.
- 209 Sagebiel, F., Alemany, C., Dahmen, J., Davidsson, B., Godfroy-Genin, A.-S., Kolvekova, G., Pinault, C., Rommes, E., Schönberger, M., Thaler, A., Urbancíková, N., Wächter, C. (2010) Promoting positive images of SET in young people under gender perspective. MOTIVATION project. Project Final Report.
- 210 Salminen-Karlsson, M. (2007) Girls groups and boys' groups at a municipal technology centre. *International Journal of Science Education*, 29(8), 1019-1033.
- 211 Saltiel, E. (2006) Inquiry-Based Science Education: Applying it in the Classroom. Methodological Guide. Pollen. Seed Cities for Science. P.A.U. Education.
- 212 Sandifer, C. (2005) Teacher and curriculum factors that influence middle school students' sense-making discussions of force/motion. *AIP conference proceedings*, 790, 141-144.
- 213 Schaal, S., Bogner, F.X. (2005) Human visual perception - learning at workstations. *Journal of Biological Education*, 40(1), 32-37.

- 214 Schommer, M. (1990) Effects of beliefs about the nature of knowledge on comprehension. *Journal of Educational Psychology*, 82(3), 498-504.
- 215 Schommer, M. (1994) Synthesizing Epistemological Belief Research: Tentative Understandings and Provocative Confusions. *Educational Psychology Review*, 6(4), 293-319.
- 216 Schraw, G., Crippen, K.J., Hartley, K. (2006) Promoting self-regulation in science education: Metacognition as part of a broader perspective on learning. *Research in Science Education*, 36(1-2), 111-139.
- 217 Scott, Ph., Asoko, H., Leach, J. (2007) Student Conceptions and Conceptual Learning in Science. In: Abell, S., Lederman, N. (Eds.), *Handbook of Research on Science Education*, 31-57.
- 218 Sengul, S. (2004) Effects of Concept Cartoons on Mathematics Self-Efficacy of 7th Grade Students. *Kuram ve Uygulamada Egitim Bilimleri*, 11(4), 2305-2313.
- 219 Sherman, T.M., Sanders, M., Kwon, H., Pembridge, J. (2009) Middle school children's thinking in technology education: A review of literature. *Journal of Technology Education*, 21(1), 60-71.
- 220 Shymansky, J.A., Yore, L.D., Anderson, J.O. (2004) Impact of a school district's science reform effort on the achievement and attitudes of third- and fourth-grade students. *Journal of research in Science Teaching*, 41(8), 771-790.
- 221 Sierens, E., Vansteenkiste, M. (2009) Wanneer "Meer minder betekent": Motivatieprofielen van leerlingen in kaart gebracht. *Begeleid Zelfstandig Leren*, 24, 17-36.
- 222 Simon, S., Naylor S., Keogh, B., Maloney, J., Downing, B. (2008) Puppets promoting engagement and talk in science. *International Journal of Science Education*, 30(9), 1229-1248.
- 223 Simpson, G., Hoyles, C., Noss, R. (2006) Exploring the mathematics of motion through construction and collaboration. *Journal of Computer Assisted Learning*, 22, 114-136.
- 224 Sladek, P., Miler, T., Benarova, R. (2011) How to increase students' interest in science and technology. *Procedia: Social & Behavioral Sciences*, 12, 168 -174.
- 225 Slavin, E., Lake, C. (2008) Effective Programs in Elementary Mathematics: A Best-Evidence Synthesis. *Review of Educational Research*, 78, 427-515.
- 226 Slavin, R. (2009) 'What works in teaching maths?'. *Better: Evidence-based Education*, 2(1), 4-5.
- 227 Smet, P. (2010) Mensen doen schitteren. Eerste oriëntatienota hervorming secundair onderwijs?. Vlaams Minister van Onderwijs, Jeugd, Gelijke kansen en Brussel. Beschikbaar op: <http://www.ond.vlaanderen.be/nieuws/2010/bijlagen/20100913-hervorming-so.pdf>.
- 228 Smith, M., Hepworth, M. (2006) An investigation of factors that may demotivate secondary school students undertaking project work: Implications for learning information literacy. *Journal of Librarianship and Information Science*, 39(1), 3-15.

- 229 Souvignier, E., Kronenberger, J. (2007) Cooperative learning in third graders' jigsaw groups for mathematics and science with and without questioning training. *British Journal of Educational Psychology*, 77, 755-771.
- 230 Speering, W., Rennie, L. (1996) Student perceptions about science: The impact of transition from primary to secondary school. *Research in Science Education*, 26, 283-298.
- 231 Sriraman, B. (2005) Are Giftedness and Creativity Synonyms in Mathematics?. *The Journal of Secondary Gifted Education*, 17(1), 20-36 .
- 232 Stavrova, O., Urhahne, D. (2010) Modification of a School Programme in the Deutsches Museum to Enhance Students' Attitudes and Understanding. *International Journal of Science Education*, 32(17), 2291 -2310.
- 233 Sternberg, R.J., Lubart, T.I. (1999) The concept of creativity: Prospects and paradigms. In: R.J. Sternberg (Ed.), *Handbook of creativity*. New York: Cambridge University Press, 3-15.
- 234 Strubbe, K., D'Haese, B., De Poorter, J., Vanhoe, H. (2012) *Onderzoekscompetent in de klas*. Academia Press, Gent.
- 235 Sun, D., Looi, C.-K. (2012) Designing a Web-based Science Learning Environment for Model-Based Collaborative Inquiry. *Journal of Science Education and Technology* (online).
- 236 Tarim, K., Akdeniz, F. (2008) The effects of cooperative learning on Turkish elementary students' mathematics achievement and attitude towards mathematics using TAI and STAD methods. *Educational Studies in Mathematics*, 67, 77-91.
- 237 ten Dam, G., Volman, M. (?) *Samen leren, hoe gaat dat?*. Beschikbaar via <http://www.kennisbasislerarenopleiders.nl/leren-en-lerenden.html>.
- 238 Ter Berg, T., Van Gelder, T., Patterson, F., Teppema, S. (2009) *Kritisch denken. Redeneren en betogen met Rationale*. Pearson Education Benelux, Amsterdam.
- 239 Thaler, A., Zorn, I. (2010) Issues of doing gender and doing technology- Music as an innovatieve theme for technology education. *European Journal of Engineering Education*, 35(4), 445-454.
- 240 Thurston, A., Van de Keere, K., Mestdagh, N. (2007) Peer learning in primary school science: Theoretical perspectives and implications for classroom practice. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 5(3), 477-496.
- 241 Trautwein, U., Lüdtke, O., Marsh, H.W., Köller, O., Baumert, J. (2006) Tracking, Grading, and Student Motivation: Using Group Composition and Status to Predict Self-Concept and Interest in Ninth-Grade Mathematics. *Journal of Educational Psychology*, 98(4), 788-806.
- 242 Trna, J., Novak, P. (2010) *Motivational Effectiveness of Experiments in Physics Education*. Masaryk University, Faculty of Education, Brno, Czech Republic.

- 243 Trundle, K.C., Atwood, R.K., Christopher, J.E., Sackes, M. (2010) The Effect of Guided Inquiry-Based Instruction on Middle School Students' Understanding of Lunar Concepts. *Research in Science Education*, 40(3), 451-478.
- 244 Tsupros, N., Kohler, R., Hallinen, J. (2009) STEM education: A project to identify the missing components. Intermediate Unit 1 and Carnegie Mellon, Pennsylvania.
- 245 Tuan, H.L., Chin, C.C., Shieh, S.H. (2005) The development of a questionnaire for assessing students' motivation toward science learning. *International Journal of Science Education*, 27, 639-654.
- 246 Tuan, H.-L, Chin, C.-C., Tsai, C.-C., Cheng, S.-F. (2005) Investigating the Effectiveness of Inquiry Instruction on the Motivation of Different Learning Styles Students. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 3(4), 541-566.
- 247 Tytler, R., Osborne, J., Williams, G., Tytler, K., Cripps Clark, J. (2008) Opening up pathways: engagement in STEM across the primary-secondary school transition. Australian Department of Education, Employment and Workplace Relations, Canberra, A.C.T..
- 248 Ulm, V. (2011) Teaching Mathematics – Opening up Individual Paths to Learning. *Sinus international. Towards New Teaching in Mathematics*, 1(3), 1-54.
- 249 Ültay, N., çalick, M. (2011) A thematic review of studies into the effectiveness of context-based chemistry curricula. *Journal of Science Education and Technology* (online).
- 250 Van Aerschot, M., Hermans, D., Verhoeven, J. (2001) Gezocht ingenieur (m/v) een onderzoek naar studiekeuze vanuit genderperspectief. Antwerpen/Hasselt: Universiteit Antwerpen/ Limburgs Universitair Centrum.
- 251 Van de Gaer, E., Pustjens, H., Van Damme, J., De Munter, A. (2008) Mathematics participation and mathematics achievement across secondary school: The role of gender. *Sex Roles*, 59(7-8), 568-585.
- 252 van den Akker, J. (2009) Curriculum Design Research. An introduction to education design research. Enschede, 37-50.
- 253 Van Geetsom, N. (2008) Creatief denken in het (secundair) onderwijs. Academia Press, Gent.
- 254 van Graft, M., Kemmers, P. (2007) Onderzoekend en Ontwerpend Leren bij Natuur en Techniek. Basisdocument over de didactiek voor onderzoekend en ontwerpend leren in het primair onderwijs. Stichting Platform Bèta Techniek, Den Haag.
- 255 van Graft, M., Klein Tank, M., Verheijen, S. (2011) Onderzoekend en Ontwerpend Leren bij Natuur en Techniek in het Basisonderwijs. Flyer.
- 256 Van Oers, B. (1988) Modellen en de ontwikkeling van het (natuur-) wetenschappelijk denken van leerlingen. *Tijdschrift voor Didactiek de Beta-wetenschappen*, 6(2), 115-143.

- 257 van Schaik, M. (2010) Co-constructing Models as Tools in Vocational Practice. Learning in a knowledge rich environment. PhD Vrije Universiteit Amsterdam, faculteit der Psychologie en Pedagogiek.
- 258 Van Velzen, J. (2012) Beter leren denken. Garant, Antwerpen.
- 259 van Zee, E.H., Iwasyk, M., Kurose, A., Simpson, D., Wild, J. (2001) Student and Teacher Questioning during Conversations about Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(2), 159-190.
- 260 Vanhoof, J., Van De Broek, M., Penninckx, M., Donche, V., Van Petegem, P. (2011) Leerbereidheid van leerlingen aanwakkeren. Principes die motiveren, inspireren én werken. Acco, Leuven.
- 261 Vansteenkiste, M., Sierens, E., Soenens, B., Lens, W. (2007) Willen, moeten en structuur: Over het bevorderen van een optimaal leerproces. *Begeleid Zelfstandig Leren*, 37, 1-27.
- 262 Vansteenkiste, M., Soenens, B., Sierens, E., Lens, W. (2005) Hoe kunnen we leren en presteren bevorderen? Een autonomie-ondersteunend versus controlerend schoolklimaat. *Caleidoscoop*, 17, 18-25.
- 263 Vansteenkiste, M., Timmermans, T., Lens, W., Soenens, B., Van den Broeck, A. (2008) Does extrinsic goal framing enhance extrinsic goal-oriented individuals' learning and performance? An experimental test of the match perspective versus self-determination theory. *Journal of Educational Psychology*, 100(2), 387-397.
- 264 Viennot, L. (2006) Teaching rituals and students' intellectual satisfaction. *Physics Education*, 41(5), 400-408.
- 265 Vlaams Ministerie van Onderwijs en Vorming en Agentschap voor Kwaliteitszorg in Onderwijs en Vorming (2009) VOET@2010 - Nieuwe vakoverschrijdende eindtermen voor het secundair onderwijs.
- 266 Vlaamse Overheid (2011) Wiskunde Conferentie na de peilingen wiskunde: verslag en aanbevelingen. AKOV.
- 267 Vlaamse Overheid (2012) Actieplan voor het stimuleren van loopbanen in wiskunde, exacte wetenschappen en techniek 2012-2020.
- 268 Vlaamse Overheid (2012) Peiling wiskunde in de tweede graad algemeen secundair onderwijs. AKOV.
- 269 VLOR (2003) Inspiratiehandboek zelfgestuurd leren. Garant.
- 270 Walker, J.P., Sampson, V., Zimmerman, C.O. (2011) Argument-Driven Inquiry: An Introduction to a New Instructional Model for Use in Undergraduate Chemistry Labs. *Journal of Chemical Education*, 88(8), 1048-1056.

- 271 Walker, K.A., Zeidler, D.L. (2007) Promoting discourse about socioscientific issues through scaffolded inquiry. *International Journal of Science Education*, 29(11), 1387-1410.
- 272 Wang, J.-R., Wang, Y.-C., Tai, H.-J., Chen, W.-J. (2010) Investigating the Effectiveness of Inquiry-Based Instruction on Students with Different Prior Knowledge and Reading Abilities. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 8(5), 801-820.
- 273 Wang, J.R., Huang, B.Y., Tsay, R.F., Lee, K.P., Lin, S.W., Kao, H.L. (2011) A Meta-analysis of Inquiry-based Instruction on Student Learning Outcomes in Taiwan. *Asia-Pacific Education Researcher*, 20, 534-542.
- 274 Warner, S.A. (2003) Teaching design: Taking the first steps. *The Technology Teacher*, 62(4), 7-10.
- 275 Warwick, P., Mercer, N., Kershner, R., Kleine Staarman, J. (2010) In the mind and in the technology: The vicarious presence of the teacher in pupil's learning of science in collaborative group activity at the interactive whiteboard. *Computers and Education*, 55, 350-362.
- 276 Webster, A., Campbell, C., Jane, B. (2006) Enhancing the creative process for learning in primary technology education. *International Journal of Technology and Design Education*, 16, 221-235.
- 277 Wells, M., Hestenes, D., Swackhamer, G. (1995) A modeling method for high school physics instruction. *American Journal of Physics*, 63(7), 606-619.
- 278 Wendell, K. B., Lee, H.-S. (2010) Elementary students' learning of materials science practices through instruction based on engineering design tasks. *Journal of Science Education and Technology*, 19, 580-601.
- 279 Wenning, C.J. (2005) Whiteboarding & Socratic dialogues: Questions & answers. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 3(1), 3-10.
- 280 Wenning, C.J. (2006) Engaging students in conducting Socratic dialogues: Suggestions for science teachers. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 4(1), 10-13.
- 281 Wenning, C.J. (2008) Dealing more effectively with alternative conceptions in science. *Journal of Physics Teacher Education Online*, 5(1), 11-25.
- 282 Wiebe, E. N., Bedward, J., Madden, L., Carter, M., Minogue, J. (2009) Graphic Representations in Science Notebooks: A Vehicle for Understanding Science Inquiry in the Elementary Classroom. Presented at AERA, San Diego, CA.
- 283 Windschitl, M. (2000) Supporting inquiry skills the development of science with special classes of software. *Educational Technology Research and Development*, 48(2), 81-95.
- 284 Worth, K., Duque, M., Saltiel, E. (2009) Designing and Implementing Inquiry-Based Science Units for primary education. Pollen. Seed Cities for Science. P.A.U. Education.

- 285 Wu, H.-K., Hsieh, C.-E. (2006) Developing Sixth Graders' Inquiry Skills to Construct Explanations in Inquiry-based Learning Environments. *International Journal of Science Education*, 28(11), 1289-1313.
- 286 Xin, Y.P., Zhang, D.K., Park, J.Y., Tom, K., Whipple, A., Si, L. (2011) A Comparison of Two Mathematics Problem-Solving Strategies: Facilitate Algebra-Readiness. *The Journal of Educational Research*, 104(6), 381 -395.
- 287 Zain, A.N.M., Rohandi, Jusoh, A. (2010) Instructional congruence and changing students' attitudes and interests toward science in "Low Performing" secondary schools. *Procedia: Social & Behavioral Sciences*, 2(2), 1260 -1265.
- 288 Zhang, B.H., Looi, C.K., Seow, P., Chia, G., Wong, L.H., Chen, W.L., So, H.J., Soloway, E., Norris, C. (2010) Deconstructing and reconstructing: Transforming primary science learning via a mobilized curriculum. *Computers & Education*, 55(4), 1504-1523.
- 289 Zhu, Y., Leung, F.K.S. (2011) Motivation and achievement: is there an east asian model?. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 9(5), 1189-1212.
- 290 Zimmerman, B.J. (1990) Self-regulated Learning and Academic Achievement: An overview. *Educational Psychologist*, 25(1), 3-17.
- 291 Zimmerman, B.J. (2000) Attaining self-regulation: a social cognitive perspective. In: Boekaerts, M., Pintrich, P.R., Zeidner, M. (Eds.), *Handbook of Self-Regulation*. San Diego, CA: Academic Press, 13-39.
- 292 Zimmerman, B.J. (2002) Becoming a Self-Regulated Learner: An overview. *Theory into Practice*, 41(2), 64-70.
- 293 Zohar, A. (2000) Inquiry Learning as Higher Order Thinking: Overcoming Cognitive Obstacles. In: Minstrell, J., van Zee, E.H. (Eds.), *Part 3: What Issues Arise with Inquiry Learning and Teaching?* American Association for the Advancement of Science, Washington, DC, 405-424.
- 294 Zoller, U. (2011) Science and Technology Education in the STES Context in Primary Schools: What Should It Take?. *Journal of Science Education and Technology*, 20(5), 444-453.
- 295 Zucker, A.A., Tinker, R., Staudt, C., Mansfield, A., Metcalf, S. (2008) Learning Science in Grades 3-8 Using Probeware and Computers: Findings from the TEEMSS II Project. *Journal of Science Education and Technology*, 17(1), 42-48.

A.3. Begrippenlijst

In deze begrippenlijst geven we een overzicht van de belangrijkste begrippen in deze review. Tussen haakjes staat, waar relevant, de oorspronkelijke Engelstalige term.

► Assessment (assessment)

De term 'assessment' houdt meer in dan het louter 'meten' van de leerresultaten (summatieve evaluatie) bij de leerlingen⁶⁸ (p.25), maar omvat ook de formatieve evaluatievormen en principes zoals beschreven in het hoofdstuk 3.8.

► Conceptueel inzicht (conceptual understanding)

Refereert naar een geïntegreerd en functioneel begrip van wetenschappelijke, wiskundige en/of technische ideeën.

► Creatief denken

Creativiteit is het vermogen om werk te produceren dat zowel vernieuwend is (m.a.w. origineel, onverwacht) en gepast (m.a.w. bruikbaar en aanpasbaar volgens de taakvereisten).

"Bij creatief denken gaat het om alternatieven: redeneren om iets nieuws of iets enigszins anders te bedenken²⁵⁸ (p.55)."

► Empirische studie

Een studie die gebaseerd is op eigen ervaring. Hierbij wordt gebruik gemaakt van directe of indirecte waarnemingen.

► Evaluatie

Het begrip evaluatie gebruiken we als een overkoepelende term. Zowel assessment als de traditionele testen uit de testcultuur worden onder deze noemer geplaatst⁶⁸ (p.26).

► Formatieve evaluatie (Formative assessment)

"Deze vorm van assessment heeft tot doel informatie te verzamelen over het leergedrag van de leerling en het leerproces van de leerling bij te sturen"⁶⁸ (p.26).

► Kritisch denken

"Bij kritisch denken gaat het om een zorgvuldige afweging: redeneren zodat een weldoordachte conclusie wordt verkregen²⁵⁸ (p.55)."

► Meta-analyse (meta analysis)

Op basis van een vraagstelling worden gepubliceerde resultaten van onderzoek gezocht in meerdere elektronische databases. De gevonden onderzoeken worden geselecteerd op basis van criteria, nadien beoordeeld op methodologische kwaliteit en de nodige resultaten worden uit de onderzoeksartikels gehaald. Bij een meta-analyse worden de resultaten van de afzonderlijke onderzoeken kwantitatief samengevat.

► Misconcepties (misconceptions)

Een misvatting of een fout die bij de leerling sterk leeft. Ook wel leerlingendenkbeelden, misvattingen, verkeerde opvattingen genoemd.

► Naïeve conceptie/opvatting

Een misvatting die persistent is en goed ingebed is in iemands cognitieve ecologie en moeilijk te corrigeren is, zeker niet door didactische methoden.

► Onderzoekende aanpak (inquiry based education; inquiry; inquiry based learning)

Inquiry blijkt verschillende betekenissen te hebben. In het hoofdstuk Hoe? is er voor gekozen om over onderzoekende 'aanpak' te spreken als het gaat over hoe er moet lesgegeven worden.

► Open onderzoek (open inquiry)

De leerlingen formuleren zelf een onderzoeksvraag, ze staan in voor het onderzoeksontwerp en de oplossingen. Bij open onderzoek is er een minimale begeleiding door de leraar.

► Samenwerkend leren (collaborative learning, cooperative learning)

In de review hebben we ervoor gekozen om deze termen op eenzelfde manier te vertalen. Er is een verschil maar dit wordt door niet alle auteurs gevolgd en de twee termen worden meer en meer door elkaar gebruikt. De omschrijvingen zijn te vinden in het deel over samenwerkend leren.

► Scaffolding (scaffolding)

'Het Engelse woord "to scaffold" betekent "een steiger bouwen". In de didactiek wordt het begrip gebruikt om aan te geven dat leerlingen tussenstapjes nodig kunnen hebben om bepaalde taken uit te voeren. De leraar (de expert) bouwt daartoe een "steigertje" waarop de leerling (de novice) even kan gaan staan om zijn hoger gelegen doel te bereiken.'²⁰ (p.9)

► STEM-disciplines (STEM)

Letterlijk: Science, Technologie, Engineering en Mathematics. In dit boek: Wetenschap, wiskunde en techniek.

► STEM-onderwijs (STEM)

STEM-onderwijs omvat wetenschappen, techniek en wiskunde en hun respectieve, doch vaak met elkaar verwante didactiek. Wanneer we in deze review verwijzen naar aanpakken voor STEM-onderwijs, bedoelen we daarmee aanpakken die gelden voor elk van de drie STEM-disciplines. Wanneer de integratie van de STEM-disciplines beoogd wordt, wordt dit expliciet in de tekst vermeld.

► Summatieve evaluatie (Summative assessment)

"Deze vorm heeft als doel een eindevaluatie te zijn op basis waarvan een beslissing genomen kan worden."⁶⁸ (p.27)

► Wetenschap (science)

De invulling van het woord wetenschap kan naargelang de bron zeer verschillend zijn. Wetenschap omvat altijd de natuurwetenschappen biologie, natuurkunde en chemie. Het kan echter ook technische wetenschappen en wiskunde omvatten.

Gezien in het vierletterwoord STEM deze disciplines gescheiden benoemd worden, zullen we het in deze literatuurstudie wanneer we het woord wetenschap gebruiken, het in principe hebben over natuurwetenschappen.

Let wel: in de lagere school valt wetenschap en techniek onder wereldoriëntatie (wero), waar ook aardrijkskunde en geschiedenis deel van uitmaken.

► Zelfeffectiviteit (self-efficacy)

Is het geloof in de eigen bekwaamheid om een veeleisende opdracht tot een goed einde te brengen.