



DE STEM-LEERKRACHT

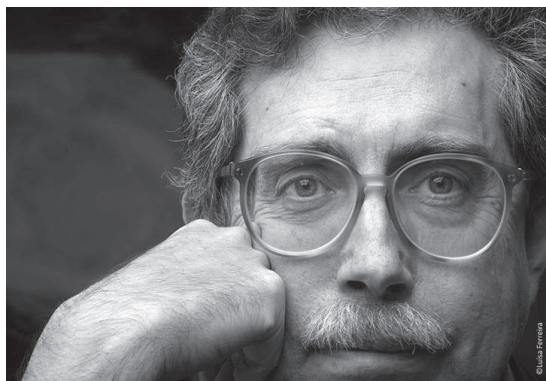
**Irina Veretennicoff
Joos Vandewalle (e.a.)**



Koninklijke Vlaamse Academie van België
voor Wetenschappen en Kunsten, 2015
Standpunten 38

De STEM-leerkracht

*Opgedragen aan
José Mariano Gago
(1948 - 2015)*



KVAB Press

Uitgaven
van
de Koninklijke
Vlaamse Academie
van België
voor
Wetenschappen
en Kunsten

Standpunten nr. 38



KVAB Press

Hertogsstraat 1
1000 Brussel
Tel. 02 550 23 23
Fax 02 550 23 25
www.kvab.be
info@kvab.be



De STEM-leerkracht

Irina Veretennicoff
Joos Vandewalle
Bert Seghers
Conny Aerts
Yvan Bruynseraede
Philippe Cara
Wim Dehaene
Bernadette Hendrickx
Charles Hirsch
Rik Hostyn
Christiane Malcorps
Niceas Schamp
Alexander Sevrin
Katrien Strubbe
Dirk Van Dyck
Paul Van Houtte
Veronique Van Speybroeck
Jacques Willems

De publicatie van deze uitgave als een KVAB-Standpunt werd goedgekeurd door de Klasse van de Natuurwetenschappen op 4 november 2015 en door de Klasse van de Technische Wetenschappen op 26 november 2015. De finale tekst werd na elektronische raadpleging door beide Klassen goedgekeurd voor publicatie op 31 december 2015.

Gedeeltelijke reproductie is toegelaten mits uitdrukkelijke bronvermelding.

DE STEM-LEERKRACHT

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
Samenvatting	4
1 Context en geschiedenis	6
1.1 Context: is Europa op weg naar een kenniseconomie en -maatschappij?	6
1.1.1 De Lissabondoelstellingen	6
1.1.2 De STEM-problematiek	6
1.2 Motivering: STEM-geletterdheid in een kennismaatschappij	7
1.2.1 De kennismaatschappij	7
1.2.2 Arbeidsmarkt smeekt om STEM-profielen	7
1.2.3 Verantwoordelijke burgerzin, geletterdheid en cultuur	8
1.2.4 Vorming in STEM-geletterdheid voor iedereen	9
1.3 Geschiedenis: de recente STEM-dynamiek in Vlaanderen	10
1.3.1 De Vlaamse Overheid	10
1.3.2 De onderwijs- en vrijetijdssector	11
1.3.3 De bedrijfswereld	11
1.3.4 De Vlaamse Raad voor Wetenschap en Innovatie	12
1.3.5 De Academie	12
2 STEM: betekenis, samenhang en belang	14
2.1 Betekenis van STEM	14
2.1.1 Science (Natuurwetenschappen)	14
2.1.2 Technology (Techniek)	14
2.1.3 Engineering	15
2.1.4 Mathematics (Wiskunde)	15
2.1.5 Informatica	16
2.2 Elke STEM-component heeft een eigen dynamiek met evoluties en revoluties	16
2.3 STEM-componenten groeien naar meer samenhang en verwevenheid	18
2.3.1 Wiskunde, taal der wetenschappen	18
2.3.2 Doorbraken in één vakgebied leiden tot doorbraken in een ander	18
2.3.3 Toepassingsgebieden stimuleren wetenschappelijk onderzoek	19
2.3.4 Nieuwe technologieën en observatietechnieken maken beter wetenschappelijk onderzoek mogelijk	19
2.4 STEM is sterk verbonden met alle aspecten van ons leven	20

2.5	Ethische aspecten	21
2.6	Besluiten voor het onderwijs	22
3	STEM-onderwijs.	23
3.1	STEM in het Vlaamse onderwijs anno 2016.	23
3.1.1	STEM in het lager onderwijs	23
3.1.2	STEM in het secundair onderwijs.	23
3.1.3	STEM-initiatieven buiten de school(m)uren: het informele leren	25
3.2	Opportunities voor het STEM-onderwijs.	27
3.2.1	Relevantie en contextualisering.	27
3.2.2	Integratie van STEM-componenten: de verwevenheid van STEM als troef gebruiken	28
3.2.3	Onderzoeken, ontwerpen, redeneren.	29
3.2.4	Duurzame samenwerking met alle actoren uit de samenleving.	30
3.3	Bouwstenen voor de verbetering van het STEM-onderwijs	31
3.3.1	Projectwerk	31
3.3.2	Herdenking van het Vlaamse STEM-onderwijs.	32
3.3.3	Vakdidactisch onderzoek	34
4	De leerkracht in het STEM-onderwijs	35
4.1	Het lerarenberoep en het lerarentekort	35
4.1.1	De (STEM-)leerkracht heeft het meestal niet gemakkelijk	35
4.1.2	Het lerarentekort algemeen en het tekort aan STEM-leerkrachten	37
4.1.3	Opwaardering van het lerarenberoep.	38
4.2	De samenwerkende en lerende leerkracht	40
4.2.1	STEM-departement	40
4.2.2	De lerende leerkracht	41
4.2.3	Structureel tijd voorzien.	43
4.3	Een STEM-centrum en STEM-onderwijs-masteropleiding.	43
4.3.1	Expertisecentrum voor STEM-onderwijs	43
4.3.2	Masteropleiding STEM-onderwijs.	45
	Overzicht van de aanbevelingen	48
	Executive summary	49
	Referenties	51
	Leden van de werkgroep.	55
	Dankwoord	55

Voorwoord

Reeks Standpunten

In overeenstemming met het convenant tussen de Vlaamse Regering en de Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten neemt de Academie deel aan het maatschappelijk debat door het uitbrengen van "Standpunten" die de aandacht vestigen op belangrijke maatschappelijke uitdagingen. Door haar multidisciplinariteit kan de Academie tijdig wijzen op tegenstrijdigheden en te verwachten knelpunten, en kan ze probleemstellingen formuleren, verdiepende inzichten bijdragen en beleidsalternatieven aangeven.

Dit Standpunt "De STEM-leerkracht"

Geïnspireerd door het Denkersprogramma *Flanders' future as a knowledge society* rond Denker José Mariano Gago, wenste de Academie de cruciale elementen van concretisering voor Vlaanderen te formuleren. Hiertoe is een werkgroep samengesteld van leden van de Academie en uitgebreid met deskundigen uit het werkveld. Vanuit deze werkgroep, en in lijn met een discussie die ook in de media in de voorbije maanden gevoerd werd, is dan gekozen om een gefocust standpunt te formuleren rond de "leerkrachten in het STEM-onderwijs".

Met het letterwoord "STEM" bedoelt men Science (natuurwetenschappen), Technology (techniek), Engineering en Mathematics (wiskunde), met inbegrip van de interactie van deze aparte STEM-componenten, zoals die vandaag onvoldoende aan bod komt in het onderwijs.

Met dit rapport wenst de Academie bij te dragen tot de wens om meer slagkracht te geven aan de leerkrachten belast met het STEM-onderwijs in Vlaanderen. De bedoeling is denkpistes te openen om alle leerlingen voor te bereiden op het leven en het werk in onze steeds meer complexe en technologiegedreven samenleving.

Dit Standpunt richt zich naar leerkrachten (en hun representatieve verenigingen), schooldirecties, de pedagogische begeleiding, de inspectie, de universiteiten en de professoren en decanen van STEM-faculteiten en de Vlaamse Overheid.

Deze tekst reikt tot buiten het leerplichtonderwijs – hij richt zich tot de hele samenleving en in het bijzonder tot gezinnen, organisatoren van wetenschapsactiviteiten voor de vrije tijd, en de media. Vele bevindingen en aanbevelingen strekken ook tot buiten Vlaanderen.

Samenvatting

Het succes van de STEM-academies, het VRWI-rapport *Kiezen voor STEM* en de lancering van een STEM-platform, STEM-kader en STEM-charter zijn maar enkele aanwijzingen voor een bredere dynamiek die in Vlaanderen leeft rond **S**cience, **T**echnology, **E**ngineering en **M**athematics. Degelijk onderwijs in deze disciplines is een grote bezorgdheid geworden voor beleidsmakers, niet alleen in Vlaanderen maar over de hele wereld. Een gezonde STEM-geletterdheid van de burgers en voldoende kenniswerkers met een STEM-vorming zijn immers noodzakelijk voor de ontwikkeling van een democratische kennismaatschappij met een technologie-gedreven, lerende economie. Zelfs in ontwikkelde landen is de wetenschappelijke geletterdheid van de bevolking vaak ontoereikend en vertoont de jeugd een gebrek aan belangstelling om te kiezen voor STEM-studies en -loopbanen.

Natuurwetenschappen, techniek, engineering en wiskunde zijn boeiende kennisgebieden, elk met hun eigen vooruitgang en revoluties. Ze zijn verweven met elkaar en beïnvloeden elkaar sterk in hun ontwikkeling. Bovenal is STEM verbonden met alle aspecten van ons leven en kan het een bijdrage leveren aan de grote uitdagingen van de mensheid: energie, mobiliteit, digitalisering, gezondheid ... Zowel STEM-professionals als technologiegebruikers, zoals wij allemaal, komen dan ook in aanraking met ethische aspecten van STEM. Deze motiverende elementen komen echter weinig aan bod in het secundair onderwijs anno 2016.

Om de STEM-geletterdheid te versterken bij alle leerlingen en een aantrekkelijk aanbod te voorzien voor jongeren die zich in STEM willen verdiepen, is een kwaliteitsvol STEM-onderwijs nodig. Daartoe worden drie didactische aanbevelingen onderbouwd: STEM-onderwijs (1) sluit best aan bij de waarden, interesses en leefwereld van leerlingen, door nieuwe inhoud aan te brengen vanuit een concrete context die de relevantie ervan benadrukt; (2) streeft een betere integratie na van de vier STEM-componenten, met respect voor hun eigenheid; en (3) laat best de creatieve STEM-processen ervaren: redeneren, onderzoeken, ontwerpen, probleemoplossend denken ...

Deze aanbevelingen noodzaken een ingrijpende hervorming van het STEM-onderwijs, gefundeerd op didactisch onderzoek.

De leerkrachten die onderwijs in STEM-disciplines verzorgen (*STEM-leerkrachten* als overkoepelende term) spelen een cruciale maar kwetsbare rol. Ze hebben het niet altijd gemakkelijk en het lerarentekort wordt steeds ernstiger. Loopbaanstimulansen en een vertrouwen dat het professionalisme van de leerkracht erkent, moeten het lerarenberoep terug opwaarderen. STEM-leerkrachten uit verschillende disciplines worden aangemoedigd samen te werken met elkaar en met externe STEM-professionals, in het STEM-departement van een school. Het Vlaamse onderwijssysteem voorziet nog te weinig tijd waarin leerkrachten kunnen bijleren,

o.a. door navorming en bijscholing. Ook een goede netwerking en mentoring zijn van belang.

Om deze aanbevelingen te realiseren wordt de oprichting gesuggereerd van een STEM-centrum en STEM-masteropleiding. Een expertisecentrum voor STEM-onderwijs kan het aanspreekpunt worden voor leerkrachten en andere onderwijsactoren, de bedrijfswereld en journalisten. Een tweejarige, initiële educatieve masteropleiding STEM-onderwijs zou openstaan voor alle bachelors uit een STEM-gebied en lesbevoegdheid geven voor het vak waarin de vooropleiding van de student zich situeert (academische bachelor in een STEM-gebied). De werkgroep pleit ook voor een STEM-gerichte professionele lerarenopleiding, maar dit was niet de focus van dit Standpunt.

1 Context en geschiedenis

1.1 Context: is Europa op weg naar een kenniseconomie en -maatschappij?

1.1.1 De Lissabondoelstellingen

STEM-onderwijs en -onderzoek staat sinds het begin van de jaren '90 hoog op de agenda van Europese politici en beleidsmensen. Immers, investeren in informatie- en communicatietechnologie en levenswetenschappen bleek te leiden tot een belangrijke economische return.

Dit optimisme is terug te vinden in de ambities van de "agenda van Lissabon", ondertekend in 2000, waarin de EU-lidstaten zich voornamen om samen op 10 jaar tijd de meest competitieve kenniseconomie/-maatschappij ter wereld te worden.

Ook voor Vlaanderen hield dit de verplichting in om meer te investeren in onderzoek en innovatie, meer en betere onderzoekers en werknemers in STEM-beroepen aan het werk te zetten en dus meer leerlingen en studenten in de STEM-disciplines op te leiden.

1.1.2 De STEM-problematiek

Dit is echter niet eenvoudig, want de STEM-problematiek is anno 2016 actueler dan ooit: het is welgekend ^[8, 38] dat de belangstelling voor (studies) wetenschappen en techniek bij de meerderheid van de bevolking (in het bijzonder bij de jeugd, de ouders en de media) onrustwekkend laag ligt terwijl de arbeidsmarkt gediplomeerden in die disciplines juist broodnodig heeft. Anderzijds hebben jongeren tot 15 jaar bijzondere interesse in vragen die alleen via STEM beantwoord kunnen worden.

Als belangrijkste oorzaak van deze onvoldoende interesse in het studeren van STEM-disciplines wijzen talrijke studies op de ontoereikende overeenstemming tussen enerzijds de inhoud en methodes van het leerplichtonderwijs (lager en secundair) en anderzijds de maatschappelijke omwentelingen die onze samenleving heeft ondergaan sinds de derde industriële revolutie en de onvoorspelbare verdere ontwikkeling van het internet en de sociale media.

De wereld en samenleving zijn sterk veranderd en veranderen nog sneller elke dag. Ons onderwijssysteem is te weinig en wellicht ook te traag veranderd.

1.2 Motivering: STEM-geletterdheid in een kennismaatschappij

1.2.1 De kennismaatschappij

Vandaag leven de mensen van rijke landen, zoals het onze, in een complexe wereld vol waarneembare maar ook onzichtbare ("embedded") technologie, waarin allerlei informatie massaal beschikbaar is en ultrasnel gecommuniceerd kan worden.

Alles wijst erop dat de groei van deze complexiteit steeds sneller gaat. Dit vraagt in de eerste plaats goed opgeleide burgers (en werknemers). Allicht zal deze evolutie bovendien gepaard gaan met een groeiende ongelijkheid binnen de samenleving met nefaste gevolgen. De voor de hand liggende oplossing voor dit probleem is het verwezenlijken van een inclusief, kwaliteitsvol, maar ook realistisch onderwijssysteem: een uitdaging van formaat waar ook Vlaanderen voor staat.

Als samenleving moeten we ervoor zorgen dat onze jeugd wordt gevormd tot verantwoordelijke volwassenen die o.a. informatie kunnen opzoeken en kritisch analyseren, bewust en geïnformeerd beslissingen nemen, met een onderzoekende houding (al dan niet wetenschappelijke) kennis vergaren, kennis naar waarde schatten en nieuwsgierig zijn om levenslang te blijven bijleren. Bereidheid tot levenslang leren is noodzakelijk wanneer hun situatie (werk, vrije tijd of dagelijks leven) hen noodzaakt om nieuwe competenties, inzichten en vaardigheden te verwerven.

Willen we een *kennismaatschappij* uitbouwen, dan moet ons onderwijs een dergelijke vorming ambiëren. "Een kennismaatschappij genereert, verwerkt, deelt en stelt aan alle leden van de samenleving kennis ter beschikking die gebruikt kan worden om de menselijke conditie te verbeteren," definieert UNESCO. We zullen betogen dat een goed gevormd STEM-onderwijs een belangrijke pijler is om deze kennismaatschappij te realiseren en te bestendigen.

1.2.2 Arbeidsmarkt smeekt om STEM-profielen

STEM is een uitstekende voorbereiding op de jobmarkt van de toekomst, zeker in onze maatschappij, waarin kennis wordt getoetst door onafhankelijke wetenschappelijke methoden en de ontwikkeling van nieuwe wetenschappelijke en technische kennis een hefboom is voor economische groei en welvaart.

Zowel de academische onderzoekswereld als de industrie bieden heel wat interessante mogelijkheden voor wie wetenschappelijke of technologische kennis kan gebruiken, uitleggen en creëren. Meer zelfs, de arbeidsmarkt kent een hoge nood aan dergelijke profielen. Dit is niet alleen een Vlaams of Belgisch probleem, maar een typische "ziekte" van rijke beschavingen, met als symptoom dat werkgevers een grotere moeite hebben om STEM-jobs ingevuld te krijgen.

Het is evenwel verleidelijk de gebrekkige instroom in STEM-studierichtingen zuiver vanuit economisch oogpunt te bekijken, alsof het voornaamste argument voor een sterk wetenschapsonderwijs de invulling is van knelpuntjobs; alsof het *enige* einddoel van STEM-initiatieven een verhoging van onze economische competitiviteit is, door meer wetenschappers en ingenieurs te laten afstuderen. Hoewel sterker STEM-onderwijs hier zeker toe kan bijdragen, is er *veel meer* dan enkel dit.

1.2.3 Verantwoordelijke burgerzin, geletterdheid en cultuur

STEM heeft namelijk ook een meer algemeen vormend karakter.

- STEM-geletterdheid zou leerlingen inzicht moeten geven in hoe hun lichaam, hun huis, hun auto, hun computer werkt, en hetzelfde voor meer complexe systemen zoals een bedrijf, hun stad, het klimaat, de (wereld)economie, een ecosysteem ... Idealiter is STEM-geletterdheid een middel om tot een globaal beeld van de wereld te komen, met een dieper inzicht in haar evolutie in ruimte en tijd.¹
- Wie gewapend is met wetenschappelijke inzichten in de onderliggende werking van de vele nieuwe technologieën die ons overspoelen, zal meer dan een stapje voor hebben.
- STEM-geletterdheid is een fundament om meer gespecialiseerde STEM-kennis op te bouwen. Met een vorming waarin STEM voldoende is uitgewerkt, kunnen studiekeuzers met meer comfort kiezen voor een studierichting die hen zal toelaten om bij te dragen aan die uitdaging van de wereld die hen het meest aanspreekt.
- Kennis hebben van STEM is delen in de gemeenschappelijke kennisbasis van de globale samenleving. Wetenschap overstijgt culturen.

Naast de grote waarde van wetenschappelijke *kennis* is STEM in staat om ook wetenschappelijke *houdingen* en *wijsheid* te vormen.

- Dankzij een wetenschappelijke vorming kan men begrijpen wat wetenschap is en hoe onderzoek werkt, kan men deugdelijk argumenteren, onderbouwen en bewijzen, weet men hoe gegevens verzameld en geïnterpreteerd worden, kortom: beheerst men de methodieken om onafhankelijk onderzoek uit te voeren.²

¹ Dit dieper inzicht in "de wereld" wordt pas optimaal gerealiseerd als het STEM-onderwijs haar leerinhoud uitvoerig contextualiseert (zie 3.3.1) en haar vakoverschrijdend karakter niet alleen de andere STEM-disciplines omvat (zie 3.3.2), maar ook verder gaat tot en met de geschiedenis, menswetenschappen, economie, talen, rechten en kunst (wederom 3.3.1).

² Aan een wetenschappelijke cultuur via STEM-onderwijs hecht(te) ook Barack Obama veel belang. Zijn onderdirecteur wetenschapsbeleid van het Witte Huis verwoordde het treffend: "It's just as important that we have an impact on the rest of society in terms of understanding what science is, how we make arguments, how data are collected, and how data are interpreted as it is to attract (future) scientists to the field." [29]

- Het voorziet mensen naast onderzoekscompetenties ook van een *onderzoekende houding*. In het bijzonder zullen beleidsmakers (in overheid, bedrijf of huishouden) met een neiging tot onafhankelijk onderzoek in staat zijn om de juiste keuzes te maken.³
- STEM prikkelt de verwondering, scherpt de drang om de realiteit beter te begrijpen en ontwikkelt zo een nieuwsgierige houding.
- Wetenschappelijk-technische geletterdheid is een belangrijke troef om als burger bewust in de samenleving van morgen te kunnen staan. Het maakt een mens weerbaar tegen oplichtingstechnieken, kwakzalverij en overtuigend gedachtengoed. Door wetenschappelijke en maatschappelijke bagage kunnen mensen kritisch en gefundeerd oordelen, zonder toepassing van enig (bijvoorbeeld religieus) autoriteitsprincipe. STEM-vorming is zo de basis van verantwoordelijke burgerzin.^[14]
- Deze attitudes planten de kiem voor een houding van levenslang leren en zijn op die manier belangrijk voor aanpassingsvermogen en sociale mobiliteit (de "sociale lift") en uiteindelijk voor sociale en politieke participatie en integratie.^[17]

STEM-geletterdheid is daarom *een belangrijke sleutel tot de verdere uitbouw van onze samenleving*. Een cultuur van wetenschappelijke ingesteldheid is dus een doel op zich en maakt een verdraagzame, democratische samenleving mogelijk.

1.2.4 Vorming in STEM-geletterdheid voor iedereen

Een gebrekkige voeling met STEM zal in de toekomst misschien een grotere handicap zijn dan nu al het geval is. Het is daarom niet verwonderlijk dat we voor dit alles kijken naar (o.a.) het onderwijs, om kinderen en jongeren optimaal te vormen zodat ze kunnen functioneren in de complexe wereld waarin ze zullen terechtkomen. Het installeren en onderhouden van STEM-geletterdheid zou één van de belangrijkste doelstellingen moeten zijn van het Vlaamse onderwijs.

Een STEM-basisvorming voor iedereen is dus nodig: iedere jongere zou (tot op bepaalde hoogte) wetenschappelijke inzichten moeten hebben, in staat moeten zijn om probleemoplossend en logisch te kunnen nadenken, techniek te gebruiken, de principes die haar werking verklaren te begrijpen en besef te hebben van de cruciale rol die STEM speelt.

Een STEM-basisvorming kan bovendien ondernemingszin en durf voor innovatie ontwikkelen. Al zoekend naar oplossingen in een STEM-project leert men immers leren van gunstige beslissingen en fouten. Het koesteren van deze leermomenten als opportuniteiten om te verbeteren en later zo uiteindelijk tot een doorbraak of

³ Zeker in een wereld waar gegevens en informatie alomtegenwoordig zijn, bestaat de kunst erin om de toegankelijke informatie om te zetten in inzicht en attitudes. STEM heeft het potentieel om deze piramide van wijsheid te leren beklimmen, van data, over informatie, kennis en begrip naar wijsheid – eerst onder begeleiding van een ervaren gids, maar later als een ervaren piramideklimmer.

nieuwe oplossing te komen, is de grondslag voor een ondernemende en innoverende houding.

Gevorderd STEM-onderwijs moet er zijn voor sommigen. Als de STEM-basisvorming aantrekkelijk is, zullen meer leerlingen kiezen voor een STEM-focus in hun studie. Meisjes en jongens die voor wetenschap en technologie een bijzondere motivatie ontwikkelen, moeten de kans krijgen zich te verdiepen in die specifieke studierichtingen, zowel in het secundair als in het hoger onderwijs en moeten hiervoor gecoacht worden.

De wetenschappelijk-technologische geletterdheid moet *permanent gestimuleerd* worden, en dit van de samenleving in haar geheel. Dit hoort zowel via formele onderwijskanalen (stages in bedrijven, bijscholing, studiedagen) als via informele kanalen. Er bestaat internationaal een weelde aan informele wetenschapsvoorlichtingskanalen, waar Vlaanderen inspiratie uit zou kunnen putten.⁴

1.3 Geschiedenis: de recente STEM-dynamiek in Vlaanderen

Om de STEM-problematiek aan te pakken zijn er heel wat acties geweest. De acties in Vlaanderen zijn indrukwekkend – er zijn vele bottom-up- en ook enkele top-downinitiatieven.

1.3.1 De Vlaamse Overheid

Sinds 2004 heeft de Vlaamse Regering STEM-interesse in toenemende mate op haar agenda gezet, ondersteund door de talrijke adviezen van de Vlaamse Onderwijsraad en het Vlaams Parlement.

- **Technopolis** (in feite *Flanders Technology International* vzw) coördineert in opdracht van de Vlaamse Overheid programma's voor *informeel STEM-leren* (zie 3.1.3).
- De implementatie van het indrukwekkende **Masterplan hervorming secundair onderwijs** staat anno 2016 in de startblokken. De eerste stenen werden gelegd in 2003, vanuit de observatie van een tekort aan technisch geschoolden. De hervorming is er niet alleen *voor STEM*, maar streeft o.a. een meer aantrekkelijke STEM-vorming en een opwaardering van technische richtingen na.^[11]
- In 2008 verscheen het waardevolle eindverslag van **het project TOS21** – “Techniek op school / Technische Geletterdheid voor iedereen”.^[52]
- In 2012 werd het **STEM-actieplan 2012-2020** gelanceerd “voor het stimuleren van loopbanen in wiskunde, exacte wetenschappen en techniek”, waarin de oprichting van het STEM-platform werd aangekondigd.^[44] Het startschot kwam

⁴ De gespecialiseerde en algemene pers, korte stukjes in het nieuws (bv. weerberichten) en andere (buitenlandse) tv-programma's, met inbegrip van deze voor de kinderen en de jeugd en uiteraard het internet (YouTube, MOOC's en leerplatformen).

er op 13 september 2013, met een gemeenschappelijke persconferentie van de Vlaamse minister-president, de Vlaamse minister van Onderwijs, de Vlaamse minister bevoegd voor Wetenschap en Innovatie en het STEM-platform, waarop de strategie en concrete actiepunten werden voorgesteld.^[40]

- Hierbij werd **het STEM-platform** voorgesteld, opgericht naar het voorbeeld van het platform bètatechniek van onze noorderburen. Het STEM-platform is een onafhankelijke expertengroep die de Vlaamse Regering adviseert. Het zijn vrijwilligers die bereid zijn hun kennis, ervaring en netwerk in te zetten om de beoogde doelstellingen te bereiken.
- Hierbij werd ook **de STEM-stuurgroep** gelanceerd, die vertegenwoordigers samenbrengt van de drie cruciale beleidsdomeinen Onderwijs en Vorming; Werk en Sociale Economie; en Economie, Wetenschap en Innovatie. Telkens omvat dit zowel het kabinet van de bevoegde minister, het gelijknamige departement dat de administratie voert en het beleid voorbereidt, als de strategische adviesraad (VLOR, SERV, VRWI). De STEM-stuurgroep trekt de uitvoering van het STEM-actieplan en beheert de middelen ervoor.
- Onder het motto *STEM voor de Toekomst* lanceerde de STEM-stuurgroep op 22 november 2015 (Dag van de Wetenschap) het "**STEM-charter**", op advies van het STEM-platform.^[41] STEM-partners die het ondertekenen engageren zich publiekelijk om samen te werken om de doelstellingen van het STEM-actieplan te behalen. Het gaat hier vooral over samenwerking tussen bedrijven, sectoren, universiteiten, musea, individuele STEM-ambassadeurs, sterrenwachten, Technopolis ... en natuurlijk het onderwijs.
- Tegelijkertijd heeft de Vlaamse minister van Onderwijs het **STEM-kader** voorgesteld: een raamwerk met principes en kwaliteitscriteria voor goed STEM-onderwijs, dat zich vertaalt in richtlijnen en doelstellingen voor alle directeurs en leerkrachten die in hun school en klas met STEM aan de slag willen.^[13]
- Het Departement Onderwijs en Vorming stimuleert, ondersteunt en coördineert de spontaan gegroeide **Lerende Netwerken** van onderwijsprofessionals die best practices uitwisselen rond STEM-onderwijs, vaak gecoördineerd door een lerarenopleiding. Deze kunnen de vorm aannemen van het informeren van tientallen leerkrachten tot samenwerkingsverbanden tussen scholen, hoger-onderwijsinstellingen en pedagogische begeleidingsdiensten.

1.3.2 De onderwijs- en vrijetijdssector

Voor de talrijke en bewonderenswaardige bottom-upinitiatieven in het kader van het informele leren, zoals de STEM-academies, verwijzen we naar paragraaf 3.1.3.

1.3.3 De bedrijfswereld

Ook de Vlaamse bedrijfswereld doet inspanningen om belangstelling van jongeren te wekken voor STEM(-beroepen). Zowel de sectorfederatie van de chemische industrie, kunststoffen en life sciences **essenscia** als de sectorfederatie van de

technologische industrie **Agoria** hebben de laatste jaren projecten gelanceerd en middelen geïnvesteerd om meisjes en jongens aan te sporen voor STEM-jobs of -studierichtingen te kiezen, met aandacht om ook hun ouders te bereiken. Ook individuele bedrijven zetten allerlei acties op, soms via partnerships met wetenschapscommunicatieactoren (zoals Technopolis).

Er zijn vruchtbare samenwerkingen tussen de bedrijfswereld en het beroeps-secundair onderwijs in de vorm van diverse soorten werkplekleren (duaal leren, praktijklessen, stages, leerwerkopleidingen ...) die de leerlingen kunnen (her) motiveren voor (STEM op) de werkvloer. Ook de eenjarige beroepsvoorbereidende secundair-na-secundair-opleidingen die men na TSO of KSO kan volgen (waaronder veel STEM-richtingen), zitten in de lift.

1.3.4 De Vlaamse Raad voor Wetenschap en Innovatie

De *Vlaamse Raad voor Wetenschapsbeleid en Innovatie* is zich al langer bewust van de STEM-problematiek.^[54] In 2011 heeft de VRWI een onderzoeksoopdracht uitgeschreven die geleid heeft tot het belangrijke rapport **"Kiezen voor STEM"** (2012).^[8] Het bevat 34 waardevolle aanbevelingen, waarvan de meerderheid nog volop actueel is. Een samenvatting ervan werd gepubliceerd in het VRWI-advies *175 Kiezen voor STEM: de keuze van jongeren voor technische en wetenschappelijke studies*.^[55] De resultaten werden uitgebreid besproken in het Vlaams Parlement en waren de basis voor verdere acties van de Overheid.

De conclusies in "Kiezen voor STEM" hebben dezelfde strekking als deze in dit Standpunt, namelijk dat er nood is aan een grondige herziening van de leerstof, eindtermen en leermethodes in het lager maar vooral secundair onderwijs. Eveneens moet gewerkt worden aan de herwaardering van de status van de leerkrachten in onze samenleving, een grondige herziening van de lerarenopleiding en de oprichting van een efficiënte, inspirerende en continue leerkrachtenbegeleiding in wat men nu "STEM-educatie" noemt.

1.3.5 De Academie

De Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten organiseerde in 2014 een Denkersprogramma over dit thema: *"Is Vlaanderen inderdaad op weg naar een nieuwsgierige, enthousiaste en innovatiegedreven kennismaatschappij?"*. Hiervoor werd prof. José Mariano Gago⁵ aangesteld als

⁵ José Mariano Gago was hoogleraar in de experimentele hoge-energiefysica en veertien jaar lang minister van o.a. wetenschap in Portugal, waar hij erin geslaagd is een revolutie van wetenschappelijke cultuur te realiseren bij de bevolking, door onder meer een hervorming van het wetenschapsonderwijs en de uitbouw van een netwerk van wetenschapscentra. Als Europees beleidsmaker ligt hij aan de basis van o.a. de Lissabondoelstellingen, de Bolognahervorming van het hoger onderwijs, de European Research Council (ERC), de European Research Area (ERA), en

Denker. Op basis van zijn eigen inzichten en tientallen gesprekken met Vlaamse stakeholders gaf hij zijn analyse van de weg die Vlaanderen heeft af te leggen richting een duurzame kennismaatschappij. De reflectie en tien *high level* aanbevelingen van José Mariano Gago vindt u terug op de website van de KVAB.^[17]

Dit rapport is de analyse door een werkgroep, mede geïnspireerd door wat onze Denker ons heeft geleerd. We dragen dit Standpunt dan ook op aan José Mariano Gago, die in 2015 overleed.

leverde hij wezenlijke bijdragen aan de uitbouw van o.a. EuroScience, CERN en ESA. Hij was penhouder van het invloedrijke rapport *Europe needs more scientists*^[16] voor de Europese Commissie. Hij heeft het belang van onderzoek(ers) voor een kennismaatschappij blijvend op de kaart gezet. José Mariano Gago is overleden op 17 april 2015.

2 STEM: betekenis, samenhang en belang

2.1 Betekenis van STEM

STEM is een internationaal erkend letterwoord dat staat voor de domeinen van Science (natuurwetenschappen) - Technology (techniek) - Engineering - Mathematics (wiskunde). Deze zullen verder aangeduid worden als de vier STEM-componenten. Dit hoofdstuk legt de klemtoon vooral op hun onderlinge verbondenheid, hun dynamiek en hun belangrijke rol in de samenleving.

2.1.1 Science (Natuurwetenschappen)

Met “wetenschap” wordt meestal het geheel aan ideeën over de wereld (natuur, mens, maatschappij) bedoeld, gerechtvaardigd door empirische aanwijzingen en geaccumuleerd doorheen de tijd. Ook de processen waardoor deze ideeën tot stand komen worden “wetenschap” genoemd. In die zin horen economie, filosofie, geschiedenis, psychologie, sociologie en biomedische wetenschappen ook thuis onder de algemene term “wetenschap”.

Maar in de context van STEM staat de “S” van Science alleen voor de natuurwetenschappen: dit zijn de geaccumuleerde inzichten over de fysische wereld. We denken dan hoofdzakelijk aan de fysica, sterrenkunde, chemie, biologie, biochemie, geologie en geografie. De waaier aan subdisciplines in deze natuurwetenschappen is onvoorstelbaar breed en elk gebied heeft eigen methoden en jargon, en een interessante geschiedenis.

Wetenschappers proberen de realiteit zo objectief mogelijk te verkennen, te begrijpen en te modelleren. Ze proberen steeds betere inzichten te krijgen in de fenomenen die ze kunnen waarnemen. Vaak begint het met verwondering en weetgierigheid, maar soms ook met de wil om nieuwe kennis te gebruiken in toepassingen. Die zetten de wetenschappers aan tot een vraagstelling (vragen), waarna ze een onderzoek voeren. Daartoe wordt een experiment opgezet, dikwijls met vernuftig ontworpen instrumenten (observeren, meten). De wetenschappers interpreteren de resultaten van het experiment (analyseren) om nieuwe verklaringen en wetmatigheden af te leiden (concluderen). Zo kunnen bestaande theorieën en modellen worden verfijnd of zelfs vervangen door andere.

2.1.2 Technology (Techniek)

Met het Engelstalige *technology* worden de systemen, processen en objecten bedoeld, die een specifieke functionaliteit realiseren en door mensen zijn gemaakt om tegemoet te komen aan hun behoeften of verlangens. Alle apparaten, machines, producten en diensten vallen hier waarschijnlijk onder: een elektriciteitscentrale, brug, vliegtuig, satelliet, wiel, bewegingssensor, robot, prothese,

bliksemafleider, softwarepakket, lijm, computerchip, elektronisch betaalsysteem, laser, luidspreker, CT-scanner, smartphone, internet, batterij, enz. Nieuwe technologieën komen vaak tot stand door inzichten in de (natuur)wetenschappen te vertalen in functionaliteit.

Het behoeft geen betoog dat onze huidige samenleving en economie in grote mate op technologie steunen.

Hoewel de woorden *techniek* en *technologie* vaak door elkaar gebruikt worden, hanteren we systematisch de term *techniek* voor de vaardigheid van het hanteren, begrijpen, maken en gepast inzetten van technologische systemen, in overeenstemming met het STEM-kader^[13] en de aanbevelingen van TOS21.^[52]

2.1.3 Engineering

Met *engineering* bedoelt men het systematisch, creatief proces van het *ontwerpen* van objecten en systemen die problemen oplossen van mensen, bedrijven en de samenleving. Bij dit uitvinden, ontwerpen, maken, onderhouden en verbeteren van machines, structuren, systemen, (bio-)processen en diensten worden kennis, kunde en vakmanschap toegepast van wiskundige, (natuur)wetenschappelijke, economische, sociale en praktische aard.

Binnen de ingenieurswetenschappen kan men meerdere specialiteiten onderscheiden zoals toegepaste natuurkunde, werktuigkunde, bouwkunde, elektriciteit, computerwetenschappen, materiaalkunde, toegepaste scheikunde en bio-ingenieurswetenschappen, waaronder landbouw. Vandaag doen de ontwerpen vaak beroep op meerdere specialisaties tegelijk – en dat zal in de toekomst nog meer het geval zijn. Het is inherent aan engineering dat er meerdere oplossingen zijn, waartussen een economisch, ecologisch, en ethisch verantwoorde keuze gemaakt moet worden.

2.1.4 Mathematics (Wiskunde)

Wiskunde is de systematische studie van abstracte concepten als hoeveelheden, ruimte, verandering en structuur. Voor de meesten onder ons staan de zuivere en toegepaste wiskunde voor het geheel van kennisgebieden zoals rekenkunde, logica, algebra, meetkunde, analyse en statistiek. Wiskundigen formuleren vermoedens en leiden, via logisch redeneren, gevolgtrekkingen af uit goedgekozen axioma's en definities. Statistici leiden empirisch wetmatigheden af voor populaties op basis van onvertekende steekproeven en stellen optimale foutenschattingen op.

Het onderwijs, van het lager tot het hoger, besteedt veel tijd aan wiskunde. Wie wiskunde aanleert, oefent zich in eerste instantie in het rekenen en werken met formules en grafieken, dan in het helder formuleren van begrippen en inzichten en ten slotte in het logisch denken, afleiden, omgaan met abstracte objecten en het

abstraheren zelf. Dat zijn algemene vaardigheden die ook tot ver buiten de grenzen van de wiskunde hun dienst bewijzen.

2.1.5 Informatica

Informatica of *computerwetenschappen* is hier niet expliciet vermeld onder één van de vier STEM-componenten, maar is niettemin een belangrijke schakel in de STEM-ketting, met een verbindende rol. Theoretische aspecten van informatica liggen dicht bij de wiskunde, terwijl softwareontwerp, computertalen, artificiële intelligentie, computer graphics, computerarchitectuur en hardware dan weer dichter bij engineering liggen. Daarenboven is het wiskundig modelleren en simuleren met de computer onmisbaar voor praktisch alle takken van alle vier de STEM-componenten.

2.2 Elke STEM-component heeft een eigen dynamiek met evoluties en revoluties

Iedere STEM-component evolueert volop volgens een eigen dynamiek en vraagt inbreng van steeds beter gevormde onderzoekers en STEM-beoefenaars.

Elke **natuurwetenschap** evolueert in een cyclisch proces met opeenvolgende fasen van "incrementeel onderzoek" en "paradigmabreuken".^[26] Een paradigma is een samenhangend stelsel van modellen en theorieën die een denkkader vormen waarbinnen de werkelijkheid geanalyseerd en beschreven wordt.^[13] Het bestaat uit begrippen (bv. massa, volume, temperatuur, druk), wetten (verbanden tussen deze begrippen, bv. de ideale gaswet) en (meestal impliciete) hypothesen (bijvoorbeeld over ruimte en tijd). Via observatiemethoden controleren wetenschappers de efficiëntie van het paradigma bij het verklaren en voorspellen van het gedrag van hun studieobjecten. Meestal kunnen ze zo de theorie verder bijstellen en verfijnen. Wanneer nieuwe observaties echter niet meer kunnen verklaard worden binnen een bestaand paradigma, is de theorie *gefalsificeerd*. Dan ontstaat de nood aan een vaak radicaal vernieuwend paradigma. Markante voorbeelden van dergelijke *paradigmabreuken* zijn (1) het vervangen van de wetten van Newton door Einsteins algemene relativiteitstheorie voor de studie van zwaartekracht, (2) het vervangen van de visie over straling en materie dankzij de kwantumfysica, wat geleid heeft tot laserfysica en (3) de evolutieleer.

Technologieën doorlopen typisch drie fasen:^[36] de creatie van een nieuwe technologie (uitvinding), de commerciële introductie ervan (de innovatie), en de verspreiding (diffusie). Het ontstaan en de evolutie van *nieuwe technologieën* verloopt gelijkaardig aan het ontstaan van nieuwe paradigma's in de wetenschappen. Er zijn vaak graduele, geleidelijke veranderingen maar soms ook grote of disruptieve veranderingen, elk met hun dynamiek.^[2] Bij een disruptieve

verandering is er meestal geen compatibiliteit tussen de “oude” en de “nieuwe” technologie, zoals bij de overgang van langspeelplaten naar cd’s. Twee technologieën kunnen samen ook aan de wieg liggen van een totaal nieuwe technologie, zoals het ontstaan van het internet uit computertechnologie en telecommunicatie. De integratie van specialiteiten zoals bio- en nanotechnologie opent eveneens nieuwe mogelijkheden. Soms ontstaan nieuwe technologieën uit veranderingen in materialen, architecturen en fabricatietechnieken of door nieuwe combinatie van componenten. Soms ontstaat er evenwel een verdieping van de technologieën door deze te laten werken onder andere omstandigheden dan deze waarvoor ze ontworpen zijn, of door het inbouwen van meer veiligheid, betrouwbaarheid en duurzaamheid of door nieuwe onderdelen toe te voegen, of te vervangen, of door een verbetering van de prestaties.

Binnen de **ingenieurswetenschappen** staat het oplossen van nieuwe problemen centraal. Dit kan een totaal nieuw probleem zijn, dat nog niemand heeft kunnen oplossen zoals het ontwerpen van een technologie die gebruikmakend van elektrische stroom licht produceert (de gloeilamp van Edison). Meestal echter is het probleem een uitdaging om een meer performant ontwerp te maken, zoals een snellere computer. Deze nieuwe vindingen worden dan vaak in een octrooi vastgelegd, om de vinders en hun werkgevers toe te laten dit uit te werken tot een product met marktwaaarde en hiervoor erkend en vergoed te worden. Gewoonlijk heeft een probleem meerdere oplossingen, maar het is ook mogelijk dat er geen oplossing kan gevonden worden. Als er meerdere oplossingen zijn moeten ingenieurs de diverse oplossingen vergelijken op hun verdiensten en hun functionaliteit voor het vooropgestelde doel. Ingenieurs zullen typisch proberen te voorspellen hoe goed hun ontwerpen zullen werken wanneer die op volle schaal geproduceerd worden. Zo vraagt een nieuw gevonden chemische reactie in een proefbuisje nog een aantal niet-triviale stappen van schaalvergroting naar een reactor van 10 meter in een chemisch bedrijf. Hierbij maakt men gebruik van o.a. prototypes, schaalmodellen, computersimulaties en talloze (soorten) testen. Wanneer bepaalde problemen opgelost zijn, kan men overstappen naar nog meer ingewikkelde of uitdagende problemen, of men kan de oplossingen aanpassen zodat ze ook in andere omstandigheden of voor andere menselijke noden kunnen aangewend worden.

De evolutie van de **wiskunde** kan vergeleken worden met de groei van een boom. Wanneer men een verzameling met een bijkomende structuur definieert (zoals een ordening, vectorruimte, veld, metrische ruimte...), kan men hiervoor eigenschappen afleiden en die neerschrijven in stellingen en hun bewijzen. Telkens wiskundigen zo’n nieuwe structuur definiëren, ontstaat er een nieuwe tak van de wiskunde. De ganse boom van wiskundige kennis groeit naarmate wiskundigen meer takken ontwikkelen door nieuwe eigenschappen en stellingen te bewijzen – zuivere wiskundigen doen dit meestal uit nieuwsgierigheid of gevoel voor esthetiek; toegepaste wiskundigen eerder met het oog op een bruikbare wiskundige gereedschapskist voor een toepassingsgebied.

Wiskundige theorieën kunnen niet ontkracht worden, zoals wetenschappelijke theorieën. Zelfs wanneer niemand zich de redenering achter een stelling kan herinneren blijft zij immers waar, klaar om weer opgepikt te worden in een verre of nabije toekomst. ^[28]

2.3 STEM-componenten groeien naar meer samenhang en verwevenheid

Het is uiterst belangrijk om in te zien dat geen enkele STEM-(sub)discipline vandaag op haar eigen eiland leeft. Ze beïnvloeden elkaar permanent. De dynamiek van elk van de disciplines zoals beschreven in paragraaf 2.2 stuurt de evolutie van het geheel in alle richtingen, meestal in teamwerk, en interdisciplinair. Deze multidisciplinariteit heeft een groeiende impact op onze samenleving en economie.

2.3.1 Wiskunde, taal der wetenschappen

Wiskunde is onontbeerlijk voor wie bezig is met wetenschap of ingenieurspraktijk. *"Wiskunde is de taal waarin de natuur tot ons spreekt en alleen wie haar taal en letters heeft geleerd, kan de natuur begrijpen,"* zei Galilei al. ^[23]

De wiskundige abstracties en ontwikkelingen, van het getalbegrip tot de integraalrekening, hebben geleid tot een wiskundig begrippenkader dat toelaat de natuur, de materie, het leven, de werking van een computer, de economie ... te beschrijven en modelleren. De wiskundige theorieën leveren zo een gereedschapskist waarmee concrete vraagstukken in de wetenschap of problemen in techniek en engineering kunnen geanalyseerd en opgelost worden. ^[20]

2.3.2 Doorbraken in één vakgebied leiden tot doorbraken in een ander

Niemand zal ontkennen dat de wetenschappen in sterke mate diepgaand en essentieel gebruikmaken van andere wetenschappen – bijvoorbeeld de fundamentele krachten van de fysica die het chemisch gedrag van atomen en hun onderdelen verklaren, de chemie van waterstofbruggen die DNA-replicatie mogelijk maken, de thermodynamica die bijdraagt tot de voorspelbaarheid van het weer, enz. De geschiedenis van de wetenschap maakt dit opmerkelijk duidelijk: doorbraken in een bepaalde tak van de wiskunde of wetenschap hebben niet zelden geleid tot doorbraken in het onderzoek van andere wetenschapsgebieden of ingenieursdisciplines. Zo heeft de ontwikkeling van de kwantummechanica en de toepassing van haar inzichten op chemische structuur, binding en reactiviteit niet enkel geleid tot de kwantumchemie, maar evenzeer tot nieuwe inzichten in de halfgeleiderfysica die aanleiding hebben gegeven tot de micro- en nano-elektronica en alle nieuwe doorbraken in de fotonica. Theorieën en constructies in de meetkunde

en getaltheorie hebben geleid tot ontwikkelingen in codeermethoden en cryptografie. Enzovoort.

2.3.3 Toepassingsgebieden stimuleren wetenschappelijk onderzoek

Even belangrijk is de omgekeerde beïnvloeding, namelijk het stimuleren van de fundamentele wetenschap door nieuwe technologische realisaties.^[18] De nood om bepaalde technische problemen te begrijpen is namelijk een sterke drijfveer voor wetenschappelijk onderzoek. Ook toevallige uitvindingen of onverwachte resultaten van experimenten kunnen wetenschappers motiveren tot nader onderzoek om de observaties te proberen verklaren. Zo heeft de uitvinding van de stoommachine geleid tot een heel nieuw gebied in de fysica, de thermodynamica. De vooruitgang in de moleculaire biologie heeft wiskundigen en biologen aangezet tot nieuwe ontwikkelingen, van populatiedynamica tot bio-informatica.

2.3.4 Nieuwe technologieën en observatietechnieken maken beter wetenschappelijk onderzoek mogelijk

In alle disciplines van de wetenschap hebben technologische vernieuwingen de onderzoekspraktijk ingrijpend veranderd. Zo laten de (aan de gang zijnde) revoluties in de microscopie en beeldvormingstechnologie toe om weefsels, tumoren en ziekteverwekkers in steeds groter detail te bestuderen. Verbeterde gevoeligheid en kostenverlaging van allerlei detectoren en sensoren maken dat we waterkwaliteit, weersomstandigheden en verkeersdrukte zorgvuldig kunnen meten. Nieuwe astrofysische vraagstukken worden gesteld vanuit observaties bekomen met hoogtechnologische instrumenten vastgehecht aan telescopen, die zowel vanop aarde als vanuit satellieten in de ruimte opereren. De duizelingwekkende stijging van rekenkracht en het geheugen van (super)computers stellen ons in staat grote datasets met wetenschappelijke gegevens te analyseren en zo bijvoorbeeld het genoom van talloze levende wezens in kaart te brengen, wiskundige vermoedens experimenteel te testen, bewijzen te vinden voor het Brout-Englert-Higgsboson in de CERN-metingen, een enorme verscheidenheid aan exoplaneten te ontdekken, het gedrag van (een prototype van) een vliegtuig te simuleren, en veel meer.

Nieuwe STEM-ontwikkelingen hebben een grote impact gehad op alle takken van de wetenschap, ook ver buiten de STEM-disciplines. Technieken uit de artificiële intelligentie worden aangewend om literaire stijlen te onderscheiden en betere diagnoses te stellen. "Daubechies wavelets" worden gebruikt om het onderscheid te maken tussen originelen en kopieën van kunstwerken. En de komst van het internet heeft de wijze waarop wetenschappelijke ideeën worden verspreid grondig dooreengeschud, met sterkere samenwerking tot gevolg.

2.4 STEM is sterk verbonden met alle aspecten van ons leven

De vier letters in STEM zijn niet alleen onderling nauw verweven, maar vooral ook sterk verbonden met alle aspecten van ons leven, onze samenleving en de wereld die ons omringt. Waar we ook kijken, wetenschap, technologie en wiskunde zijn overal. Het gedrag van het weer en klimaat, allerlei verschillende materialen, de levende wezens op aarde, ons brein, maar ook de economie, beslissingsprocessen ... worden beschreven in wetenschappelijke termen en kunnen met verbeelding, kennis van zaken, wiskundig inzicht en de huidige computertechnieken gemodelleerd worden. Technologie, door mensen ontworpen om met haar functionaliteit onze noden en behoeften te lenigen, is alomtegenwoordig.

STEM voor meten, testen en evalueren

De combinatie van meettechnologie met de wetenschappelijke methode reikt onze samenleving een cultuur aan van onafhankelijke evaluatie en kwaliteitscontrole (van water, lucht, voedsel, biodiversiteit ...), van monitoring en risicobeheersing (epidemieën, natuurrampen, beurscrashes ...).

Ook voor het inschatten van de impact van veranderingen, beslissingen of alternatieve scenario's is dit testen en objectief onderzoeken cruciaal. Of het nu gaat over het op de markt brengen van een nieuwe auto of medicijn, of het veranderen van de belastingswetgeving of verkeersinfrastructuur: steeds is het meer dan wenselijk dat elke grote verandering wordt voorafgegaan door een fase van wetenschappelijk onderzoek en (indien mogelijk) testen. Zo kunnen we mogelijke gevaren en verdiensten in kaart brengen.

Ook beleidsbeslissingen worden (best) objectief geëvalueerd door middel van onafhankelijke wetenschappelijke methoden.^[17]

STEM in medische praktijk, kunst, onderwijs, entertainment ...

Groot is de impact van STEM op de medische sector, zowel op diagnostisch als therapeutisch vlak. Vandaag bestaan er complexe farmaceutische producten, 3D-geprinte prothesen, *wearables* die lichaamsfuncties registreren, in het labo gekweekte weefsels, medische beeldvorming door MRI-, CT-, Röntgen- of PET-technologie, automatische analyse van gigantische medische-datasets en veel meer. Hoe langer hoe meer integreren kunstenaars 3D-printing, nieuwe klank- en beeldtechnieken en computersturing in hun creaties. Het onderwijs ziet de opkomst van Massive Open Online Courses^[49] en ook in de klas begint men nieuwe technologische tools in te zetten. De entertainmentsector, waaronder de film- en game-industrie, maakt omwentelingen mee, door virtuele realiteit, nieuwe animatietechnieken, tablets, GoPro-camera's, internet en streamingmogelijkheden, analytics voor reclame- en prijssturing, ...

STEM voor de grote uitdagingen van morgen

De uitdagingen waarmee de mensheid vandaag worstelt zijn talrijk: ongelijkheid, klimaatverandering, armoede, ziektes, milieu, duurzaamheid, mobiliteit, energie, wonen, communicatie. Het is niet verwonderlijk dat men in de richting van wetenschap en technologie kijkt om bij te dragen tot een beter functionerende wereld, bijvoorbeeld voor de beveiliging van cyberspace, gepersonaliseerd leren, betere geneesmiddelen, toegang tot zuiver water, het reduceren van CO₂-concentraties, reverse engineering van het brein, rendabeler zonne-energieconversie, kernfusie, gezondheidsinformatica, raketten en robots om ons zonnestelsel verder te verkennen.^[30]

Zeven transitiegebieden voor het komend decennium, waarop Vlaamse bedrijven, onderzoekers, sociale partners, burgers en beleidsmakers van morgen dienen in te zetten, werden door de VRWI geïdentificeerd. Ze zijn gemotiveerd door socio-economische uitdagingen: digitale maatschappij; voeding; gezondheid en welzijn; urbanisatie, mobiliteit en logistiek; intelligente informatiebronnen; energie; en welvaart in een innovatieve kennismaatschappij. Voor elk transitiegebied zijn een strategie, visie, uitdagingen, STEM-prioriteiten en kritische succesfactoren uitgedokterd.^[56]

2.5 Ethische aspecten

De komst van technologieën is niet altijd onverdeeld gunstig geweest voor mens, milieu en maatschappij. Ook vernietigende, vervuilende en bedrieglijke technologie is ontwikkeld uit STEM-inzichten. Wie terechtkomt in een wetenschapsgebaseerd beroep, en zeker wie nieuwe technologie zal ontwerpen of de wetenschappelijke kennis zal ontwikkelen die eraan ten grondslag ligt, kan geconfronteerd worden met ethische dilemma's – keuzes tussen bekendmaken en verbergen van de waarheid, tussen vrijgevigheid en hebzucht, tussen respect voor privacy en commerciële belangen, tussen een juridisch-minimalistische invulling van milieu- of veiligheidsregels en een maatschappelijk verantwoordelijke.

Hebben wetenschappers bijvoorbeeld de morele verplichting om een specifiek (kern)wapen te ontwikkelen, of dat niet te doen, als ze dat kunnen? Nu farmaceutische, chirurgische en neurologische technieken, ontwikkeld voor therapeutische doeleinden, ook in staat zijn om lichaamsfuncties te verbeteren, waar trekken we de lijn tussen therapie en luxe, wetende dat zoveel mensen geen toegang hebben tot basisgeneeskunde? En wat met 3D-printing, waardoor ook farma en wapens thuis zullen kunnen geprint worden?

Bijna alle takken van de STEM-wereld raken aan ethische aspecten. Denk maar aan de dilemma's, opgeworpen door artificiële intelligentie, dataverzameling en privacy, klonen, energie- of grondstoffenverspillende technologie, niet-dodelijke

wapens, zelfrijdende auto's, gepersonaliseerde geneeskunde, robots en autonome systemen, biologische ziekteverwekkers, verslavende producten, hacking, etc.

Ook bij de *onderzoekspraktijk zelf* komen ethische kwesties aan bod, zoals de impact van de experimenten of de publicatie van de resultaten ervan op mens, economie en milieu.

Tot slot moet ook de *gebruiker* van de ontwikkelde technologie steeds meer ethische keuzes maken – zoals welke informatie men zoal aan Facebook of aan “de cloud” toevertrouwt, of het kopen van de milieuvriendelijkste of net de goedkoopste producten? Het spreekt vanzelf dat een goed inzicht in de werking van technologie en de onderliggende principes van essentiële waarde is om de gevolgen van de eigen keuzes te kunnen inschatten. Door de ingrijpende rol van technologie in ons leven kan de moderne mens zich er niet meer buiten stellen: technologie vormt een intrinsiek deel van ons bestaan, zoals de lucht die we in- en uitademen. ^[51]

2.6 Besluiten voor het onderwijs

We hebben in dit hoofdstuk betoogd

- dat natuurwetenschappen, techniek, engineering en wiskunde bijzondere disciplines zijn met hun eigen methoden en dynamieken;
- dat alle vier de STEM-componenten sterk met elkaar verweven zijn en elkaar wederzijds beïnvloeden;
- dat STEM nabij is in ons leven: dat elk aspect van onze wereld betrekking heeft op STEM, dat STEM kan bijdragen aan het opvangen of oplossen van de grote werelduitdagingen van morgen en dat STEM-professionals voor ethische keuzes komen te staan.

Deze elementen hebben een *uitzonderlijk motiverend potentieel* voor jongeren. Om jongeren te motiveren voor STEM zodat ze later misschien voor STEM-studies en -beroepen kiezen, is het dus zinvol dat jongeren met deze aspecten vertrouwd raken. ^[50] Dit is ook bevorderlijk om comfortabel te worden in STEM: persoonlijke betrokkenheid en welbevinden zijn immers essentieel voor diepgaand leren. ^[48]

Het is dan ook van het grootste belang dat deze onderwerpen in het onderwijs aan bod komen en door leerkrachten mee uitgedragen worden. De vorming van leerkrachten moet hiermee dus rekening houden (zie hoofdstuk 4). Ook CLB-medewerkers kunnen hun belangrijke rol spelen bij studiekeuzebegeleiding indien ze een waarheidsgetrouwe inschatting kunnen maken van STEM in al zijn facetten, net als van de STEM-studierichtingen in het hoger onderwijs en -jobmogelijkheden.

3 STEM-onderwijs

3.1 STEM in het Vlaamse onderwijs anno 2016

3.1.1 STEM in het lager onderwijs

In het lager onderwijs zijn er eindtermen voor “wetenschap en techniek”, wat tot het schooljaar 2014-2015 samen met “mens en maatschappij” deel uitmaakte van “wereldoriëntatie”. Het Vlaamse onderwijs realiseert kennis en competenties over *wetenschap* (o.a. dieren en planten, het lichaam, het weer, de aardrotatie, ziekte en gezondheid, afval, energie en milieu) en over *techniek* (o.a. materialen, functionaliteit, ontwerp, onderhoud en evaluatie van technische systemen).

In de praktijk is dit STEM-onderwijs niet altijd optimaal. In de meeste scholen ontbreekt voldoende aandacht voor onderwijs in informaticawetenschappen en computationeel denken,^[35] real-life demonstraties en hands-on experimenteren.

De meeste onderwijzers en onderwijzeressen kunnen dit dan ook niet alleen. Ze zijn hiervoor niet opgeleid en hebben met STEM vaak geen affiniteit. Alleen door samenwerking met elkaar en met de inbreng van daarvoor goed opgeleide STEM-ambassadeurs en -coaches kan de nieuwsgierigheid en STEM-interesse van de kinderen blijvend gestimuleerd worden.

3.1.2 STEM in het secundair onderwijs

Het secundair onderwijs in Vlaanderen vertoont een complex karakter, met verschillende netten en koepels. Betreurenswaardig is het watervalstelsel en de daaraan gekoppelde hardnekkige waardeperceptie van studierichtingen door veel ouders. Op de leeftijd van 12 jaar wordt anno 2016 een keuze gemaakt van onderwijssysteem (A- of B-stroom, de facto ASO, TSO, KSO, BSO) en kort daarna wordt een studierichting gekozen.

De STEM-component in het Vlaamse secundair onderwijs voor alle leerlingen is eerder beperkt. Bovendien zijn de onderlinge *verbanden* tussen de inhouden van wiskunde, techniek en natuurwetenschappen niet zo uitgewerkt als het rijke STEM-landschap het vereist. In de eerste graad (12-14 jaar) worden alle leerlingen verder gevormd in wiskunde, techniek en natuurwetenschappen. De invulling van de lespraktijk is afhankelijk van de studierichting en vaak opgedeeld naar discipline.

De (*natuur*)wetenschappen worden op alle onderwijsniveaus eerder beschrijvend onderwezen en er wordt weinig gebruik gemaakt van de wiskunde als “taal van de natuurwetenschappen”: de aandacht voor wiskundige modellering is beperkt,

formules staan nogal op zichzelf en worden niet altijd in verband gebracht. Vaak gebruiken verschillende leerkrachten verschillende notaties voor dezelfde grootheden, wat het vaststellen van de samenhang van de disciplines nog verder bemoeilijkt. De leerinhouden voor bijvoorbeeld fysica zijn bedroevend: moderne fysica ontwikkeld in de vorige eeuw komt vaak niet aan bod.

Het *wiskundeonderwijs* heeft een lange traditie en studierichtingen in de derde graad secundair onderwijs met minstens 6 lessen wiskunde per week hebben een sterke aantrekkingskracht. De Vlaamse 15-jarigen scoren steeds bij de koplopers in internationale vergelijkingen zoals PISA en TIMSS. Hoewel dit kan suggereren dat ons wiskundeonderwijs hoogstaand is, zijn er ook redenen om ongerust te zijn. In de vergelijkende studies is er een dalende tendens in vergelijking met de andere koplopers.

De peiling wiskunde in derde graad secundair onderwijs (2014)^[45] bracht daarnaast problemen aan het licht met de mate waarin de eindtermen gerealiseerd worden door de leerlingen die een basispakket wiskunde volgen, zowel in KSO, TSO als in ASO. In studierichtingen van het ASO met een sterke component wiskunde worden de specifieke eindtermen voor de pool wiskunde ondermaats gehaald.

In het ASO is *techniek* beperkt tot een vak in de eerste graad, en wordt *engineering* zo goed als niet aangeboden. Het eerstegraadsvak heeft een specifieke historische problematiek en dekt niet de inhoudelijke noden, zeker niet voor STEM-rijke richtingen omdat men iedere vorm van (wiskundige) abstractie uit de weg gaat. Zelfs in het kader van "STEM voor iedereen" is het vak Techniek ontoereikend omdat men enkel met realisatie bezig is en niet met het creatief proces. Hoe dan ook is enkel een eerstegraadsvak onvoldoende voor algemeen onderwijs in een steeds meer technisch/wetenschappelijk wordende maatschappij.⁶

In de *wiskundig-wetenschappelijke studierichtingen van het ASO* worden de onderwerpen vanuit een abstraherende en beschrijvende invalshoek benaderd en minder vanuit een technische, gebaseerd op problemen en behoeften. Elektromagnetisme komt bijvoorbeeld voornamelijk wetenschappelijk aan bod – met amper technische aspecten van elektriciteit – en slechts vanaf de derde graad.

In het TSO slaagt vooral de studierichting Industriële Wetenschappen erin nagenoeg alle facetten van STEM aan elkaar te koppelen. Deze richting kent een hoog niveau aan wetenschappen en wiskunde én tijd voor engineering en ontwerp van technologie. In tegenstelling tot andere studierichtingen is er wél een integratie van beide met aandacht voor de verbanden: in de industriële wetenschappen van TSO is STEM inderdaad STEM, hoewel de levenswetenschappen amper aan bod

⁶ Het Masterplan voor de hervorming van het secundair onderwijs kondigt wel aan om techniek een volwaardige plaats in het curriculum te geven. ^[11]

komen. Ook talrijke andere richtingen hebben een aanzienlijke component wetenschappen én technologie. Het is echter betreurenswaardig dat deze TSO-studierichtingen zo dun bevolkt zijn: blijkbaar twijfelen ouders aan de waarde of doorgroeimogelijkheden van een TSO-diploma.

3.1.3 STEM-initiatieven buiten de school(m)uren: het informele leren

Niet alleen het leerplicht- en hoger onderwijs dragen bij tot een cultuur van technisch-wetenschappelijke geletterdheid in Vlaanderen. Er zijn ook talrijke initiatieven die kinderen, jongeren en het brede publiek in contact brengen met wetenschappen en techniek buiten de schooluren en buiten de schoolmuren. Deze kanalen voor het *informele leren* kunnen op vlak van het interesseren van jonge mensen op zijn minst concurreren met de STEM-vakken uit het *formele onderwijs*. De aanbieders zijn talrijk en divers. Het is onmogelijk hier exhaustief te zijn.

Individuele leerkrachten, bedrijven, jeugdbewegingen en ouders organiseren o.a. **lessen, projecten, zomerkampen, wedstrijden** rond wiskunde, wetenschappen, programmeren, robotbouw, machineontwerp en veel meer.

Rond o.a. **sterrenkunde** en **natuur** zijn sterke organisaties uitgebouwd met een jongerenwerking. Zij hebben een Vlaamse overkoepelende structuur en vele lokaal uitgebouwde afdelingen. Lovenswaardig zijn hun samenwerkingen met universiteiten, zowel inhoudelijk als voor praktische organisatie. De natuur en het heelal wekken belangstelling op en de activiteiten van deze organisaties cultiveren die verder tot een levendige passie. Vrij recent zijn ook creativiteitsstimulerende organisaties actief rond **maken/uitvinden** (zoals de FabLab's) en **programmeren** (zoals de CoderDojo's).

Onder **STEM-academies** worden alle zogenaamde Techniekacademies, Natuur-academies, Programmeerclubs, Sterrenkundeacademies, Wiskunde/Wetenschap-academies en FabLab's gerekend waaruit jongeren kunnen kiezen voor hun vrijetijdsbesteding. Hun activiteiten – in 2015 ruim 600 – worden aangeboden door een tachtigtal organisatoren. De belangstelling ervoor is groter dan het aanbod. In 2015 waren er naar schatting 37 000 kinderen in zo'n STEM-academie actief, waarvan 20 % meisjes. Sommige aanbieders zijn bestaande organisaties die het label *STEM-academie* hebben opgenomen, anderen zijn nieuw. Nieuwe STEM-academies zijn sinds 2013, en startend in West-Vlaanderen, als paddenstoelen uit de grond geschoten. Nu coördineert Technopolis⁷ "de STEM-academie", een overkoepelend netwerk dat deze buitenschoolse STEM-activiteiten verzamelt en bekend maakt bij het publiek.

⁷ Technopolis heeft een pioniersrol gespeeld door sinds 2004 techniekclubs te organiseren. Dit werd sterk uitgebreid na de aanbevelingen van het STEM-platform om buitenschoolse activiteiten te organiseren.

In tegenstelling tot muziek- en kunstacademies worden STEM-academies slechts beperkt gefinancierd door de overheid. Zij krijgen soms steun van de gemeenten waarin ze fungeren, soms ook van de provincie of van bedrijven. De kinderen betalen meestal inschrijvingsgeld.

De organisatie **Technopolis**, opgericht in 1997, runt o.a. het gelijknamige doe-centrum voor wetenschap en technologie in Mechelen. Daarnaast speelt het een belangrijke coördinerende en stroomlijnende rol in vele projecten waarvan het enthousiasme bottom-up komt, zoals Dag van de Wetenschap, Wetenschap in de Kijker en de STEM-Academies. Daardoor heeft Technopolis een ruim aanbod aan tentoonstellingen en programma's voor scholen en families, zowel in het doe-centrum als op diverse locaties in Vlaanderen.

RVO-society, genoemd naar imec-stichter Roger Van Overstraeten, is een onafhankelijke vzw met de ambitie om de kloof tussen onderwijs en onderzoek bij jongeren te dichten.⁸ RVO-Society vertaalt innovatieve kennis in projecten en educatieve activiteiten voor jongeren, van kleuter tot hoger onderwijs. Ze biedt navorming voor leerkrachten en vrijetijdsactiviteiten voor jongeren, ook via STEM-academies.

Veel Vlaamse onderzoekers doen aan public outreach of **wetenschapscommunicatie** – dit gaat van het uitleggen van hun eigen onderzoeksresultaten aan het brede publiek via de media tot het opzetten van specifieke projecten waarmee ze scholen en leerkrachten bereiken. Ze worden daarin ondersteund door de expertisecellen wetenschapscommunicatie van de vijf associaties van universiteiten en hogescholen.

Een sterk uitgebouwd aanbod van **olympiades en wedstrijden** motiveren de jongeren die een extra uitdaging willen aangaan, om het beste van zichzelf te geven. Ze moedigen niet alleen excellentie aan, maar ook interesse in het algemeen – vaak tonen de olympiades een aantrekkelijk en uitdagender beeld van hun vakgebied dan de lessen uit het leerplichtonderwijs. Olympiades hebben bovendien vaak een eigen gemeenschap van geïnteresseerden, een netwerk van gelijkgestemde jongeren die elkaar aanmoedigen.

Onrustwekkend is dat de medewerkers van de meeste van deze initiatieven vrijwilligers zijn. Dit idealisme is bewonderenswaardig, maar het valt te betwijfelen of de organisatie van het informele STEM-leren in Vlaanderen duurzaam te noemen valt ...

⁸ RVO-society werd in 2013 door de KVAB uitgekozen voor de toekenning van de driejaarlijkse prijs van de Vlaamse minister voor Wetenschapsbeleid. ^[9]

3.2 Opportuiniteiten voor het STEM-onderwijs

3.2.1 Relevantie en contextualisering⁹

Aanbeveling 1. *STEM-onderwijs moet aansluiten bij de waarden, interesses en leefwereld van leerlingen. Nieuwe inhouden moeten aangebracht worden vanuit een concrete context. STEM-onderwijs moet verbanden tonen met het eigen leven, werelduitdagingen, menselijke waarden, ethische keuzes en andere vakgebieden.*

Voldoening, interesse en motivatie voor STEM zijn de ingrediënten van een bestendige wetenschappelijke cultuur onder jonge mensen. Eén van de belangrijkste manieren om dit te verhogen, is het besef van de relevantie van wetenschap en techniek, zoals blijkt uit verschillende studies.^[15, 38]

Vijftienjarigen uit welvarende landen vinden vooral waarden, houdingen en betekenis belangrijk voor hun toekomstig werk. Maar ze denken niet dat ze die vinden in STEM-studies en -loopbanen. Minder dan 1/3 antwoordt dat ze graag wetenschapper zouden worden, in het bijzonder meisjes niet.^[38]

Interesse in STEM zou sterk verhogen als jongeren van elke leerinhoud ook begrijpen welke rol die kan spelen in een mogelijke oplossing van een maatschappelijk probleem (energie, mobiliteit, vergrijzing ...) of in een interessante uitdaging (buitenaards leven, oerknal begrijpen ...) of in een ethisch dilemma (delen van persoonlijke informatie, automatisering in oorlogsvoering ...).

Meer algemeen is het gunstig nieuwe inhouden van STEM-onderwijs in verband te brengen met dingen die de leerlingen kennen, die dicht bij hun leefwereld staan en daarom aanspreken. Dit aanbrengen van nieuwe STEM-inhoud vanuit een concrete context zullen we aanduiden met **contextualiseren**.

Dit Standpunt, net als vele andere boeken en rapporten, pleit ervoor om bij het aansnijden van een nieuw thema dat theoretisch of praktisch wordt onderwezen, telkens zodanig te contextualiseren dat het duidelijk is waartoe het kan dienen of wat het verklaart. Dit kan zowel door de leerkracht als door iemand uit het werkveld die ervan kan getuigen (live of via video).

Deze aanpak van contextualiseren staat in contrast met de huidige praktijk. Handboeken leveren hiervoor wel inspanningen, maar veel concepten in wiskunde-, fysica- en chemiehandboeken worden nog steeds "uit het niets" of enkel "uit het voorgaande" geïntroduceerd.

De belangrijkste uitdaging om een duurzame cultuur van wetenschap te krijgen, is dus het overbruggen van de mismatch tussen de jongerencultuur en het als

⁹ Deze aanbeveling komt overeen met dimensie 6 van het STEM-kader.^[13]

steriel gepercipieerde karakter van STEM. De boeiende dynamiek en de effectieve rol van STEM in en voor de samenleving, zoals betoogd in paragraaf 2.3, moeten dit zonder twijfel mogelijk maken – zonder de ware aard van STEM te vervormen of de jeugd te misleiden.

Ook vakoverschrijdende projecten of inhoudelijke samenwerking met andere vakken (talen, geschiedenis, sport, kunst ...) kunnen uitstekende hefboomen zijn voor relevantiebetonnd en contextualiserend STEM-onderwijs.

Wanneer men vele jaren na de lessen van STEM-onderwijs de inhoud ervan vergeten is, blijft wel nog een indruk hangen. Vaak is die vandaag *"Ik was daar altijd slecht in – dat was moeilijk en saai,"* terwijl het bijvoorbeeld eerder zou moeten zijn *"Jammer dat ik dat vergeten ben, want STEM is nauw verbonden met ons leven en kan bijdragen aan het oplossen van grote uitdagingen."* Dit is een wereld van verschil, maar een erg belangrijke – het zijn immers de indrukken van ouders, familieleden, mediafiguren ... die jongeren kunnen beïnvloeden in hun houding of studiekeuze.

Het is dan ook logisch om STEM-geletterdheid niet alleen de kennis van de wetenschappelijke canon en de kunde van ontwerp- en onderzoekspraktijk te laten omvatten, maar eveneens het inzicht in de relevantie en rol van wetenschap en techniek in de maatschappij (zie ook hoofdstuk 2).

3.2.2 Integratie van STEM-componenten: de verwevenheid van STEM als troef gebruiken¹⁰

Aanbeveling 2. *STEM-onderwijs moet een betere integratie nastreven van de vier STEM-componenten, met respect voor hun eigenheid.*

Het Vlaamse secundair onderwijs biedt vandaag wetenschap, techniek en wiskunde aan als losstaande vakken. Van een systematische STEM-aanpak is geen sprake. Nochtans is een aanpak waarbij de verschillende disciplines en invalshoeken van STEM meer gekoppeld zijn met elkaar veelbelovend in het motiveren van de jeugd. Het is bovendien haalbaar – vooral in de derde graad – want het rijke landschap van STEM vandaag, zoals we hebben geschetst in hoofdstuk 2, laat dit zeker toe.

Er zijn evenwel twee caveats bij dit pleidooi voor een integratie van de STEM-componenten.

- Een versterkte nadruk op de onderlinge integratie van de vier STEM-componenten betekent niet dat de eigenheid van elk van de disciplines in het gedrang mag komen. Het hoge niveau van het bestaande wiskunde- en wetenschapsonderwijs moet behouden blijven, met respect voor de methoden,

¹⁰ Deze aanbeveling strookt met dimensie 1 van het STEM-kader. ^[13]

conventies en andere eenheden van de wiskunde, de natuurwetenschappelijke disciplines en de toegepaste wetenschappen. Good practices in binnen- en buitenland tonen aan dat dit inderdaad mogelijk is.

- Er bestaan momenteel richtingen met een focus op voornamelijk wetenschappen, of hoofdzakelijk techniek. Een betere integratie van de STEM-componenten betekent niet dat studierichtingen geen eigen klemtonen en finaliteiten kunnen behouden. Meer theoretische studierichtingen met doorstroomfinaliteit zoals wetenschappen-wiskunde moeten allerm minst worden *vervangen* door technische, praktische richtingen. De aanbeveling richt zich op het versterken van de verbanden en de integratie van de vier STEM-componenten.

Wanneer leerinhouden niet geïsoleerd worden benaderd, maar vanuit een breder STEM-perspectief, zal het ook natuurlijker zijn om deze vast te haken aan concrete contexten, om tegemoet te komen aan de vorige aanbeveling.

Om de barrières tussen de STEM-vakken onderling te verzachten, dringt een herdenking van het profiel van de leerkracht met expertise in STEM-domeinen zich op. In paragraaf 4.3.2 gaan we hierop verder in.

3.2.3 Onderzoeken, ontwerpen, redeneren¹¹

Aanbeveling 3. *STEM-onderwijs moet toelaten de creatieve processen te ervaren die typerend zijn voor STEM: redeneren, onderzoeken, ontwerpen, probleemoplossend denken ... Dit toont STEM in al zijn aspecten en is gunstig voor de beeldvorming rond STEM-studies en -werk en voor sociale inclusie.*

Een vorming in wiskundig redeneren, wetenschappelijke inzichten en ontwerp van technologie is niet hetzelfde als het leren van een taal. De STEM-componenten kennen elk hun eigen methode en aanpak. Om het karakter van STEM eerlijk weer te geven, streeft het onderwijs best het uitlokken van deze ervaringen in lerenden na.

Enkel door zélf deel te nemen aan het redenerend, onderzoekend en ontwerpend kenniscreatieproces kunnen jongeren een idee krijgen van de beroepsbezigdheden van academische of industriële kenniswerkers en andere STEM-professionals.

We denken specifiek aan het volgende:

- voor wetenschappen: zich verwonderen, vragen stellen, een onderzoek(je) opzetten, meten, registreren, analyseren, besluiten formuleren, synthetiseren in een theorie;
- voor techniek en ingenieursaspecten: vanuit een praktische situatie of maatschappelijke nood een probleem of behoefte identificeren, het analyseren, ontwerpen van een systeem of proces, het maken, gebruiken en evalueren;

¹¹ Deze aanbeveling bundelt dimensies 3 en 4 van het STEM-kader. ^[13]

- voor wiskunde: het zoeken en puzzelen, combineren van gegevens, structureren, abstraheren, rekenen, redeneren en eenmaal een oplossing of bewijs gevonden, het helder uitleggen met respect voor conventies; eveneens het formuleren van een concreet probleem in een wiskundig model;
- voor geïntegreerd STEM-werk: probleemoplossend denken, combineren van inzichten uit verschillende takken, computationeel denken, multidisciplinariteit.

Het is voor een leerkracht verleidelijk om de lesinhouden te beperken tot resultaten van historische kenniscreaties, zonder het creatieproces van deze kennis zelf als ervaring aan te bieden. Stellingen en rekenregels uitleggen, fysische en chemische theorieën onderwijzen, biologisch jargon verklaren, machines gebruiken en hun werking leren begrijpen is voor de leerkracht gemakkelijker dan samen wetenschappelijke inzichten ontdekken of technologie ontwerpen.

Het uitlokken van dergelijke kenniscreatie-ervaringen past in een aanpak van *inquiry-based learning*, alsook ontdekkend, ervaringsgebaseerd en samenwerkend leren. Het zou ongunstig zijn om *alle* inhouden op deze manier aan te brengen – dit kost namelijk veel tijd en het zelfstandig tot gevorderde wetenschappelijke inzichten komen is op secundair-onderwijsniveau niet haalbaar. Toch moet erop worden toegezien dat leerlingen voldoende tijd besteden in de creatieve processen die STEM zo aantrekkelijk maken. Dit wordt best gerealiseerd door *projectwerk*, individueel of in groep.

Onderzoeks- en ontwerpwerk door leerlingen heeft ook een ander gunstig neveneffect, namelijk potentieel voor sociale inclusie. Daar waar Latijn en andere cultureel gebonden prestatiegebieden een grote ongelijkheid vertonen in leerprestaties tussen lerenden van diverse socio-economische status, kent STEM-projectwerk een veel grotere gelijkheid in leerprestaties van kinderen van elke socio-economische status. Er zijn dus aanwijzingen dat wetenschappelijk en technisch onderzoeks- en ontwerpwerk in het leerplichtonderwijs een positieve invloed heeft op de sociale inclusie en zo ook sociale mobiliteit.

Enkel door zelf deel te nemen aan de onderzoeksprocessen van wetenschap kunnen jongeren ten volle begrijpen hoe “de wetenschap” werkt en op welke “waarheid” ze aanspraak maakt. Basiselementen van wetenschapsfilosofie, zoals falsifieerbaarheid (zie 2.2), kunnen latere misvattingen over de rol van wetenschap vermijden.

3.2.4 Duurzame samenwerking met alle actoren uit de samenleving¹²

Onderwijs moet een project van de hele samenleving worden, waar alle actoren toe bijdragen. Wetenschappers en onderzoekers, technici en ingenieurs, bedrijfsleiders en STEM-professionals, uitvinders en avonturiers zijn onontbeerlijke

¹² Deze aanbeveling is in lijn met de laatste paragraaf van het STEM-kader (pagina 18).^[13]

bondgenoten van succesvol onderwijs. Zij zijn belangrijke partners uit “de echte wereld” met motiverend potentieel, net zoals agenten en rechters, dokters en hulpverleners, gidsen en filosofen, mediafiguren en journalisten, politici en beleidsmakers.

De *interactie van leerlingen met onderzoekers* is van groot belang voor hun wetenschappelijke geletterdheid en motivatie voor STEM. Wetenschappers en wiskundigen kunnen als geen ander de passie voor fundamenteel onderzoek overbrengen, net als ingenieurs dat kunnen voor het streven naar technologische vooruitgang, rechters voor rechtvaardigheidsgevoel en politici voor het streven naar een betere organisatie van de samenleving.

Daarom vullen onderzoekers en leerkrachten elkaar aan bij het realiseren van aantrekkelijken effectief STEM-onderwijs. Elke leerkracht die een onderwijsopdracht in STEM heeft, zou minstens één onderzoeker en één STEM-professional moeten kennen die hij/zij altijd mag opbellen.

Deze samenwerking moet duurzaam en continu zijn en dus best structureel ingebed in de werking van het onderwijs. Samenwerking kan vele vormen aannemen: partners kunnen korte excursies van klassen verwelkomen, projecten van individuele leerlingen begeleiden, gastlessen op school of in hun eigen werkomgeving verzorgen, leerkrachten adviseren, meehelpen in het definiëren van eindtermen...

Onderwijs moet dus steunen op een stevige maatschappelijke sokkel. Enkel zo kunnen we verantwoordelijk burgerschap in een cultuur van wetenschappelijk-technische geletterdheid ontwikkelen. Enkel onderwijs dat door de hele samenleving gesteund wordt, zal gemotiveerde en goed gevormde mensen afleveren aan de samenleving, waarvan een gepast deel de arbeidsmarkt zal betreden als wetenschappers, ingenieurs, technici, informatici, wiskundigen en statistici. De samenleving heeft hun inbreng nodig.

3.3 Bouwstenen voor de verbetering van het STEM-onderwijs

Aanbeveling 4. *Alle actoren in de onderwijswereld moeten zich voorbereiden op een herconcipiëring van het onderwijs in STEM-disciplines. Vakdidactisch onderzoek moet aangemoedigd en uitgebreid worden.*

3.3.1 Projectwerk

Klassiek onderwijs in een frontale klasopstelling (theorie, oefeningen, af en toe andere werkvormen) laat het vervullen van voorgaande drie aanbevelingen slechts in beperkte mate toe. Projectmatig onderwijs is het beste medium (1) om het leren in te bedden in concrete contexten en de relevantie van de onderwerpen te tonen, (2) om interdisciplinair, vakoverschrijdend te werken en (3) om de creatieve processen van onderzoeken, ontwerpen en problemen oplossen te (laten) ervaren.

Essentieel bij projectwerk is weliswaar de *conclusiefase*, waarin de leerlingen reflecteren en de leerkracht expliciteert wat ze geleerd hebben.

Groepsprojectwerk heeft groot potentieel voor deze drie aanbevelingen en stimuleert bovendien competenties van communiceren en samenwerken (cruciaal in elke STEM-studie of -beroepspraktijk). Ook leerdoelstellingen zoals het ordelijk bijhouden van een notaboekje, gegevens verzamelen of analyseren komen op natuurlijke manier aan bod in (onderzoeks)projectwerk.

Naast de *expliciete kennis*¹³ is minstens even belangrijk de *impliciete kennis* (*tacit knowledge*) die elk individu voor zichzelf opbouwt door ervaringen, interacties of observaties, en verankerd zit in waarden, intuïtie, vaardigheden en routines.^[33] Deze onbewuste kennis triggert creativiteit en nieuwsgierigheid, stuurt emoties en ligt aan de basis van attitudes en interesses.

Het persoonlijk aanvoelen van de aard van STEM(-disciplines) is typisch impliciete kennis. STEM-projectwerk is beter in staat om de ware, aantrekkelijke aard (creativiteit, samen problemen oplossen) over te brengen dan traditioneel onderwijs (dat soms associaties met resultaten, moeilijkheid en competitie aanbrengt). Projectwerk zal in het bijzonder *meisjes* beter toelaten zich positief te identificeren met STEM.

3.3.2 Herdenking van het Vlaamse STEM-onderwijs

De aanpak van het onderwijs in de STEM-disciplines in Vlaanderen *vandaag* vertaalt zich in ettelijke leerplannen, handboeken, ervaringen en tradities, bijna allemaal gebaseerd op een erg breed gamma aan kennisinhouden, een opdeling in aparte vakken, een ondermaatse aandacht voor contextualisering en relevantie en een beperkte ruimte voor vakoverschrijdend projectwerk waarin leerlingen zelf kunnen experimenteren en ontwerpen.

Het invoegen van voldoende contextualisatie, groepswerken, onderzoeksprojecten, interactie met onderzoekers, maatschappelijk-ethische vorming, verbanden met de andere STEM-componenten ... *in het huidige onderwijsmodel* is weinig realistisch. In de eerste plaats zou dit een aanzienlijke verhoging van de lestijd voor STEM-disciplines vragen – en die is niet voorhanden.

De aanbevelingen in dit hoofdstuk, die in lijn zijn met het STEM-kader van de Vlaamse Overheid en de internationale literatuur, vereisen een *substantiële vernieuwing* van deze onderwijsaanpak, zelfs *herconcipiëring*, die alle spelers in het onderwijslandschap zal treffen.

¹³ Kennis die mondeling, schriftelijk of elektronisch kan doorgegeven en gedeeld worden. Dit is de basis van het traditioneel onderwijs in de meeste secundaire scholen – voor STEM doorgegeven via onderscheiden schoolvakken.

De auteurs van dit rapport beseffen dat dit een ingrijpende hervorming wordt die ver reikt.

Het is dan ook onze aanbeveling dat alle onderwijsactoren zich klaarmaken voor de op til zijnde hervorming, en rekening houden met de richting van deze hervorming, waarvan de krijtlijnen zijn uitgestippeld door het STEM-kader van de Vlaamse Overheid en bevestigd door dit Standpunt van de Academie. In het bijzonder denken wij aan

- de Vlaamse Regering, bij het uitrollen van de hervorming secundair onderwijs;
- de VLOR, bij het adviseren over alle etappes;
- het Vlaams Parlement en de Entiteit curriculum, bij het opstellen van de eindtermen;
- de netten en koepels, bij het reorganiseren en inhoudelijk herwerken van de leerplannen;¹⁴
- de uitgeverijen en auteurs, bij het schrijven van nieuwe handboeken;
- de scholen, bij het organiseren van hun onderwijs en bijscholingsincentives;
- de leerkrachten, bij het ontwerpen van leeromgevingen;
- de lerarenopleidingen en bijscholingscentra, bij het vormen en navormen van leerkrachten.

De bestaande structuur van het Vlaamse Onderwijs, met talrijke niveaus en spelers, elk met eigen belangen, maakt het systeem eerder log. Veranderingen worden moeizaam en traag doorgevoerd. De opwaardering van het lerarenberoep en de modernisering van het secundair onderwijs zijn voorbeelden van veranderingen die bewezen hebben heel wat voeten in de aarde te hebben. Ook de verandering in didactiek in STEM-disciplines zal niet van vandaag op morgen voltooid zijn.

Toch zijn er duidelijke signalen dat deze hervorming is ingezet (de mediabelangstelling voor STEM-problematiek, het STEM-charter, het succes van STEM-academies, de opkomst van “STEM-richtingen” in bepaalde scholen, de publicatie van het STEM-kader,¹⁵ de lerende netwerken, de aandacht voor STEM in het eindtermendebat) en zal worden verdergezet (een breed gedragen besef van de noodzaak van de hervorming in een complexe, technologiegedreven wereld, stuwende inbreng van bepaalde actoren, weinig tegenstanders zolang deze evolutie niet ten koste gaat van onderwijskwaliteit of niet-STEM-leerinhouden).

Deze recente STEM-dynamiek, zowel in het leerplichtonderwijs als in informele leercontexten, is lovenswaardig. De hernieuwing van de didactiek in STEM-disciplines in het secundair onderwijs lijkt definitief ingezet en nog moeilijk te

¹⁴ Een denkbare piste is bijvoorbeeld die van één leerplancommissie voor alle STEM-inhouden, in plaats van verschillende leerplannen per vak met onvermijdelijke afstemmingscomplicaties.

¹⁵ Dit Standpunt en het STEM-kader tonen treffende overeenkomsten in aanbevelingen voor goed STEM-onderwijs. Ze zijn niettemin onafhankelijk van elkaar opgesteld, maar beiden gebaseerd op internationale inzichten.

stoppen. We moedigen alle actoren in het onderwijslandschap aan deze evolutie te steunen en met de eigen expertise in goede banen te (helpen) leiden.

Als vertegenwoordiger van de wetenschappelijke gemeenschap in Vlaanderen stelt de Koninklijke Vlaamse Academie van België voor Wetenschappen en Kunsten zich graag open voor bijkomende adviesvragen.

3.3.3 Vakdidactisch onderzoek

In paragraaf 2.4 hebben we de rol van wetenschappelijk onderzoek benadrukt voor het testen en evalueren van scenario's. Daardoor kunnen we de te verwachten impact in kaart brengen. Net zo is het bij een ingrijpende verandering van het STEM-onderwijs.

Wetenschappelijk onderzoek in pedagogie en (vak)didactiek brengt in kaart welke onderwijskeuzes "werken" in het bereiken van hun doelen – deze doelen zijn typisch betere leerprestaties, maar ook een grotere motivatie en interesse, of een betere beeldvorming van de discipline en beroepen. Zo heeft onderzoek, overal ter wereld, gewezen op de positieve impact van contextualisering en de andere aanbevelingen uit dit hoofdstuk, op de motivatie, leerprestaties en beeldvorming van jonge mensen. Dit zijn echter enkel richtlijnen.

Een hernieuwd curriculum met bijhorende onderwijsaanpak is een ander paar mouwen. Om dit te ontwikkelen en te testen is tijd nodig, en samenwerking tussen onderzoekers (vakdidactici, wetenschappers, pedagogen ...) en ervaringsdeskundigen (leerkrachten, handboekauteurs, leerlingen ...). Enkel door de(r)gelijk vakdidactisch onderzoek zullen we de meest geavanceerde inzichten voor succesvol onderwijs kunnen vertalen in een concreet STEM-leertraject voor het secundair onderwijs.

In Vlaanderen loopt het onderzoeksproject *STEM@School*,^[10] dat experimenteert om een meer geïntegreerde STEM-didactiek te ontwikkelen voor het Vlaamse secundair onderwijs. Het is lovenswaardig dat de Vlaamse Overheid via het IWT (agentschap voor Innovatie door Wetenschap en Technologie) fondsen vrijmaakt om te investeren in dit strategisch basisonderzoek. Nog beter zou zijn dat op Vlaams niveau structureel middelen voorzien worden voor de uitbreiding van vakdidactisch onderzoek.

Er zou meer aandacht mogen zijn voor onderzoek naar STEM-didactiek. Het is van essentieel belang voor de toekomst van onze kennismaatschappij.

4 De leerkracht in het STEM-onderwijs

Leerkrachten zijn ontzettend belangrijk. Ze spelen een centrale rol in de ontwikkeling van waarden, kennis, vaardigheden en attitudes in de jonge mensen van onze samenleving. Willen we naar een kwaliteitsvol en aantrekkelijk STEM-onderwijs, dan zullen onze analyse en aanbevelingen zich op natuurlijke wijze richten op de versterking van de leerkracht.

We zullen ons voornamelijk concentreren op de leerkrachten in het secundair onderwijs, hoewel dit betoog dermate algemeen is dat veel ervan ook voor onderwijzers in het lager onderwijs geldt.

Telkens wordt gesproken over een **STEM-leerkracht** wordt bedoeld: een instructieverantwoordelijke die bijdraagt aan onderwijs in STEM-disciplines. Biologieleerkrachten, wiskundeleraars, geïntegreerde-STEM-leerkrachten, elektronicaopraktijkleraars ... zijn in deze tekst allemaal STEM-leerkrachten.

4.1 Het lerarenberoep en het lerarentekort

In de wereld van human resource management zegt men van getalenteerd menselijk kapitaal op de arbeidsmarkt dat het cruciaal is *"to attract, train and retain"*. Op elk van deze drie componenten zullen we ingaan voor het lerarenberoep.

4.1.1 De (STEM-)leerkracht heeft het meestal niet gemakkelijk

Leerkrachten ondervinden vandaag problemen en barrières. Dit zijn enkele vaak gehoorde ongemakken: ^[25]

- Minder dan vroeger spenderen jongeren tijd in de "echte wereld", als speler in het gezin, met veel interacties met volwassenen. De technologie heeft voor veel jongeren een eigen wereld gecreëerd: een virtuele wereld van "instant pleasure" waarin de communicatie wordt gedomineerd door sociale media. Bovendien veranderen ook aandachtsgewoonten onder invloed van "veelschermen-omgevingen", met een betere ontwikkeling van selectieve en alternerende aandacht maar een verminderende kernaandachtsspanne. ^[27] Deze "zapcultuur" zet de klassieke onderwijspraktijk onder druk en vraagt veranderende lesaanpakken, willen we de aandacht van de leerling wekken en vasthouden.
- Soms hebben ouders onrealistische verwachtingen over de opvoedingstaken die leerkrachten horen te vervullen, of vinden ze de leerkracht persoonlijk aansprakelijk bij tegenvallende studieresultaten van hun kinderen. Een trend is de toenemende juridisering van het onderwijs: het betwisten van studievoortgangsbepalingen, zelfs tot voor de rechtbank.
- Het onderwijssysteem zelf verwacht, vaak in het kader van kwaliteitszorg, dat de leerkracht formuleren invult, verantwoording aflegt en andere verplichtingen nakomt. Deze "planlast" of "irriterende regeldruk" wordt aanzien als een

onwenselijke toename van niet-kerntaken, die bovendien niet bijdragen tot de verwachte kwaliteitstoename van het onderwijs.

- De leerkracht in het Vlaamse onderwijs heeft vandaag een vlakke loopbaan. Er zijn weinig stimulansen die leerkrachten aanmoedigen om zelf het professioneel functioneren te verbeteren of uit te breiden, noch wordt de individuele verdienste als leerkracht adequaat gewaardeerd door het onderwijssysteem. Promoveren kan enkel tot een directiefunctie, buiten de klasmuren.

Sommige problemen treffen STEM-leerkrachten¹⁶ erger dan andere leerkrachten.

- Goed worden in wiskunde en wetenschappen vraagt een systematische inspanning van de leerlingen: hard werken en een aanzienlijke tijdsinvestering. Leerlingen hebben de indruk dat leerkrachten in deze vakgebieden veel van hen vragen. Uit getuigenissen van leerkrachten blijkt dat dit "hard werken" meer dan vroeger moeilijk ligt. Dit komt hun leerprestaties, succeservaringen en band met de leerkracht niet ten goede.
- De leerplannen voor STEM-vakken zijn uitgebreid en strikter dan voor niet-STEM-vakken. De handboeken suggereren een overladen lesprogramma, waar de leerkracht zelf weinig ruimte vindt om de eigen interesses te belichten, experimenten uit te voeren of projectwerk te begeleiden. Nochtans zijn het dergelijke "extra" leeractiviteiten, vaak buiten het keurslijf van leerplannen en handboeken, die leerlingen het meest interesseren en stimuleren.¹⁷
- Door lerarentekorten in o.a. wiskunde, fysica en chemie moeten sommige leerkrachten vakken verzorgen waarvoor ze niet zijn opgeleid. Dit kan onwettigheid voor de leerkracht en een minder uitdagende leerervaring voor de leerlingen tot gevolg hebben.
- De leerkrachten wiskunde en wetenschappen in het ASO hebben soms een zwakkere positie in het lerarenteam. Op deliberaties is er weinig begrip voor de wetenschapsleraars die de "kleinere vakken" geven. Wiskundeleraars geven een als moeilijk gepercipieerd vak en worden ongewild in de rol van boeman geduwd.

De opgesomde ongemakken zijn helaas een realiteit die moeilijk te veranderen lijkt. Elke redelijke maatregel om de ongemakken van leerkrachten te verminderen, verdient steun.

¹⁶ Zoals in de andere hoofdstukken van dit werk, staat STEM hier zowel voor de individuele STEM-disciplines als voor de nodige (maar nog weinig uitgewerkte) multidisciplinaire aanpak van de verschillende natuurwetenschappen, de engineering en de techniek. Het STEM-kader waarvan sprake in hoofdstuk 1 legt hiervan de randvoorwaarden.

¹⁷ Het reduceren van de strakke programmainhouden in wetenschapsonderwijs is niet eenvoudig. In de aanpak van "Big ideas in science education" worden tien ideeën over de natuurlijke wereld aangebracht, zoals gravitatie en evolutie.^[21] Die worden tussen de leeftijd van 10 en 18 jaar uitgediept met toenemende wetenschappelijke diepgang. Een herschikt curriculum hierop gebaseerd oogt minder strak. Leerkrachten kunnen dan steunen op deze "big ideas" om wetenschappelijk onderbouwd technisch onderwijs te geven en om leerlingen dingen te laten *maken*.^[22]

4.1.2 Het lerarentekort algemeen en het tekort aan STEM-leerkrachten

Te weinig mensen kiezen vandaag bewust voor een job in het onderwijs. Enkele schrikbarende vaststellingen wijzen op een dreigend lerarentekort en een veranderend maatschappelijk aanzien van het leerkrachtenberoep in Vlaanderen.

- De instroom in de lerarenopleidingen van alle niveaus stagneert of daalt.
- Voor 40 % à 50 % van de aspirant-leerkrachten in de professionele bachelor onderwijs is de keuze voor deze richting slechts hun tweede keuze, na voordien iets anders te hebben gestudeerd, of minstens een poging daartoe. In 2007 was dat nog 30 %.^[5]
- Het onderwijs trekt andere profielen aan dan vroeger. Een groot aantal meisjes volgen de lerarenopleidingen en een groeiend aandeel van de generatiestudenten in de lerarenopleidingen hebben een vooropleiding in het BSO (voornamelijk kinderzorg). Deze evolutie wijst erop dat het lerarenambt in de perceptie verschuift naar een **zorgberoep**.
- 22 % van de beginnende leerkrachten verlaat het onderwijs binnen de vijf jaar.^[12]

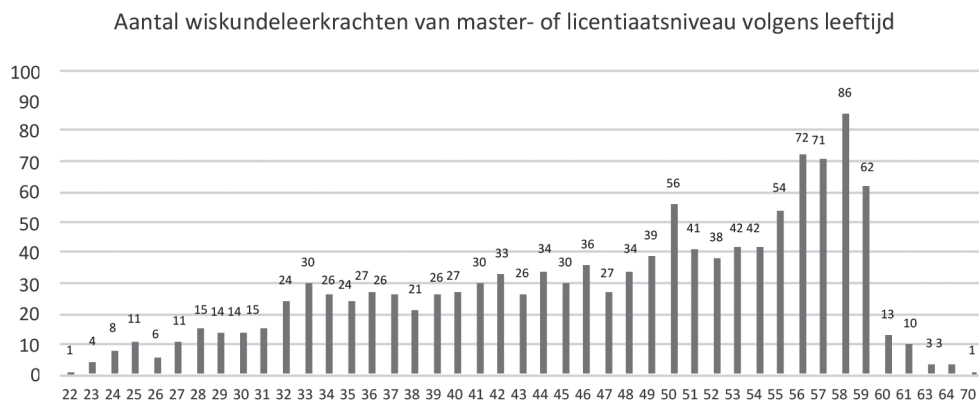
Het stijgend lerarentekort voor de STEM-vakken in de derde graad secundair onderwijs baart ernstige zorgen, vooral voor de “harde” disciplines zoals wiskunde, fysica, chemie, aardrijkskunde en informatica. Dergelijke leerkrachten hebben een masterdiploma in de wiskunde, fysica, chemie, biologie, geografie, informatica of (bio-)ingenieurswetenschappen nodig als vereist bekwaamheidsbewijs.

Na het afstuderen hebben deze wetenschappers en ingenieurs vaak meer aantrekkelijke jobaanbiedingen dan het onderwijs (verloning, werkomstandigheden, bijscholingsmogelijkheden, waardering). In de bedrijfswereld (industrie, banksector) heerst namelijk een permanente vraag naar STEM-afgestudeerden, die met incentives aangetrokken worden. Topstudenten met een passie voor hun vakgebied starten vaak een doctoraatstraject, wat de waarschijnlijkheid dat ze in het onderwijs terechtkomen, verlaagt. Ook als ondernemer zijn er talrijke kansen voor STEM-gediplomeerden.

De groep van jongeren die eerst op 18-jarige leeftijd voor een STEM-richting kiezen én na vijf jaar studeren dan ook nog doelbewust voor het onderwijs gaan (en dus nog de specifieke lerarenopleiding volgen) is niet groot – en alle STEM-leerkrachten in de derde graad moeten uit deze kleine groep komen.

Het is een internationaal bekend fenomeen dat, hoe meer een maatschappij nood heeft aan STEM-profielen, hoe minder STEM-afgestudeerden voor het onderwijs kiezen. Bekwame en gemotiveerde STEM-leerkrachten zijn echter cruciaal om de interesse van toekomstige generaties in STEM en STEM-loopbanen te stimuleren. Op lange termijn zal het tekort aan goed opgeleide STEM-leerkrachten erger zijn dan de huidige vraag naar onderzoekers, wetenschappers en ingenieurs.^[16]

In het **geval van de wiskunde** stelt dit lerarentekort zich vroeger en acuter dan voor de wetenschaps- en techniekvakken. Er is al meer dan 20 jaar een groot wiskundelerarentekort. Jaarlijks studeren in Vlaanderen minder dan 100 wiskundigen af, waarvan minder dan een kwart (meteen) voor het onderwijs kiest – en dat terwijl de leeftijdsverdeling van de werkende wiskundeleerkrachten een dramatische pensioneringsgolf suggereert.¹⁸



Ongeveer 30 % van de benoemde wiskundeleerkrachten in de derde graad van het secundair onderwijs in Vlaanderen heeft een ander diploma dan wiskunde. Het aandeel wiskundigen onder alle wiskundeleerkrachten in de derde graad blijft bovendien afnemen.

De conclusies en aanbevelingen van het hoofdstuk “Leraar wiskunde als knelpuntberoep” uit het SOHO-Wiskunderapport^[7] van 2010 blijven actueel.

4.1.3 Opwaardering van het lerarenberoep

Aanbeveling 5. *Maak prioritair werk van de opwaardering van het lerarenberoep, door o.a. het professionalisme van de leerkracht te erkennen en de loopbaan minder vlak te maken.*

Erken het professionalisme van de leerkracht

Willen we het lerarenambt in ere herstellen, dan moeten we het prestige restaureren dat het beroep verdient: dat van een *specialist in het vakdomein* en een *expert in overdracht* van kennis, waarden en competenties, en dit voor een specifieke leeftijdscategorie.

¹⁸ Bron van informatie en figuur: schriftelijk antwoord op parlementaire vraag, april 2015. ^[6]

Een gewaardeerde leerkracht wordt *gerespecteerd en behandeld als een professional*. Dat betekent ook dat een leerkracht de ruimte, verantwoordelijkheid, vertrouwen, vrijheid én tijd krijgt die hij/zij verdient.

Dit moet zich concreet vertalen in de werkpraktijk en het takenpakket. De leerplannen moeten toelaten dat leerkrachten soms kunnen inspelen op actualiteit, vakoverschrijdende projecten, eigen interesses of die van leerlingen. Verplichtingen om buitenissig het eigen handelen te verantwoorden moeten afgebouwd worden, net als het overmatig inzetten van leerkrachten voor niet-kerntaken zoals het bewaken van de speelplaats of het schoonmaken van de schoolinfrastructuur.

Loopbaanperspectieven

Een interessanter loopbaanmodel voor leerkrachten is een belangrijke sleutel tot de opwaardering van het lerarenberoep en zal leiden tot een betere onderwijskwaliteit. In juni 2015 verscheen de visietekst *Leraar en lerarenopleiding 2025* van de Associatie KU Leuven.^[3] De daar geponeerde voorstellen zullen leiden tot meer meritocratie en gunstiger loopbaanperspectieven. Wij steunen deze visietekst dan ook volledig.¹⁹

Een sterke en aantrekkelijke lerarenopleiding

De opleidingen die lesbevoegdheid geven in de derde graad van het secundair onderwijs moeten voldoende aantrekkelijk zijn en niet langer dan nodig. Het strekt tot aanbeveling dat de studenten niet pas in het laatste jaar van hun opleiding met didactische aspecten in aanraking komen. Het zou *zonder bijzondere programmaconstructies* moeten mogelijk zijn om een modeltraject tot leraar in een STEM-discipline te kunnen afleggen in precies 5 studiejaren. We komen hierop terug in de aanbeveling voor een STEM-onderwijs-masteropleiding in paragraaf 4.3.2.

Empowerment van leerkrachten: financiering voor projecten van STEM-leerkrachten

Een concreet voorstel is het volgende strategisch beleidsinstrument voor *empowerment* van leerkrachten, dat ook José Mariano Gago succesvol uitrolde in Portugal.

Het betreft *STEM-onderwijsprojecten in scholen*, die geleid en beheerd worden door teams van STEM-leerkrachten, met de hulp van onderzoekers wanneer nodig. Ze kunnen gefinancierd worden op projectbasis na een open oproep, net zoals onderzoeksprojecten gefinancierd worden. Dit kan enkel impact hebben als het opzet groot genoeg is en de middelen bijkomend zijn.^[17]

¹⁹ Deze tekst is volledig onafhankelijk met de werkzaamheden van de werkgroep tot stand gekomen.

Ook de structurele samenwerking tussen leerkrachten enerzijds en onderzoekers en andere actoren in de maatschappij anderzijds zal de sociale erkenning van leerkrachten door de samenleving vooruithelpen.

Andere herwaarderingsinitiatieven

Het verhogen van de verloning van leerkrachten kan een aspect van een succesvolle aanpak zijn, maar internationale vergelijkingen^[32, 46] suggereren dat het loon niet het grote probleem is van het lerarenambt.

In Finland, waar leerkrachten een enorme waardering door de samenleving genieten, worden ze bijvoorbeeld niet meer betaald dan in Vlaanderen. Dat verloning geen sterke motivator is, is wel bekend in de HR-wereld.^[1] Finland kent wel een toelatingsbeperking: enkel de 30 % beste leerlingen bij afstuderen worden toegelaten tot de lerarenopleiding.^[34] Door het lerarenkorps te selecteren uit de topstudenten erkent de Finse samenleving de functie van de leraar als drager van de Finse kennismaatschappij. Leraren en aspirant-leraren zijn er dan ook meer gemotiveerd en gepassioneerd om kennis te verwerven en de jeugd te vormen met toekomstgerichte competenties. Ze vertonen typisch van nature uit het voorbeeldgedrag voor een goede STEM-cultuur en lerende economie.

Een dergelijke toegangsbeperking tot de lerarenopleiding is ook in Vlaanderen het overwegen waard.

4.2 De samenwerkende en lerende leerkracht²⁰

Lesgeven is geen geïsoleerde bezigheid. De professionele leerkracht wordt omringd door een team en werkt nauw samen met collega's, schoolt zich systematisch bij en maakt deel uit van een netwerk van wetenschappers, leerkrachten en andere actoren uit de maatschappij.

4.2.1 STEM-departement

Aanbeveling 6. Scholen worden aangemoedigd om een STEM-departement op te zetten, waar structureel vakoverschrijdend overleg van het multidisciplinair STEM-leerkrachtenteam en externe professionals vorm geeft aan een doordacht STEM-leertraject.

Het doorbreken van de "baas-in-eigen-klas"-cultuur komt de leerlingen en hun leerprestaties ten goede, alsook het welbevinden van leerkrachten. Overleg tussen vakleerkrachten van eenzelfde vak en van verschillende vakken, co-teaching en

²⁰ De aanbevelingen in deze paragraaf zijn o.a. gebaseerd op internationale "best practices" en suggesties van de Vlaamse Vereniging Leraren Wetenschappen.

vakoverschrijdende projecten zijn voorbeeldige praktijken die in onze buurlanden meer zijn doorgebroken dan in het Vlaamse secundair onderwijs.

Voor STEM-leerkrachten is een goede samenwerking tussen leerkrachten des te meer cruciaal. Voor het realiseren van sterkere verbanden tussen wetenschappen, technologie, ingenieursvaardigheden en wiskunde in het secundair onderwijs (zie 2 en 3.2.2) is systematisch overleg en samenwerking essentieel.

Daarom pleiten we voor het installeren van een *STEM-departement* in elke school. Een structureel verankerd overlegplatform moet leerkrachten toelaten samen een coherent STEM-leerpad te ontwikkelen. Dat betekent niet alleen dat leerkrachten afstemmen over de timing van hun leerstof, eenduidige notaties afspreken en voorzien te verwijzen naar elkaars lessen. Zij staan als team van leerkrachten in voor een didactisch project, met aandacht voor de integratie van de STEM-componenten maar met respect voor de eigenheid van de componenten. Dergelijke leerkrachtenteams zijn multidisciplinair en hebben zelfvertrouwen om onderwijs in STEM te verzorgen. Bij voorkeur maakt ook een leerkracht met een achtergrond als informaticus of ingenieur deel uit van dit team.

Ook *STEM-professionals* zoals technici, ingenieurs, wetenschappers of academici maken idealiter deel uit van dit team, of staan er nauw mee in contact. Externe personen kunnen aan het onderwijs bijdragen via bijvoorbeeld advies aan de leerkrachten, gastlessen of bedrijfsbezoeken. Zo wordt onderwijs in STEM ingebed in de "echte wereld" en kan het blijvend gevoed worden met de STEM-wereld van vandaag. Dit is in lijn met het ideaalbeeld uit 3.2.4.

Tot slot worden best ook *andere leerkrachten* betrokken bij het overleg in dit STEM-departement. Zo kunnen leerkrachten uit de TSO-afdeling de ASO-afdeling ondersteunen bij het ontwikkelen van STEM-onderwijs, en omgekeerd. Ook leerkrachten uit andere disciplines kunnen betrokken worden, in het bijzonder leerkrachten uit de menswetenschappen. Leerkrachten van andere scholen kunnen relevante ervaring binnenbrengen. Het is dan ook denkbaar dat elke *scholengemeenschap* een STEM-cel heeft, waarvan de STEM-departementen in elke school afdelingen zijn. De Lerende Netwerken zijn een goede aanzet hiervoor.

4.2.2 De lerende leerkracht

Aanbeveling 7. *Leerkrachten worden uitgenodigd om levenslang te leren. Hiervoor moet structureel tijd voorzien worden. Een uitgebreid aanbod van bijscholing en navorming is nodig.*

Levenslang leren is de belangrijkste pijler van een kennismaatschappij. Professionele ontwikkeling door opleidingskansen als onderdeel van het werk worden de norm in bijna elke sector van de arbeidsmarkt. Bedrijven hebben al decennia begrepen dat investeren in training van personeel zich terugbetaalt door een

hogere productiviteit, betere kwaliteit van werk en eindproduct en gelukkiger werknemers.

In het Vlaamse onderwijs is deze levenslang-lerencultuur nagenoeg afwezig. Er is weliswaar een bijscholingsaanbod, maar dit is beperkt in tijd en inhoud. Enkele dagen per jaar met vrijblijvende workshops van anderhalf uur hebben een pover potentieel om de onderwijspraktijk grondig te veranderen.

Nochtans zijn er vandaag talrijke veelbelovende innovaties, klaar voor implementatie in de klas: van de inzet van nieuwe onderwijstechnologieën (blended learning, flipped classroom, ...) tot vernieuwde STEM-didactiek. Het vermelde project STEM@school^[10] is een kweekvijver om dit in de praktijk te brengen.

Er zou een cultuur van navorming en bijscholing ("*lifelong learning*") voor leerkrachten moeten groeien, gecombineerd met een uitgewerkte netwerking en begeleiding van de leerkracht. Dit kan concreet door drie acties.

- **Navorming**, aangeboden door de specifieke lerarenopleidingen aan universiteiten (en eventueel Centra voor Volwassenenonderwijs). Concreet kan de onderwijsinstelling waar een leerkracht de studies heeft gevolgd, *terugkomdagen* organiseren. Een gestructureerde **bijscholing** is in het bijzonder noodzakelijk voor leerkrachten die nog expertise moeten ontwikkelen in de discipline waarin ze lesgeven, hun discipline nog niet op een diepgaande manier in verband kunnen brengen met de andere disciplines van STEM, of weinig ervaring hebben met het contextualiseren van hun leerinhouden.
- **Netwerken van leerkrachten** waar zij hun ervaringen kunnen delen en leren van elkaars goede praktijken, o.a. door middel van congressen. Er zijn al Vlaamse verenigingen voor leerkrachten wetenschappen, wiskunde, aardrijkskunde, informatica en biologie. Deze verenigingen fungeren als informatieplatform en beroepsvereniging, organiseren congressen en spelen soms een rol in de olympiades. Ook internationaal zijn er netwerken, die leerkrachten samenbrengen en toelaten hun expertise te delen. Vermeldenswaardig is hier Scientix, "the community for science education in Europe".²¹ Maar er zijn ook andere initiatieven en platformen voor het delen van leermateriaal (bv. EQnet) of het ondersteunen van internationale uitwisseling (bv. eTwinning). Er moet gewerkt worden aan een cultuur waar Vlaamse leerkrachten sterker genetwerkt zijn en meer van elkaar leren.
- Een goede mentoring en coaching van de leerkracht is cruciaal. Een **vakmentor** begeleidt de (beginnende) leerkracht inzake het onderwijs van zijn vakgebied. De vakmentor kan didactisch materiaal ter beschikking stellen (eventueel zelfs uitgewerkte lessen doorgeven), vakdidactische tips geven en specifieke informatie uitwisselen. Een **klasmanagementmentor** begeleidt de (beginnende)

²¹ Ze omschrijven zichzelf zo: "Scientix collects and promotes best practices in science teaching and learning in Europe, and organises trainings and workshops for STEM teachers."^[37]

leerkracht inzake klasmanagement (o.a. het omgaan met probleemgedrag van leerlingen). Het begeleiden van minder ervaren collega's hoort een gewaardeerd onderdeel te zijn van de schoolopdracht.

4.2.3 Structureel tijd voorzien

Om een dergelijke cultuur van levenslang leren en professionele begeleiding uit te werken, zal een aanzienlijke tijdsreorganisatie nodig zijn. In de tijdsbesteding van de leerkracht moet voldoende ruimte zijn om dit actief bijleren te realiseren. Leerkrachten moeten bepaalde tijd vrijgesteld worden van lesopdracht om zich bij te scholen en sommige ook om zelf te begeleiden. Leerkrachten die zelf bijscholing ontwerpen of didactische programma's ontwikkelen, moeten deeltijds gedetacheerd worden.

Indien bijscholing toch grotendeels op vrijwillige basis zou blijven, moet overwogen worden de leerinzet van de leerkracht te koppelen aan evaluatie en/of beloning.

Bijzondere aandacht voor bijscholing is nodig voor leerkrachten die geen vereist bekwaamheidsbewijs hebben. Door minder gepaste vooropleiding voelen zij zich vaker ongemakkelijk bij de inhouden die ze onderwijzen, in vergelijking met hun collega's die opgeleid zijn in de finesses van het vakgebied. De meerderheid van deze leerkrachten is vragende partij voor inhoudelijke bijscholing om hun lesopdracht beter te kunnen uitvoeren. In Vlaanderen wordt geen structureel bijscholingstraject aangeboden aan deze welwillende leerkrachten. Dit zou er moeten komen, en er zou tijd of compensatie voor moeten voorzien worden.

Verder zouden leerkrachten de ruimte moeten krijgen om sabbaticals te nemen, leerperiodes van een week tot een semester waarin ze zich kunnen herbronnen en nieuwe ervaringen opdoen in andere scholen in binnen- of buitenland.

4.3 Een STEM-centrum en STEM-onderwijs-masteropleiding

We besluiten het hoofdstuk over de STEM-leerkracht met twee concrete aanbevelingen.

4.3.1 Expertisecentrum voor STEM-onderwijs

Aanbeveling 8. Richt een centrum voor STEM-onderwijs op, dat expertise samenbrengt, ontwikkelt en toegankelijk ontsluit.

Wij pleiten voor de oprichting van een Vlaams centrum rond STEM-onderwijs, dat alle expertise bundelt over STEM-didactiek en leerkrachten ondersteunt. Dit STEM-centrum kan o.a. instaan voor:

- het coördineren van vakdidactisch onderzoek in wetenschappen, techniek, engineering en wiskunde en hun integratie, alsook de terugkoppelingen naar het werkveld;

- het verzamelen én zelf ontwikkelen van kwaliteitsvol en vrij toegankelijk leer-materiaal (teksten, illustraties, voorbeelden, opdrachten, software, experimenten, projecten) in een digitale bibliotheek: een inhoudelijk sterk aanbod van leermateriaal dat niet alleen didactisch hoogstaand is, maar ook bij kinderen en jongeren verwondering en interesse kan opwekken, en de belangrijke rol van STEM in de samenleving toont;
- het aanbieden van bijscholingen en navormingscursussen van verschillende duur, zowel voor professionele bachelors als voor masters;
- het organiseren van congressen en andere netwerkmomenten voor leerkrachten en andere onderwijsspelers, in nauwe samenwerking met lerarenverenigingen en onderwijskoepels;
- het coördineren van partnerschappen tussen de bedrijfswereld, industrie, onderzoeksinstituten, social-profitorganisaties, beroepsverenigingen en sectorfederaties enerzijds en het Vlaamse onderwijs anderzijds. Verschillende actoren in de samenleving hebben alle baat bij een kwaliteitsvol STEM-onderwijs en kunnen als partner optreden, door financiële steun en inhoudelijke inbreng in het onderwijs (bedrijfsbezoek, co-ontwikkeling leermateriaal, ...);
- het volgen van Vlaamse en internationale tendensen en concrete vernieuwingen in het STEM-onderwijs; het verspreiden van goede praktijkvoorbeelden via o.a. bijscholingen;
- het verstrekken van informatie aan STEM-leerkrachten, op hun vraag en algemeen – dit laatste kan via een elektronische nieuwsbrief.

Een dergelijk centrum hoort een samenwerking te zijn tussen verschillende stakeholders, niet in het minst met de universiteiten en hogescholen die de lerarenopleidingen huisvesten. Het zou zeker een online platform moeten hebben en idealiter één fysieke campus. Er moet een sterke wisselwerking zijn met de universiteiten, waar het vakdidactisch onderzoek plaatsvindt. Het zou moeten georganiseerd worden met of zelfs vanuit de bestaande lerarenopleidingen in de verschillende STEM-gebieden, en een goede samenwerking hebben met de wetenschappelijke onderzoekers, beroepsverenigingen voor STEM-leerkrachten, het STEM-platform, de olympiadeorganisaties, Technopolis en de wetenschapscommunicatieactoren en -platformen. Minstens gedeeltelijk zou dit door de overheid moeten gefinancierd worden, al is een inbreng van de bedrijfswereld wellicht haalbaar.

Mogelijks biedt het bestaande model van de *steunpunten onderwijs(innovatie)* een gepast format hiervoor.

Succesvolle voorbeelden van dergelijke *Science learning centers* vinden we in het Verenigd Koninkrijk (National STEM Centre),^[4] Denemarken (NTS-centeret - National center for science education), Finland (LUMA - Finnish STEM education portal) en Letland (Center for science and mathematics education of the university of Latvia).

De eerste adviesnota van het STEM-platform bevatte ook een aanbeveling voor een centrum voor STEM-(vak)didactiek.^[42] Echter, om dit ook daadwerkelijk te realiseren zijn in 2013 geen plannen geconcretiseerd.^[39, 43]

4.3.2 Masteropleiding STEM-onderwijs

Aanbeveling 9. *Organiseer naast de bestaande lerarenopleidingen een initiële masteropleiding STEM-onderwijs, die ook lesbevoegdheid geeft voor het vak van de vooropleiding (academische bachelor in een STEM-gebied).*

Het tweede concrete voorstel dat wij willen naar voor schuiven, is een initiële masteropleiding in STEM-onderwijs, die ook lesbevoegdheid in de hogere graden van het secundair onderwijs geeft.²²

De masteropleiding die wij voor ogen hebben

- is een **tweejarige opleiding** (120 studiepunten) die leidt tot het diploma van **Master**;²³
- leidt tot een bewijs van **pedagogische bekwaamheid**, want realiseert de beroepscompetenties voor leerkrachten zoals de specifieke lerarenopleidingen dit doen. De opleiding voorziet dan ook een sterke didactische en pedagogische vorming;
- is een **initiële master**, d.w.z. een **master-na-bachelor**, die rechtstreeks toegankelijk moet zijn voor academische bachelors in één van de verschillende STEM-disciplines – we denken aan de (bio-)ingenieurswetenschappen, industriële wetenschappen en alle richtingen uit de faculteiten Wetenschappen van de Vlaamse universiteiten. Eventueel kunnen andere academische bachelors (economie, farmacie ...) instromen na het voltooien van een schakelprogramma.
- heeft **afstudeerrichtingen** zoals wiskunde, fysica, chemie, informatica, biowetenschappen, ingenieurswetenschappen en aardwetenschappen, die men volgt naargelang de vooraf gevolgde bacheloropleiding. Deze bepaalt voor welk vak een **vereist bekwaamheidsbewijs** wordt verworven. Een student met bijvoorbeeld een bacheloropleiding wiskunde die de masteropleiding STEM-onderwijs - afstudeerrichting wiskunde volgt, verkrijgt dus (enkel) een vereist bekwaamheidsbewijs voor wiskunde en voor geïntegreerde STEM.²⁴ De

²² Over “educatieve masteropleidingen” in verschillende disciplines, naast masteropleidingen met een andere finaliteit (zoals onderzoek) is al gesproken in Vlaanderen en verschillende actoren spraken zich er positief over uit.^[19] Met dit voorstel willen we de discussie weer naar de voorgrond brengen, zoals ook de VLOR wenste in 2013.^[53]

²³ Voor het onderwerp van de masterproef heeft de student idealiter de keuze tussen een vakinhoudelijk thema, STEM-didactiek of een combinatie van beide.

²⁴ Met “geïntegreerde STEM” wordt een mogelijk schoolvak bedoeld waarin de STEM-componenten geïntegreerd en projectmatig worden aangeboden/verdiept. Een bekwaamheidsbewijs daarvoor bestond anno 2015 nog niet.

afstudeerrichting slaat dus niet op het luik van de lerarenopleiding, alleen op het luik van de vakopleiding.

Inhoudelijk heeft de opleiding naast de pedagogische en didactische vorming

- een grote **STEM-inhoudelijke component**. Mogelijke leerinhouden zijn "modelleren en simuleren", "capita selecta in recente technologische ontwikkelingen", ...
- een **STEM-projectcomponent** met aandacht voor de wisselwerking tussen de componenten en de impact van STEM op de samenleving.
- een **vakspecifieke component**, d.m.v. keuzevakken uit het vakgebied van de eigen afstudeerrichting, alsook mogelijkheden tot verbreding naar andere vakgebieden.
- een component die slaat op de koppeling tussen **STEM en de samenleving**, zoals bijvoorbeeld "geschiedenis van wetenschap, techniek en wiskunde" of "maatschappelijke en wetenschappelijke uitdagingen", waar ook ingegaan wordt op ethische, ecologische en economische aspecten.
- een component **wetenschapscommunicatie** die zich richt op het begrijpelijk overbrengen van wetenschappelijke of technische inzichten aan doelpublieken zoals leken, kinderen en jongeren en wetenschappers met een andere achtergrond.

Met deze inhoud worden studenten opgeleid tot bredere STEM-professionals. De opleiding moet dan ook als een **volwaardige masteropleiding in STEM geprofileerd** worden en niet (enkel) als een lerarenopleiding. Het diploma moet toegang geven tot een brede sector van de arbeidsmarkt – het onderwijs is één van de verschillende beroepsuitwegen voor afgestudeerden.

Een dergelijke structuur zou een aantal manifeste troeven hebben, en tegemoetkomen aan knelpunten die in dit rapport werden geïdentificeerd.

- Een tweejarige masteropleiding na een bacheloropleiding zou toelaten dat men na vijf jaar studie volledig gekwalificeerd is als leerkracht voor het secundair onderwijs, zonder bijzondere constructies. Dit is in lijn met de studieduur anno 2016 voor leerkrachten geschiedenis en talen, zonder te raken aan de decretale bepaling dat lesbevoegdheid in het hoger secundair een masterdiploma vereist.
- Een tweejarige lerarenopleiding laat meer ruimte voor vakdidactiek, vooral wat betreft de integratie van de STEM-componenten. Dergelijke STEM-didactiek ontbreekt in de huidige opleidingen en kan ook moeilijk geïntegreerd worden in de bestaande eenjarige lerarenopleidingen, noch in de vakspecifieke masteropleidingen.
- Door toekomstige STEM-leerkrachten bijeen te brengen in eenzelfde masteropleiding, kunnen zij leren van elkaar (bijvoorbeeld in groepsopdrachten). Deze mix van STEM-achtergronden is een verrijking die zich zal vertalen in de lespraktijk van de leerkrachten en hun zin om ook tijdens hun onderwijssloopbaan interdisciplinair samen te werken.

- Er is een nood aan expertise inzake STEM-onderwijs en -didactiek, zoals betoogd in het pleidooi voor een STEM-centrum. Deze expertise kan aan de universiteiten ontwikkeld worden voor het onderwijs in deze STEM-lerarenopleiding.

Van belang is dat deze nieuwe masteropleiding STEM-onderwijs wordt aangeboden *naast* en niet *in plaats van* de bestaande specifieke lerarenopleidingen en de "onderwijs"-varianten van de masteropleidingen van STEM-richtingen waarin die (gedeeltelijk) zijn ingedaald. Beiden zijn complementair en nodig om optimaal gekwalificeerde lerarenkorpsen te kunnen installeren en onderhouden in middelbare scholen. Bovendien mogen studenten in een STEM-bacheloropleiding, die tijdens hun studieloopbaan lesbevoegdheid willen verwerven, niet uitgesloten worden om een masterdiploma in hun eigen vakgebied te behalen.

Het bijzondere profiel van een afgestudeerde met een specifiek bachelordiploma en een masterdiploma in STEM-onderwijs biedt dankzij het communicatieprofiel ook sterke mogelijkheden op de arbeidsmarkt buiten het onderwijs. Bedrijven hebben nood aan werknemers die een brede kijk hebben op wetenschap en techniek, en zeker aan werknemers die complexe materie met technische of wetenschappelijke aspecten helder kunnen communiceren, zowel aan diverse takken binnen het bedrijf, als aan klanten, partners en externen. Een mogelijk gunstig neveneffect is een verhoogde studenteninstroom in STEM-studierichtingen door studiekeizers die een dergelijk profiel ambiëren.

Dit voorstel handelt over het opleiden van leerkrachten van masterniveau, die lesbevoegdheid hebben voor de derde graad secundair onderwijs. Het is even essentieel STEM-lerarenopleidingen ook voor andere onderwijsniveaus (lager onderwijs, lagere graden secundair onderwijs) te organiseren. De concrete invulling hiervan valt buiten de focus van dit Standpunt.

Overzicht van de aanbevelingen

Aanbeveling 1. *STEM-onderwijs moet aansluiten bij de waarden, interesses en leefwereld van leerlingen. Nieuwe inhouden moeten aangebracht worden vanuit een concrete context. STEM-onderwijs moet verbanden tonen met het eigen leven, werelduitdagingen, menselijke waarden, ethische keuzes en andere vakgebieden.*

Aanbeveling 2. *STEM-onderwijs moet een betere integratie nastreven van de vier STEM-componenten, met respect voor hun eigenheid.*

Aanbeveling 3. *STEM-onderwijs moet toelaten de creatieve processen te ervaren die typerend zijn voor STEM: redeneren, onderzoeken, ontwerpen, probleemoplossend denken ... Dit toont STEM in al zijn aspecten en is gunstig voor de beeldvorming rond STEM-studies en -werk en voor sociale inclusie.*

Aanbeveling 4. *Alle actoren in de onderwijswereld moeten zich voorbereiden op een herconciëring van het onderwijs in STEM-disciplines. Vakdidactisch onderzoek moet aangemoedigd en uitgebreid worden.*

Aanbeveling 5. *Maak prioritair werk van de opwaardering van het lerarenberoep, door o.a. het professionalisme van de leerkracht te erkennen en de loopbaan minder vlak te maken.*

Aanbeveling 6. *Scholen worden aangemoedigd om een STEM-departement op te zetten, waar structureel vakoverschrijdend overleg van het multidisciplinair STEM-leerkrachtenteam en externe professionals vorm geeft aan een doordacht STEM-leertraject.*

Aanbeveling 7. *Leerkrachten worden uitgenodigd om levenslang te leren. Hiervoor moet structureel tijd voorzien worden. Een uitgebreid aanbod van bijscholing en navorming is nodig.*

Aanbeveling 8. *Richt een centrum voor STEM-onderwijs op, dat expertise samenbrengt, ontwikkelt en toegankelijk ontsluit.*

Aanbeveling 9. *Organiseer naast de bestaande lerarenopleidingen een initiële masteropleiding STEM-onderwijs, die ook lesbevoegdheid geeft voor het vak van de vooropleiding (academische bachelor in een STEM-gebied).*

Executive summary

The STEM teacher

Quality education in Science, Technology, Engineering and Mathematics has become a major concern for governments and policy makers all over the world. Indeed, neither technology-driven economies nor democratic societies can develop without a critical mass of STEM skilled knowledge workers and a population of citizens with sufficient STEM literacy. Unfortunately, the scientific literacy of the population is often inadequate in most of the developed countries. Moreover there is a dramatic lack of interest among the youth to opt for STEM studies and STEM careers.

The independent and multidisciplinary Royal Flemish Academy of Belgium for Science and the Arts recognized the importance of this issue and invited Professor José Mariano Gago (1948-2015) as a “Thinker” to reflect on this question, whether Flanders is indeed on its way towards an enthusiastic, curiosity and innovation-driven knowledge society. One of his most striking conclusions, confirmed by other stakeholders in Flanders, can be summarized as follows:

Flanders is in urgent need of a review of the curriculum, teaching methods and learning outcomes in primary but mainly secondary education. There is even more urgency to upgrade our teachers’ status and to thoroughly reconsider the way teachers are trained, coached and retained in and for STEM education today.

As a follow-up of these recommendations, a working group of fellows of the Academy and other Flemish experts in the field focused on the “STEM teacher” for the present position paper. It is felt that many of the findings and recommendations here extend beyond the Flemish region.

This report is addressed to the teachers and their associations, the school managements, the inspection, educational supervisors, the professors and deans of the faculties of science and engineering of the Flemish universities, and educational policy makers both in the Flemish government and within the umbrella organizations of school organisers.

This position paper has four chapters.

1. Context and history, the present scene in Flanders
2. STEM: meaning, cohesion and importance
3. STEM education
4. The teacher in STEM education

The report substantiates nine recommendations, all in the last two chapters, referred to by (1), (2) ... in this summary.

Science, technology, engineering and mathematics are significant fields of knowledge, each having their own (r)evolutionary dynamics. They are entangled and have a great influence on each other. STEM relates to all aspects of our lives and is able to contribute to the grand challenges of our modern society (energy, mobility, digitalization, health ...). Both STEM professionals and technology users, like all of us, are exposed to ethical aspects of STEM. These motivating factors do not receive enough attention in secondary education.

Three didactical recommendations for quality STEM education are formulated: (1) STEM teachers should show their pupils the relevance of their curriculum to bridge the gap with youth culture, by contextualizing, by responding to the values, interests and environment of pupils and by answering why the matters to be learned are so important. (2) STEM education should seek better integration of the four STEM components, with respect for their individuality. (3) STEM teachers should involve pupils in the creative learning processes typical to STEM, such as arguing, investigating, designing and problem solving.

These recommendations require a major revision of STEM education, solidly founded on educational research. (4) This process must be prepared by educational actors.

The persistent shortage of teachers (especially in science, mathematics and technology), combined with a lack of attraction for and retention in the profession is a matter of great concern. Moreover most teachers lack the broad view on the entanglement between, evolution in and applications of the STEM disciplines.

(5) To upgrade the status of teachers in society, the teaching profession should have career incentives and the professionalism of the teacher should be recognized.

(6) Schools should strive to have a STEM department, bringing together teachers in charge of the education in the various sciences, technology and mathematics, to collaborate on project work, harmonize curriculum and have consultation with external STEM professionals.

(7) The Flemish education system provides too little time for professional support for teachers. STEM teachers should be encouraged and supported to adopt a lifelong learning attitude. There is a need for further training and retraining, good mentoring and (international) networking.

To achieve these recommendations, (8) it is suggested that a STEM education centre be created, modeled after international examples of successful STEM centres. It should bring together, develop and disseminate expertise, learning material and equipment on STEM education.

(9) Moreover, an initial Master program in STEM education should be installed. It should be open to all academic bachelors in a STEM field. It should lead to teaching qualification for the subject in which the degree of the student is situated (academic degree in a STEM field). This degree would require a total of five years of tertiary education and should be organized beside the existing teacher programs.

Referenties

- [1] ALLEN G. ET AL., *Retaining Talent: Replacing Misconceptions With Evidence-Based Strategies*, Academy of Management Perspectives, vol. 24 no. 2, pp. 48-64, mei 2010, <http://amp.aom.org/content/24/2/48.abstract>.
- [2] ARTHUR W. B., *The Nature of Technology: What it is and How it Evolves*, The Free Press en Penguin Books, 2009.
- [3] ASSOCIATIE KU LEUVEN, *Visietekst Leraar en Lerarenopleiding 2025*, 2015, <https://associatie.kuleuven.be/onderwijs/documenten/associatiekuleuven-visietekst-leraar2025.pdf>.
- [4] BAKER Y. ET AL., *The National STEM Centre*, University of York, www.stem.org.uk.
- [5] CREVITS H., *Antwoord op parlementaire vraag in de Commissie Onderwijs op 2 april 2015*, www.vlaamsparlement.be/commissies/commissievergaderingen/970151/verslag/972584.
- [6] CREVITS H., *Antwoord op schriftelijke vraag nr. 372 van 1 april 2015 van Ann Brusseel over leerkrachten wiskunde in het secundair onderwijs*, <http://docs.vlaamsparlement.be/pfile?id=1128712>.
- [7] DE CLERCK F. ET AL., *Wiskundeonderwijs in Vlaanderen, Rapport van de SoHo-overleggroep Wiskunde*, 2010, www.sohowiskunde.ugent.be.
- [8] DE MARTELAERE D. EN VAN DEN BERGHE W., *Kiezen voor STEM*, VRWI, 2012, www.vrwi.be/publicaties/rapport-kiezen-voor-stem.
- [9] DECUYPER J. ET AL., *Website RVO-Society*, www.rvo-society.be.
- [10] DEHAENE W. ET AL., *STEM@School*, www.stematschool.be.
- [11] DEPARTEMENT ONDERWIJS EN VORMING, *Hervorming secundair onderwijs*, 2015, www.hervormingsecundair.be.
- [12] DEPARTEMENT ONDERWIJS EN VORMING, *Arbeidsmarktrapport Prognose 2011-2015*, 2011, www.ond.vlaanderen.be/beleid/personeel/files/AMR_2013.pdf.
- [13] DEPARTEMENT ONDERWIJS EN VORMING, *STEM-kader voor het Vlaamse onderwijs*, 2015, www.ond.vlaanderen.be/stem/Beleidsdocumenten/STEM-kader-voor-het-Vlaamse-onderwijs.pdf.
- [14] EUROPESE COMMISSIE (EXPERT GROUP ON SCIENCE EDUCATION), *Science education for Responsible Citizenship*, Directorate-General for Research and Innovation, Science with and for Society, 2015, http://ec.europa.eu/research/swafs/pdf/pub_science_education/KI-NA-26-893-EN-N.pdf.
- [15] EUROPESE COMMISSIE, *Europeans, Science and Technology*, Special EuroBarometer 224, 2005, http://ec.europa.eu/public_opinion/archives/ebs/ebs_224_report_en.pdf.
- [16] GAGO J. M. ET AL., *Europe needs more scientists. Report by the High Level Group on increasing human resources for science and technology in Europe*, Europese commissie, Directorate-General for Research, directoraat C: Science and Society, 2004, https://ec.europa.eu/research/conferences/2004/sciprof/pdf/final_en.pdf.

- [17] GAGO J. M., *A knowledge-based society under catalysis: a personal summary, and some naive proposals for action*. 28 november 2014, www.kvab.be/gago.
- [18] GAZIS D., *Influence of technology on science: a comment on some experiences at IBM research*, Research Policy, vol. 1979, nr. Volume 8, Issue 3, 1979, DOI 10.1016/0048-7333(79)90036-2.
- [19] GENTSE STUDENTENRAAD, *Standpunt lerarenopleiding*, 2012, http://gsr.ugent.be/uploads/3/8/2/0/38201413/standpunt_lerarenopleiding_def.pdf.
- [20] HAMMING R. W., *The Unreasonable Effectiveness of Mathematics*, The American Mathematical Monthly 87, nr. 2, p. 81–90, 1980, DOI 10.2307/2321982.
- [21] HARLEN W. (ED.), *Principles and big ideas of science education*, Association for Science Education, Hertfordshire, 2010, www.ase.org.uk/resources/big-ideas.
- [22] HARLEN W. (ED.), *Working with Big Ideas of Science Education*, Science Education Programme of IAP, 2015, www.ase.org.uk/resources/big-ideas.
- [23] HILBERT D., radio-interview, 8 september 1930, <http://topo.math.u-psud.fr/~lcs/Hilbert/HlbrtKD.htm>.
- [24] IAP / ALLEA, *A renewal of science education in Europe*. Views and Actions of National Academies, 2011, www.interacademies.net/File.aspx?id=21281.
- [25] KENIS P., MICHELSENS P. EN VAN ANDEL W., *Kom op tegen Planlast!*, Antwerp Management School, 2013, www.ond.vlaanderen.be/obpwo/rapporten/Planlast/onderzoekplanlastverminderingleerplichtonderwijs.pdf.
- [26] KUHN T., *The Structure of Scientific Revolutions*, Chicago: University of Chicago Press, 1962.
- [27] MICROSOFT, *Attention in the Digital Age*, report, 2015, <http://advertising.microsoft.com/en/attention-spans>.
- [28] NAERT K. EN SEGHERS B., *Website van de opleiding wiskunde: wat is wiskunde; wiskunde als discipline*, UGent, 2012, www.wiskunde.ugent.be/kiezen/wat en www.wiskunde.ugent.be/kiezen/discipline.
- [29] NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE (USA), *Integrating Discovery-Based Research into the Undergraduate Curriculum: Report of a Convocation*, The National Academies Press, Washington DC, 2015, DOI 10.17226/21851.
- [30] NATIONAL ACADEMY OF ENGINEERING OF THE NATIONAL ACADEMIES (USA), *Grand Challenges for Engineering*, 2008, www.engineeringchallenges.org/challenges/11574.aspx.
- [31] NATIONAL RESEARCH COUNCIL OF THE NATIONAL ACADEMIES (USA), *STEM Learning Is Everywhere: Summary of a Convocation on Building Learning Systems*, National Academies Press, Washington D.C., 2014, DOI 10.17226/18818, www.nap.edu/catalog.php?record_id=18818.
- [32] OESO, *Indicator D3: How much are teachers paid?*, in Education at a Glance 2014: OECD Indicators, OECD Publishing, 2014, DOI 10.1787/888933119815.
- [33] POLANYI M., *The tacit dimension*, University of Chicago Press, 1966.

- [34] RIPLEY A., *The smartest kids in the world, and how they got that way*, Simon & Schuster, 2013.
- [35] SAMAËY G., VAN REMORTEL J. ET AL., *Informaticawetenschappen in het leerplichtonderwijs*, KVAB, Standpunten, nr. 27, 2014.
- [36] SCHUMPETER J. A., *The theory of economic development: an inquiry into profits, capital, credit, interest, and the business cycle*, Vertaling van het Duitse origineel uit 1911, *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung*, New Brunswick, New Jersey: Transaction Books.
- [37] SCIENTIX, website, www.scientix.eu.
- [38] SJØBERG S. EN SCHREINER C., *The ROSE project. An overview and key findings*, Oslo, 2010, <http://roseproject.no>.
- [39] SMET P., *Antwoord op schriftelijke vraag nr. 143 van 12 november 2013 van Sabine Poleyne over de lerarenopleiding en STEM-vakdidactiek*, www.vlaamsparlament.be/parlementaire-documenten/schriftelijke-vragen/899949.
- [40] SMET P., *Vlaanderen stoomt zich klaar voor kenniseconomie en arbeidsmarktnoden 2020 met concrete STEM-strategie* (persbericht), 2013 september 13. www.ond.vlaanderen.be/nieuws/2013/09-13-kenniseconomie-stem.htm.
- [41] STEM-PLATFORM ET AL., *STEM voor de Toekomst - STEM-charter*, 22 november 2015, <http://stemcharter.be>.
- [42] STEM-PLATFORM, *Eerste Adviesnota*, 2013, www.ond.vlaanderen.be/stem/Beleidsdocumenten/eerste_adviesnota_van_het_platform.pdf.
- [43] STEM-STUURGROEP, *Overzicht van acties door de STEM-stuurgroep bij de aanbevelingen van het STEM-platform*, 2013, www.ond.vlaanderen.be/stem/Beleidsdocumenten/concrete_acties.pdf.
- [44] STEM-STUURGROEP, *STEM-actieplan*, januari 2012, www.ond.vlaanderen.be/stem/Beleidsdocumenten/STEM-actieplan.pdf.
- [45] STEUNPUNT TOETSONTWIKKELING EN PEILINGEN, *Peiling wiskunde in de derde graad aso, kso en tso*, Departement Onderwijs en Vorming, Brussel, 2015, www.ond.vlaanderen.be/curriculum/PeilingWiskunde.pdf.
- [46] STUDIEDIENST VAN DE VLAAMSE REGERING, *VRIND 2015: Vlaamse Regionale Indicatoren*, 2015, www4.vlaanderen.be/sites/svr/publicaties/Publicaties/vrind/2015-10-09-vrind2015-volledig.pdf.
- [47] UNESCO, *Towards knowledge societies*. UNESCO World Report, UNESCO Publishing, 2005, www.unesco.org/new/en/communication-and-information/resources/publications-and-communication-materials/publications/full-list/towards-knowledge-societies-unesco-world-report.
- [48] VAN DE BROEK M., PENNINGCKX M., DONCHE V., VAN PETEGEM P. EN VANHOOF J. (VLOR), *Leerbereidheid van leerlingen aanwakkeren: Principes die motiveren, inspireren én werken*, ACCO, 2012, <http://www.vlor.be/publicatie/leerbereidheid-van-leerlingen-aanwakkeren>.
- [49] VAN DER PERRE G., VAN CAMPENHOUT J. ET AL., *Hoger onderwijs voor de digitale eeuw*, KVAB, Standpunten nr. 34, 2015.

- [50] VAN HOUTE H., MERCKX B., DE LANGE J. EN DE BRUYCKER M. (VLOR), *Zin in wetenschappen, wiskunde en techniek: leerlingen motiveren voor STEM*, ACCO, 2013, www.vlor.be/publicatie/zin-wetenschappen-wiskunde-en-techniek.
- [51] VERBEEK P.-P., *De daadkracht der dingen: over techniek, filosofie en vormgeving*, Uitgeverij Boom, 2000.
- [52] VLAAMSE OVERHEID, *TOS21 - Technische geletterdheid voor iedereen, Standaarden en referentiepunten*, 2008, www.ond.vlaanderen.be/nieuws/2008p/files/0827-tos21.pdf.
- [53] VLOR, *Advies over wijzigingen aan de studieomvang van opleidingen hoger onderwijs*, 2013, www.vlor.be/advies/advies-over-wijzigingen-aan-de-studieomvang-van-opleidingen-hoger-onderwijs-0.
- [54] VRWI, *Advies 155: Naar een integraal beleid voor wetenschappelijke en technische knelpuntringingen*, 2011, www.vrwi.be/publicaties/advies-155.
- [55] VRWI, *Advies 175: Kiezen voor STEM: de keuze van jongeren voor technische en wetenschappelijke studies*, 2012, www.vrwi.be/publicaties/advies-175.
- [56] VRWI, *Studiereeks 26: VRWI Toekomstverkenningen 2025*, 2014, www.vrwi.be/publicaties/toekomstverkenningen-vrwi-flanders-2025.
- [57] WETENSCHAPPELIJKE RAAD VOOR HET REGERINGSBELEID (NEDERLAND), *Naar een lerende economie. Investeren in het verdienvermogen van Nederland*, WRR-rapport nr. 90, 2013, www.wrr.nl/publicaties/publicatie/article/naar-een-lerende-economie-1.
- [58] WIKIPEDIA, DE VRIJE ENCYCLOPEDIA, *Paradigma (wetenschapsfilosofie)*, [https://nl.wikipedia.org/wiki/Paradigma_\(wetenschapsfilosofie\)](https://nl.wikipedia.org/wiki/Paradigma_(wetenschapsfilosofie)).

Leden van de werkgroep

Irina VERETENNICOFF (KNW, covoorzitter)

Joos VANDEWALLE (KTW, covoorzitter)

Bert SEGHERS (beleidsmedewerker KVAB, penhouder)

Conny AERTS (KNW)

Christiane MALCORPS (KTW)

Yvan BRUYNSERAEDE (KNW)

Niceas SCHAMP (KNW)

Philippe CARA (VUB, voorzitter van het

Alexander SEVRIN (KNW)

Belgisch Wiskundig Genootschap)

Katrien STRUBBE (UGent)

Wim DEHAENE (KU Leuven, STEM@School)

Dirk VAN DYCK (KNW)

Bart DE MOOR (KTW, STEM-platform)

Paul VAN HOUTTE (KNW)

Bernadette HENDRICKX (VeLeWe)

Veronique VAN SPEYBROECK (KNW,

Charles HIRSCH (KNW)

STEM-platform)

Rik HOSTYN (VIVES, STEM-Academies)

Jacques WILLEMS (KTW)

KNW = Klasse Natuurwetenschappen van de Academie

KTW = Klasse Technische wetenschappen van de Academie

Dankwoord

We wensen alle personen die bijgedragen hebben tot de slotconferentie van het Denkersprogramma rond *Vlaanderen kennismaatschappij* (28 november 2014), hartelijk te bedanken voor hun medewerking en belangstelling. De auteurs zijn ook dank verschuldigd aan talrijke nalezers met wie de inhoud van dit Standpunt is afgetoetst, met name Rita Dunon en Christel Op de Beeck (Departement Onderwijs en Vorming), Jo Decuyper (RVO-Society), Katrien De Schrijver (beleidsmedewerker STEM-platform), Dirk Saeys (leerkracht), Patricia Verheyden (Technopolis), Bart De Moor (KTW) en Hugo De Man (KTW).

RECENTE STANDPUNTEN (vanaf 2013)

17. Hendrik Van Brussel e. a. – *De maakindustrie, motor van welvaart in Vlaanderen*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2013.
18. Hubert Bocken (ed.) – *De gerechtelijke hervorming. Een globale visie*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2013.
19. Georges Van der Perre, Jan Van Campenhout e.a. – *Van Blended naar Open Learning? Internet en ICT in het Vlaams hoger onderwijs*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2013.
20. Jan Velaers – *Federalisme/confederalisme, en de weg er naar toe...*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2013.
21. Karel Velle – *Archieven, de politiek en de burger*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2013.
22. Etienne Aernoudt, Dirk Fransaer, Egbert Lox, Karel Van Acker – *Dreigende metaalschaarste? Innovaties en acties op weg naar een circulaire economie*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2014.
23. Roger Marijnissen, Francis Strauven – *Voor een verantwoord beheer van ons kunstpatrimonium*, KVAB/Klasse Kunsten, 2014.
24. Jan Eeckhout, Joep Konings – *Jeugdwerkloosheid*, Denkersprogramma Klasse Menswetenschappen, 2014.
25. Pascal Verdonck e. a. – *Medische Technologie, als motor voor innovatieve gezondheidszorg*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2014.
26. Charles Hirsch, Erik Tambuyzer e. a. – *Innovatief ondernemerschap via spin-offs van kenniscentra*, KVAB/Klassen Natuurwetenschappen en Technische wetenschappen, 2014.
27. Giovanni Samaey, Jacques Van Remortel e. a. – *Informaticawetenschappen in het leerplichtonderwijs*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen en Jonge Academie, 2014.
28. Paul Van Rompuy – *Leidt fiscale autonomie van deelgebieden in een federale staat tot budgettaire discipline?* KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2014.
29. Luc Bonte, Paul Verstraeten e. a. – *Maatschappelijk verantwoord ondernemen. Meedoen omdat het moet, of echt engagement?* KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2014.
30. Piet Van Avermaet, Stef Slembrouck, Anne-Marie Simon-Vandenbergen – *Talige diversiteit in het Vlaams onderwijs: problematiek en oplossingen*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
31. Jo Tollebeek – *Metamorfoses van het Europese historisch besef, 1800-2000*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
32. Charles Hirsch, Erik Tambuyzer e.a. – *Innovative Entrepreneurship via Spin-offs of Knowledge Centers*, KVAB/Klassen Natuurwetenschappen en Technische wetenschappen, 2015.
33. Georges Van der Perre en Jan Van Campenhout (eds.) – *Higher education in the digital era. A thinking exercise in Flanders*, Denkersprogramma KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2015.
34. Georges Van der Perre, Jan Van Campenhout e.a. – *Hoger onderwijs voor de digitale eeuw*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2015.
35. Hugo Hens e. a. – *Energiezuinig (ver)bouwen: geen rechttoe rechtaan verhaal*, KVAB/Klasse Technische wetenschappen, 2015.
36. Marnix Van Damme – *Financiële vorming*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.
37. Els Witte – *Het debat rond de federale culturele en wetenschappelijke instellingen (2010-2015)*, KVAB/Klasse Menswetenschappen, 2015.

De volledige lijst met standpunten en alle pdf's kunnen worden geraadpleegd op
www.kvab.be/standpunten

DE STEM-LEERKRACHT

Science, Technology, Engineering en Mathematics: STEM is actueel in Vlaanderen. STEM-academies, het STEM-platform, het STEM-charter ... allen streven ze naar een versterking van de wetenschappelijk-technische geletterdheid van de Vlaming. Dit is niet alleen nuttig voor de invulling van knelpuntjobs, maar vooral cruciaal voor een verantwoord burgerschap in onze complexe en technologiegedreven kennismaatschappij.

Met dit Standpunt wenst de Academie bij te dragen tot deze belangrijke ontwikkeling. We gaan dieper in op de essentie van de STEM-componenten (natuurwetenschappen, techniek, engineering en wiskunde) en de rol die ze spelen in onze samenleving. STEM-inzichten kunnen immers een belangrijke bijdrage leveren aan de grote uitdagingen van onze wereld op vlak van energie, gezondheid, urbanisatie, mobiliteit, klimaat, digitalisering ... Vanuit deze inherente motivatie formuleren we concrete aanbevelingen voor het leren van STEM.

STEM-leren vindt plaats in zowel het (leerplicht)onderwijs als via informele leercontexten. Leerkrachten uit het secundair onderwijs die instaan voor de STEM-vakken spelen hier een centrale rol. We analyseren de obstakels voor een aantrekkelijk en effectief STEM-onderwijs, zoals bijvoorbeeld het dreigend lerarentekort, en een beperkte voeling van leerkrachten met de onderlinge verwevenheid tussen de vier STEM-componenten. We geven advies over de opwaardering van het lerarenberoep en doen suggesties voor mentoring, levenslang leren en een structurele samenwerking tussen leerkrachten.

De kernboodschap van dit Standpunt is dat de vorming van leerkrachten in de STEM-disciplines van essentieel belang is. Concreet worden aanbevelingen geformuleerd om hiertoe een STEM-expertisecentrum op te richten, en om STEM-lerarenopleidingen te organiseren, zowel een educatieve initiële masteropleiding als een professionele lerarenopleiding.

Dit Standpunt richt zich tot alle STEM-leerkrachten, schooldirecties, pedagogische begeleiders, inspecties en beleidsverantwoordelijken. Maar het is ook aanbevolen voor iedereen die begaan is met de toekomst van onze jeugd en onze samenleving.

Deze uitgave is geconcipieerd door een werkgroep van de Academie, voorgezeten door Joos Vandewalle (prof. em. wiskundige ingenieurstechnieken, KU Leuven) en Irina Veretennicoff (prof. em. toegepaste natuurkunde en fotonica, VUB). Mede-auteurs zijn Conny Aerts, Yvan Bruynse-raede, Philippe Cara, Wim Dehaene, Bernadette Hendrickx, Charles Hirsch, Rik Hostyn, Christiane Malcorps, Niceas Schamp, Bert Seghers, Alexander Sevrin, Katrien Strubbe, Dirk Van Dyck, Paul Van Houtte, Veronique Van Speybroeck en Jacques Willems.

Dit Standpunt wordt opgedragen aan prof. José Mariano Gago (1948-2015), die de auteurs erkentelijk zijn voor alle belangrijke inzichten die hij hen heeft gegeven.



**Vlaamse
overheid**

