

Manifest voor STEM

Wim Dehaene, Stefaan Vaes, Mieke De Cock

Deze tekst gaat over wiskunde, wetenschappen en ingenieurswetenschappen en hun rol in het secundair onderwijs. Deze tekst gaat ook over STEM. Dat klinkt als een overbodige aanvulling, want STEM is een letterwoord dat staat voor Science, Technology, Engineering en Mathematics. Maar er is meer aan de hand en dat willen we hier uitleggen. Deze tekst is een oproep om de verschillende curricula in S, TE, M én STEM in het secundair onderwijs als een geheel te herbekijken.

Wiskunde, wetenschappen en ingenieurswetenschappen vormen een drieling, die elk hun eigen karaktertrekken hebben, maar mekaar vooral goed aanvullen. Alleen lijkt het dat deze drielingzussen in de programma's van het secundair onderwijs elk op een eigen eiland leven. Daar willen we iets aan veranderen, omdat we sterk geloven dat het onderwijs in elk van deze disciplines beter wordt door hun onderlinge wisselwerking. Dat betekent niet dat deze tekst een pleidooi is om het discipline-specifieke onderwijs overboord te gooien, integendeel.

Laten we beginnen bij de wiskunde. Wiskunde speelt een centrale rol in alle domeinen van STEM, maar wiskunde is ook een discipline op zich. Onderzoekers in zuivere wiskunde zijn gepassioneerd door vaak erg abstracte vraagstukken, dikwijls tientallen of zelfs honderden jaren oud, en sommige met ronkende namen als de Laatste Stelling van Fermat, de Conjectuur van Poincaré of de Riemann-hypothese. Hun onderzoek in algebra, analyse, meetkunde is helemaal gedreven door nieuwsgierigheid en het steeds beter willen begrijpen van wiskundige structuren. Onderzoek in toegepaste wiskunde wordt gedreven door vragen vanuit de fysica of de ingenieurswetenschappen. Zo wordt voortdurend nieuwe wiskunde ontwikkeld om antwoorden te bieden op de steeds groeiende uitdagingen van bijvoorbeeld dataverwerking en beeldverwerking. De wiskunde als eeuwenoude discipline op zich, met haar typische aandacht voor nauwkeurigheid, abstractie en algemeenheid en als bron voor talloze toepassingen, heeft terecht een centrale plaats in het onderwijs.

Wiskunde wordt voortdurend gebruikt in de andere STEM-disciplines. Dat is overduidelijk in de fysica. Verbanden tussen fysische grootheden worden uitgedrukt in vergelijkingen van allerlei aard. De afgeleide van een snelheid geeft een versnelling. De integraal van een snelheid geeft een afgelegde weg. Het is onmogelijk om aan fysica te doen zonder wiskunde te gebruiken, want dan zijn de fysici hun taal kwijt. Hetzelfde geldt voor andere wetenschappen. Groeimodellen van bacteriën, allerhande economische modellen, weermodellen, geologische modellen gebruiken allemaal wiskundige technieken. Wiskundige modellen zijn voor wetenschappers essentieel in hun missie om de werkelijkheid te begrijpen, in kaart te brengen en te voorspellen. Wetenschap heeft een missie op zich, maar daarbij is, naast wetenschappelijke kennis, meestal ook wiskunde nodig.

Ingenieurs uit allerlei disciplines, zoals burgerlijk ingenieurs, bio-ingenieurs of industrieel ingenieurs, gebruiken wiskunde en wetenschappen in tal van technologische systemen. Wiskunde en wetenschappen worden, bijvoorbeeld, gebruikt bij het ontwerp van een brug, het bouwen van elektrische wagens en de sturing van een waterzuivering. Wiskunde is ook de taal voor het maken van modellen en het simuleren van grote en complexe systemen, zoals deze nodig voor het bestuderen van de opwarming van de aarde en de impact daarvan op mens, dier en plant.

Maar ook het omgekeerde geldt. Om fysische theorieën te toetsen worden de meest complexe systemen gebouwd. De Large Hadron Collider (LHC) van het CERN of de LIGO-observatoria om gravitatiegolven te detecteren zijn de meest extreme voorbeelden hiervan. De Belgische theoretische fysicus François Englert voorspelde het bestaan van het Higgs-boson wiskundig. Het zijn de experimentele fysici en de ingenieurs van het CERN die de handen in mekaar sloegen om het te vinden. Of die ontdekking door de wiskunde, fysica of engineering gedaan werd, is naast de kwestie. Het is een prachtig staaltje van interdisciplinaire samenwerking: STEM. We noemen dit geïntegreerde STEM of iSTEM. Zelfs voor het onderzoek in zuivere wiskunde worden nieuwe technologieën ontwikkeld. Om potentiële resultaten in getaltheorie op grote schaal uit te testen, worden hoe langer hoe meer nieuwe algoritmes in supercomputing ontwikkeld.

Nog een voorbeeld: het GPS-systeem. Er is geavanceerde wiskunde nodig om op basis van de reistijd van het signaal tussen verschillende satellieten en de GPS-ontvanger, de positie van deze ontvanger te berekenen. Zonder de relativiteitstheorie van Einstein is de positiebepaling bij lange niet nauwkeurig genoeg. Die relativiteitstheorie kan dan weer niet zonder de differentiaalmeetkunde van Gauss, Riemann en Poincaré. En die ontvangers en satellieten? Laat daar maar wat ingenieurs op los. Om een satelliet in de juiste baan te krijgen is dan weer heel wat fysica nodig. Het is dus een ongelooflijk kluwen van iSTEM om een GPS op punt te stellen.

De belangrijkste boodschap is: wiskunde is prachtig op zich, maar wiskunde is evenzeer technologisch en wetenschappelijk van essentieel belang. Wetenschappers willen de werkelijkheid begrijpen. Dat is op zichzelf een ongelooflijk boeiende uitdaging, maar al die wetenschappen worden ook ingezet in technologie, in de TE, of ingenieurswetenschappen, van STEM. Er is dus helemaal geen strijd tussen wiskunde, wetenschap of ingenieurswetenschappen. Het zijn drie pijlers van een driehoek, met voortdurende interacties. Geen van deze disciplines staat ten dienste van een andere. Er wordt samengewerkt.

Hoe kan het dan dat wiskunde en wetenschappen zo dikwijls als moeilijk en saai voorgesteld worden? Hoe komt het dat wiskunde al te vaak als selectiecriterium gebruikt wordt? En dat ingenieurswetenschappen afgeschilderd worden als iets voor nerds? Al deze STEM-disciplines verdienen toch beter? Spelen ze immers geen centrale rol in het oplossen van de grote uitdagingen

van morgen? De huidige maatschappij met al haar technologische systemen, algoritmes, wetenschappelijke inzichten, wiskundige modellen en de kunst van de wiskunde op zich, verdient toch beter?

De oorzaken hiervan zijn niet eenduidig te bepalen. Een wiskundig model voor dit fenomeen is er niet. Wat zeker een rol speelt, is de scheiding die vooral in de programma's van het secundair onderwijs ontstaan is tussen de disciplines. De essentiële rol van wiskunde in fysica komt zeer laat aan bod. Snelheden worden heel voorzichtig en pas naar het einde van het curriculum uitgedrukt aan de hand van afgeleiden. Engineering komt enkel in TSO aan bod en meestal weinig geïntegreerd met wiskunde en wetenschappen. Er wordt abstracte wiskunde onderwezen, hoewel ook daar de typische eigenheid van de wiskunde als wetenschappelijke discipline stilaan in de verdrinking geraakt is. Ons wiskundeonderwijs slaagt erin om een groep van sterke leerlingen uit te dagen. Dat is goed en moet behouden blijven. Sommige leerlingen zijn geboeid door wiskundige puzzels en raadsels. Ze zijn gefascineerd door priemgetallen. Voor deze leerlingen is abstracte wiskunde op zich boeiend. Andere leerlingen hebben tijd nodig om tot wiskundige abstractie te komen. Ze begrijpen niet waarom je zou willen nadenken over een begrip als een vector of een functioneel verband $y=f(x)$ wanneer x en y geen concrete betekenis hebben. Zonder dergelijke concrete houvast komen voor hen de rekenregels in analyse en algebra over als recepten en trucs.

In de lessen wetenschappen gebeuren gelijkaardige dingen. Sommige leerlingen zijn geboeid door de wetten van Newton en Kepler en hoe je hiermee de banen van planeten kunt bepalen. Zij willen de werkelijkheid begrijpen. Hoe ontstaat beweging? Waarom trekken magneten mekaar aan? Waarom weerspiegelt vensterglas maar gedeeltelijk en een spiegel helemaal? Die leerlingen voelen zich aangesproken door de vakken wetenschappen. Maar om hen in aanraking te brengen met de wereld en methodes van professionele wetenschappers zouden er verbanden met de wiskundeles gelegd moeten worden. Op die manier zullen deze leerlingen ook meer plezier in wiskunde krijgen. Wie weet ontdekken ze er dan zelfs de schoonheid van. Nog andere leerlingen worden niet wild van fysische wetten, maar als je met deze wetten een motor kan laten draaien, heb je hun aandacht. Zij willen iets 'maken'. Ze willen weten hoe de dingen werken, hoe je ze sneller, zuiniger of duurzamer maakt. Zij zouden aangesproken worden door een geïntegreerd vak, een vak STEM. Dat is een vak waar ze de wiskunde en wetenschappen die ze geleerd hebben, kunnen toepassen om te 'maken'. Langs die weg, zullen deze leerlingen de wetenschappen en de wiskunde ook beter begrijpen en meer waarderen.

Leerlingen in het secundair onderwijs hebben tijd nodig om te ontdekken welke invalshoek of welke combinatie van domeinen hen het meest bevalt. Dat kan alleen als ze met al deze disciplines in contact komen. En dan moeten we STEM tonen vanuit alle invalshoeken, niet enkel als wiskunde op zich, of als wetenschap op zich – waar nodig gebaseerd op wiskunde – maar ook vanuit een standpunt van

toepassingen. Die toepassingen mogen niet alleen dienen als voorbeelden in fysica of wiskunde, maar moeten ook laten zien hoe ingenieurs denken.

Dit is geen pleidooi om het gehele onderwijs rond STEM te bouwen. Dit is ook geen pleidooi voor wetenschappen of wiskunde. Dit is een pleidooi voor onderwijs waar alle mogelijke benaderingen aan bod komen: de STEM-componenten op zich met hun eigen identiteit en de onderlinge wisselwerking, samen met de integratie ervan, de iSTEM, met de 'i' van 'integrated'.

Gaat iSTEM dan altijd en noodzakelijk over technologische systemen? Vaak wel, maar niet exclusief. Hoewel elk onderwijsprogramma in iSTEM een belangrijke aandacht voor technologie moet hebben, kunnen daarnaast ook andere thema's aan bod komen. Sterrenkunde biedt prachtige gelegenheden om wiskunde en fysica te combineren, zonder sterke klemtoon op engineering. Er zijn eindeloze mogelijkheden om informatica en wiskunde te combineren en zo ook het computationeel en algoritmisch denken van de leerlingen aan te wakkeren. De fysische geografie zet fysica in om aardrijkskundige vraagstukken te begrijpen. Hoe verklaar je bijvoorbeeld klimaatverandering? Maar het kan ook biologie zijn. Hoe migreren diersoorten naar aanleiding van deze klimaatverandering? Al deze thema's vallen onder de noemer STEM. Natuurlijk heeft STEM ook technologische componenten. Het kan gaan over drones, maar even goed over apps op een smartphone, en dan is ook de informatica vlakbij. Het moet een 'en' verhaal worden, geen 'of' verhaal. De muren tussen S-TE-M laten we staan maar we moeten ze verlagen zodat je niet anders kan dan bij de burens kijken.

We pleiten ervoor om de volledige onderwijsprogramma's in S, TE, M en iSTEM te herbekijken. Dat moet gebeuren met respect voor de identiteit van de verschillende disciplines op zich, maar ook met aandacht voor de onderlinge samenhang tussen de disciplines. Geen enkele van deze aspecten verdient exclusiviteit of voorrang. Deze holistische benadering kan maar lukken als ze breed gedragen wordt en wetenschappelijk ondersteund. Bij het herdenken van de programma's moeten wiskundigen, fysici, chemici, ingenieurs, ... betrokken worden. Maar evengoed moet er betrokkenheid zijn vanuit de universitaire associaties, de onderwijsverstrekkers, de scholen zelf, de leraren, ... Algemene onderwijsspecialisten zijn welkom maar laat ons zeker niet de vakspecialisten en vakdidactici vergeten. Voor iedereen geldt dat er een bereidheid moet zijn om met stevige wortels in het eigen vakgebied toch out-of-the-box te denken. En laat tot slot een dergelijke herwerking van de onderwijsprogramma's een gelegenheid zijn om de leerplannen iets minder vol te proppen en dicht te timmeren, maar plaats te laten voor de creativiteit en eigen inbreng van de leraren.

Deze tekst werd alvast mee ondertekend door de volgende collega's (de lijst loopt door op de volgende pagina). We nodigen u of uw organisatie graag uit als mede-ondertekenaar.

Conny	Aerts	Dag	Boutsen	Stijn	Ceuppens
Jan	Beirlant	Nadine	Buys	Ronald	Cools
Alexander	Bertrand	Riet	Callens	Dimitri	Coppens

Christophe	Courtin	Arno	Kuijlaars	Filip	Tavernier
Mieke	De Cock	Greet	Langie	Maggy	Timmermans
Tinne	De Laet	Bert	Lauwers	Tinne	Tuytelaers
Haydee	De Loof	Peter	Lievens	Stefaan	Vaes
Jolien	De Meester	Els	Moyson	Walter	Van Assche
Joke	De Puysseleir	Stefaan	Poedts	Joeri	Van der Veken
Lieven	De Strycker	Riccardo	Raabe	Piet	Van Duppen
Geert	Deconinck	Patrick	Reynaert	Jos	Van Orshoven
Wim	Dehaene	Vincent	Rijmen	Peter	Van Puyvelde
Johan	Deprez	Phillippe	Saey	Thomas	Van Riet
Philip	Dutre	Giovanni	Samaey	Carolien	Van Soom
Leen	Goovaerts	Wim	Schoutens	Hans	Van Winckel
Gerard	Govers	Jan	Sermeus	Jos	Vander Sloten
Thomas	Hertog	Nathal	Severijns	Joos	Vandewalle
Dirk	Huylebrouck	Ilse	Smets	Ingrid	Verbauwhede
Paul	Igodt	Erik	Smolders	Marian	Verhelst
Ewald	Janssens	An	Speelman	Wim	Veys
Rony	Keppens	An	Steegen	Christoffel	Waelkens
Heidi	Knipprath	Michiel	Steyaert	Patrick Hermann	Wagner
Katrien	Kolenberg	Annemie	Struyf	Patrick	Wambacq