

Manifest Sprong STEM

Ronald Keijzer, Anika Embrechts, Anna Hotze, Vincent Jonker, Margien Bakker, Lonneke Boels, Symen van der Zee

Deze tekst is gebaseerd op het hoofdstuk 'Primary STEM education in the Netherlands' in Primary Science Learning for Children, Teachers and Communities. Stories of Practice and Possibility for Science Educators

Aanbevelingen



Samenvatting

Het Sprong STEM Manifest gaat in op drie uitdagingen die samenhangen met het specifieke karakter van het onderwijs in wetenschap, technologie, techniek en wiskunde (STEM) in het basisonderwijs. Het beschrijft de resultaten van het SPRONG STEM project. Het SPRONG STEM project was gericht op het versterken van de infrastructuur voor bèta/technisch onderwijs in Nederland door het ontwikkelen van professionele leernetwerken, waarin leraren en onderzoekers participeren. Voordat we ingaan op deze uitdagingen, schetsen we een overzicht waarin het belang van bèta/technisch onderwijs wordt aangegeven. Vanuit deze deels historische analyse richten we ons op de volgende uitdagingen: (1) het beoordelen van leerresultaten in bèta/technisch onderwijs (paragraaf 2), (2) de relatie tussen wiskunde en andere bèta/technische domeinen (paragraaf 3), en 3) datageletterdheid en maker education in bèta/technisch onderwijs (paragraaf 4). Met betrekking tot deze uitdagingen beschrijven we zowel theoretische als praktische vragen en eisen die naar voren kwamen uit professionele leernetwerken, inclusief de kritische rol van de inhoudelijke kennis van docenten. Voorbeelden uit de klas illustreren deze uitdagingen verder. Het Manifest wordt afgesloten met aanbevelingen voor verder onderzoek en curriculumontwikkeling in bèta/technisch onderwijs.

STEM Onderwijs

Het belang van STEM onderwijs

Het begrijpen van complexe hedendaagse problemen zoals klimaatverandering of migratie heeft te maken met alle vier de domeinen van wetenschap, technologie, techniek en wiskunde (STEM). Klimaatverandering wordt bijvoorbeeld verklaard met behulp van wetenschappen zoals scheikunde en natuurkunde, terwijl wiskunde helpt om de situatie te modelleren. Technologie en techniek zijn nodig om klimaatverandering tegen te gaan, bijvoorbeeld door het ontwerpen en produceren van auto's en vliegtuigen die op waterstof rijden. Bèta/technisch onderwijs wordt essentieel geacht voor het oplossen van deze uitdagingen en is daarom belangrijk voor de Nederlandse samenleving (Bom, et al., 2019; Gresnigt, 2018; Rohaan, 2009). Het toenemende tekort aan werknemers in de bèta/technische vakgebieden heeft een negatief effect op economieën. Daarnaast verandert de arbeidsmarkt snel door technologisering. Steeds meer banen vereisen wetenschappelijke, wiskundige en technologische competenties (Kirschner & Stoyanov, 2020; Hoogland, 2023; Gal, 2024a). Bovendien roept de snelle wetenschappelijke en technologische vooruitgang sociale en ethische vragen op. Inzicht in wiskunde, wetenschap en technologische ontwikkelingen, hun mogelijkheden, grenzen en de ethische en democratische dilemma's die ze met zich meebrengen is cruciaal voor elke burger in de huidige samenleving (Laugksch, 1999; Gravemeijer, et al., 2017; Guérin, 2018). Het basisonderwijs moet kinderen daarom al vroeg kennis laten maken met bèta/techniek, hun bèta/technische inhoudelijke kennis, vaardigheden en attitudes ontwikkelen en hen stimuleren om te blijven leren over bèta/techniek (Post, 2019).

Historisch perspectief

De afgelopen twee decennia is er in Nederland herhaaldelijk voor gepleit om meer aandacht te besteden aan bèta/techniek in het basisonderwijs. In het Nederlandse basisonderwijs worden de bèta/technische gebieden vaak aangeduid als Wetenschap en Techniek (W&T) onderwijs. Wiskunde heeft een eigen curriculum en leerdoelen. Hoewel er herhaaldelijk voor is gepleit om wiskunde en W&T met elkaar te verbinden, worden deze vakken in het basisonderwijs meestal apart gegeven. Tot voor kort legde het W&T-curriculum vooral de nadruk op biowetenschappen en natuurkunde. Technologie vormde slechts een klein deel van het curriculum. Door de toenemende aandacht voor technologie in de samenleving wordt technologie en techniek (T&E) echter explicieter opgenomen in wetenschap, wat resulteert in een evenwichtiger W&T(E) curriculum (Rohaan, 2009). Dit betekent ook meer aandacht voor techniek, aangezien technische kennis en vaardigheden een integraal onderdeel zijn van technologieonderwijs (Post, 2019).

Aanvankelijk richtte het W&T(E)-leerplan zich op het ontwikkelen van inhoudelijke kennis en vaardigheden. Een in 2005 gepubliceerd visierapport introduceerde een nieuwe dimensie: het stimuleren van de houding ten opzichte van W&T(E) door de onderzoekende geest van kinderen te stimuleren (Post, 2019). Kinderen met een positieve houding ten opzichte van W&T(E) zijn eerder geneigd een carrière in bèta/techniek na te streven (Bom, et al., 2019). Daarom is het belangrijk dat

leerkrachten de ontwikkeling van een positieve attitude stimuleren (Van Aalderen-Smeets & Walma van der Molen, 2013). Om deze houding ten opzichte van W&T te stimuleren, worden leraren aangemoedigd om hun wetenschapslessen te structureren volgens de onderzoekende leercyclus en hun technieklessen volgens de ontwerpende leercyclus, waardoor leerlingen gestimuleerd worden om te denken en te werken als wetenschappers en ingenieurs (Bom, et al., 2019; Rohaan, 2009).

Hoewel veel (aankomende) leraren zich inschreven voor W&T(E)-cursussen, bleef het aantal scholen dat ontwerpend en onderzoekend leren implementeerde beperkt. Volgens studies uit die tijd nam de aandacht voor W&T(E)-onderwijs zelfs af (Kneepkens, et al., 2011). Er werd een Adviescommissie Wetenschaps- en Technologieonderwijs opgericht om te adviseren over de integratie van W&T(E) in het curriculum van de basisschool. In het voorjaar van 2013 bracht de commissie haar aanbevelingen uit. Eén suggestie was om het Nationaal Instituut voor Leerplanontwikkeling in Nederland, SLO, het W&T(E)-leerplan en de voorbeeldleermiddelen voor het basisonderwijs te laten ontwikkelen. Daarnaast stelde de commissie voor om W&T(E) te integreren met andere vakken, met name wiskunde en taal (Post, 2019).

Een nationaal W&T(E) curriculum werd gepubliceerd in 2018 en gaat ervan uit dat W&T(E) een lens is waardoor de wereld kan worden bekeken en benaderd. Door vragen te stellen, problemen op te lossen en verbeelding te gebruiken, leren kinderen over de wereld, ontwikkelen ze hun onderzoeks- en technische vaardigheden en ontwikkelen ze hun wetenschappelijke houding. Ondanks dat het praktische inzichten biedt, schiet de implementatie van het W&T(E) curriculum in de praktijk tekort (Post, 2019). Een recente studie van Djoyoadhiningrat-Hol en Klein Tank (2023) geeft aan dat er minder tijd wordt uitgetrokken voor W&T(E). Hoewel de meeste scholen de ambitie hebben om het W&T(E) curriculum te implementeren en er structureel aan werken, is er geen verklaring voor deze bevinding.

STE en M verbinden

Although mathematics has its own developmental history, curriculum and attainment goals in Dutch education (Van den Heuvel-Panhuizen, 2020), schools as well as experts in the field of mathematics teaching express a desire to connect S&T(E) with mathematics (Van der Aalsvoort, et al., 2020). Some of the major reasons for this are the increasing role of mathematics in other fields and the approach to primary mathematics education in the Netherlands called Realistic Mathematics Education (RME). RME takes meaningful mathematical situations as a starting point and supports students in a process of mathematizing, allowing children to start learning from their intuitive mathematical notions and informal procedures. Under the careful guidance of a teacher, children rediscover and reconstruct mathematics (Oonk, et al., 2020). This socio-constructivist approach to mathematics learning lends itself to connecting with other subjects of the curriculum and curriculum integration. Thus, mathematics need not be taught only as a separate subject.

Sommige onderzoeks- en engineeringvaardigheden, zoals modelleren en representeren, maken deel uit van het W&T(E)-curriculum en komen ook overeen met aspecten van het wiskundecurriculum. Dit is echter niet genoeg voor leerkrachten om wiskunde te

integreren met andere ST(E)M-vakken. Experts zijn het erover eens dat leerkrachten in het basisonderwijs vakinhoudelijke kennis, pedagogische inhoudelijke kennis en self-efficacy missen om W&T(E) te onderwijzen en op betekenisvolle manieren te verbinden met wiskunde (Djoyoadhiningrat-Hol & Klein Tank, 2023; Hotze & Keijzer, 2017; Bakker, et al., 2023). Dit sluit aan bij verschillende nationale en internationale onderzoeken die aangeven dat een goede curriculumintegratie vergaande expertise van leerkrachten vereist (Gresnigt, 2018; Van der Aalsvoort, et al., 2020) en onderzoeken die wijzen op een algemeen gebrek aan kennis, vaardigheden en vertrouwen onder basisschoolleerkrachten van W&T(E) (Bom, et al., 2019; Davis, et al., 2006; Post, 2019).

Professionele leergemeenschappen

As science education is often seen as relatively new and innovative in Dutch schools, experienced teachers tend to rely on professional learning networks. Often these networks developed from a professionalization trajectory in science education, where teachers generally learned about specific characteristics of science education. Participants in the trajectory felt the need to implement a science curriculum in their schools and wanted to learn from each other. Examples of practice in this chapter come from such professional learning networks (PLNs). They consist of teachers, expert teachers in one of the STEM domains, researchers, and teacher educators. These networks, for example, support teachers to experience the complexity of inquiry- and design-based learning, and identify the gaps between such learning and the textbooks they use. A majority of school use textbooks for STEM, however these textbooks are focused on geography, history and science only (Djoyoadhiningrat-Hol & Klein Tank, 2023). Participants learn within their PLN, but also share findings with colleagues who do not participate in the PLN. This facilitates knowledge sharing between STEM experts and teachers, within and beyond the PLNs. For example, classroom observation instruments and tools for inquiry and design-based teaching skills are shared (Van Graft & Klein Tank, 2018).

Terugkerende en nieuwe uitdagingen

De korte geschiedenis van bèta/techniek in het Nederlandse basisonderwijs laat een aantal terugkerende uitdagingen zien. De eerste is ervoor zorgen dat leerkrachten voldoende kennis hebben van W&T(E) om kwalitatief goed onderwijs te kunnen geven. Zoals gezegd ontbreekt het leerkrachten in het basisonderwijs meestal aan kennis, vaardigheden en attitudes voor het geven van bèta/technisch onderwijs. Het tweede probleem betreft het verbinden van W&T(E) en wiskunde. Wiskunde wordt vaak los van W&T(E) onderwezen. Deskundigen geven zelfs aan dat de toegenomen aandacht voor wiskunde de afgelopen jaren de aandacht voor W&T(E) heeft verdrongen. Gezien de mogelijkheden om wiskunde met bèta/techniek te verbinden en zelfs te integreren, is dit een zeer onwenselijke situatie. De vraag is dan ook hoe wiskunde en W&T(E) in de onderwijspraktijk op zinvolle en haalbare manieren met elkaar verbonden kunnen worden. Deze kwesties blijven onopgelost en worden daarom hieronder ook beschreven als uitdagingen.

Een andere veeleisende actuele kwestie betreft de nieuwe leerdoelen. In 2022 gaf het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap het Instituut voor Leerplanontwikkeling (SLO) de opdracht om alle eindtermen voor het basisonderwijs en

de onderbouw van het voortgezet onderwijs te actualiseren. Het doel was om de doelen in lijn te brengen met maatschappelijke ontwikkelingen en om een meer samenhangend curriculum neer te zetten. Om het curriculum up-to-date te houden, werden nieuwe eindtermen geformuleerd voor twee nieuwe domeinen: digitale geletterdheid en burgerschapsvorming. De doelen in beide domeinen vertonen belangrijke overlappings met de geactualiseerde eindtermen voor wiskunde en W&T(E). Het is de bedoeling dat alle leerdoelen in 2024 zijn ontwikkeld, gevolgd door een periode van 12 tot 18 maanden waarin ze in de praktijk worden geïmplementeerd en op bruikbaarheid worden getest. De vraag waarmee bèta/technici nu worden geconfronteerd is: Hoe kunnen deze doelen zinvol worden verweven in het curriculum van W&T(E) en wiskunde?

Na de deels historische analyse in hoofdstuk 1, richten we ons in de volgende hoofdstukken op vier uitdagingen: (1) het beoordelen van leerresultaten, (2) de relatie tussen wiskunde en de andere bèta/technische domeinen, en (3) Maker literacy en data literacy in bèta/technisch onderwijs.

In het SPRONG-STEM project, gefinancierd door het Nationaal Coördinerend Instituut voor Onderwijsonderzoek (NRO), hebben we drie van deze uitdagingen aangepakt door het opzetten van lokale en nationale professionele leernetwerken (PLN's). Hieronder beschrijven we de theoretische overwegingen en praktische implicaties en problemen in klaslokalen die uit deze professionele leernetwerken naar voren zijn gekomen.

Leeruitkomsten beoordelen

De uitdaging van het beoordelen van STEM vaardigheden

In W&T(E)-onderwijs ontwikkelen studenten nieuwe kennis en vaardigheden (onderzoekend, ontwerpend en technisch) en werken ze tegelijkertijd aan attitudinale aspecten. Met de toegenomen implementatie van onderzoek en ontwerp in W&T(E) onderwijs, voelen leraren de noodzaak om ook deze aspecten van het leren te beoordelen. In een typische W&T-activiteit worden leerlingen gestimuleerd om hun nieuwsgierigheid te gebruiken en kritisch na te denken. Ze verwerven nieuwe inzichten door onderzoek of door te werken aan een ontwerpproject, leren vragen te stellen, een onderzoeksplan te maken, bewijzen te verzamelen, resultaten te vergelijken en conclusies te trekken. De rol van deze procesvaardigheden bij het ontwikkelen van een grondig begrip van verschijnselen is cruciaal (Harlen, 1999). Het is daarom essentieel om naast de verworven inhoudelijke kennis ook deze natuurwetenschappelijke en technische procesvaardigheden te beoordelen. In Nederland zijn scholen en leraren verplicht om aan nationale kernleerdoelen te werken. Een kernleerdoel voor W&T is bijvoorbeeld: 'leerlingen leren onderzoek te doen naar materialen en natuurkundige verschijnselen, zoals licht, geluid, elektriciteit, kracht, magnetisme en temperatuur' (SLO, 2006).

Het nationale instituut voor leerplanontwikkeling in Nederland werkt deze belangrijkste leerdoelen voor verschillende niveaus in het basisonderwijs verder uit met betrekking tot zowel kennis als vaardigheden. Leraren beoordelen de leerresultaten van leerlingen met betrekking tot inhoudelijke kennis vaak door middel van een toets of quiz aan het einde van elk thema in de meeste Nederlandse schoolboeken. Beoordelingen voor natuurwetenschappelijk onderzoek en ontwerpvaardigheden zijn echter over het

algemeen niet opgenomen in deze leerboeken. Een mogelijke reden hiervoor is de complexiteit van vaardigheden die een rol spelen bij het leren ontwerpen en onderzoeken (Tabel 1). De vaardigheden die een rol spelen bij ontwerpen zijn breed (Crismond & Adams, 2012). Deze vaardigheden zijn daarom moeilijk te beoordelen. Hetzelfde geldt voor onderzoeksvaardigheden. Pedastre et al. (2015) ontwikkelden een verbeterd raamwerk dat alle aspecten van onderzoekend onderwijzen en leren laat zien.

Tabel 1. Vaardigheden w.b. onderzoek en ontwerp in basisonderwijs

Onderzoeksvaardigheden	Ontwerpvaardigheden
Onderzoeksvragen identificeren	Probleemverkenning
Onderzoeken opzetten	Ideeën genereren, ontwerpeisen formuleren
Verkrijgen van bewijs	Een werkend prototype maken
Interpreteren van bewijs met betrekking tot de onderzoeksvraag	Testen en optimaliseren
Communiceren van de resultaten van het onderzoeksproces	presenteren

De complexiteit van onderzoekend en ontwerpend leren betekent dat leerkrachten over het algemeen moeite hebben met het beoordelen van leerresultaten met betrekking tot deze vaardigheden. Bovendien kunnen deze vaardigheden niet geïsoleerd worden van de inhoud of het onderwerp van wetenschap en techniek. In de volgende paragraaf presenteren we voorbeelden van leerkrachten uit het basisonderwijs die in PLN's werken om het wetenschapsonderwijs en de beoordeling van leerresultaten te verbeteren. In één PLN van twee leerkrachten, een schoolbeleidsadviseur en een onderzoeker is een beoordelingsinstrument voor onderzoekend en ontwerpend leren ontwikkeld. Een vraag die in het PLN werd besproken was of kinderen beoordeeld moesten worden tijdens het proces van onderzoek of ontwerp, of aan het eind, op basis van hun eindwerk of presentatie. Een andere vraag was hoe je alle verschillende aspecten van onderzoek of ontwerp kunt opnemen, maar het niet te ingewikkeld kunt maken om het beoordelingsinstrument in te vullen. Daarom werd in een tweede PLN een instrument ontwikkeld om de kwaliteit van de W&T-activiteiten van leerkrachten te analyseren, waarbij de nadruk lag op verschillende aspecten van W&T.

Voorbeelden wat betreft beoordeling in de klas

In W&T(E)-onderwijs gebruiken docenten vaak tekstboeken. Ze bespreken het gebruik van tekstboeken in de PLN's. Docenten worden aangemoedigd om activiteiten in de tekstboeken aan te passen en zo nieuwe manieren te verkennen om leerresultaten zichtbaar te maken. Ze geven ook aan behoefte te hebben aan hulpmiddelen om de kwaliteit van W&T-activiteiten te analyseren en te verbeteren. Figuur 1 toont een voorbeeld van een observatielijst voor het analyseren van de kwaliteit van W&T-activiteiten uitgevoerd door leerkrachten in het kleuteronderwijs.

STEM observatie-instrument

1. Is de activiteit ingebed in een bredere context?
2. Worden de nieuwsgierigheid en het onderzoek van de leerling ondersteund?
3. Wordt inhoud uit andere domeinen, zoals aardrijkskunde of geschiedenis, bij de activiteit betrokken?
4. Ontwikkelen leerlingen W&T-redeneervaardigheden?
5. Zijn er generieke vaardigheden bij betrokken, zoals taal of wiskunde?
6. Extra: gebruiken leerlingen echte materialen?

Figuur 1. Instrument ontwikkeld binnen een PLN waarmee in de onderbouw naar STEM activiteiten gekeken kan worden

Zo bevat een W&T(E)-leerboek dat wordt gebruikt op een school in het noorden van Nederland toetsen aan het einde van elk thema om de inhoudelijke W&T(E)-kennis van leerlingen te beoordelen. Dit leerboek bevat echter geen hulpmiddelen om de W&T(E)-vaardigheden van leerlingen te beoordelen. Daarom heeft een PLN bestaande uit docenten en onderzoekers samengewerkt om een hulpmiddel te ontwikkelen voor het beoordelen van leerresultaten. Ze baseerden hun tool (Figuur 1) op de leertrajecten van onderzoekend en ontwerpend leren in het basisonderwijs, ontwikkeld door het Nationaal Instituut voor Leerplanontwikkeling in Nederland (SLO) (Van Graft & Klein Tank, 2018). Leraren in het PLN gaven aan dat de tool zowel leraren als leerlingen in staat moest stellen om leerresultaten te beoordelen. Ze operationaliseerden leerresultaten van het gebruik van stappen van onderzoekend en ontwerpend leren in meer praktische en herkenbare doelen voor leerlingen. Tijdens het proces waren de leerkrachten het erover eens dat het hulpmiddel een scoreblad moest zijn, dat gemakkelijk gebruikt kon worden door zowel leerkrachten als leerlingen. Dit resulteerde in een scoreblad dat gebaseerd is op de sheets die Van Keulen et al. (n.d.) ontwikkelden voor onderzoek, maar aangepast voor gebruik in het onderwijs. De categorieën in het blad waren: het probleem herkennen, een oplossing ontwikkelen, het ontwerp testen en verbeteren, en het ontwerp presenteren.

In het andere PLN werkten vijf leerkrachten, twee nationale leerplanadviseurs, een adviseur schoolbeleid en een onderzoeker aan inhoudelijke kennis en vaardigheden op het gebied van W&T met betrekking tot de kwaliteit van W&T-activiteiten. Een specifiek aandachtsgebied was bijvoorbeeld W&T in onderwijs voor jonge kinderen. Vragen die in dit PLN werden besproken, waren hoe leerkrachten kunnen worden ondersteund om hun curriculumbewustzijn te vergroten en onbewuste ingebedde bèta/technische vaardigheden in de huidige activiteiten in de klas zichtbaar te maken. In deze PLN is een instrument ontwikkeld om de kwaliteit van de W&T-activiteiten van leerkrachten te analyseren.

Reflectie

Veel leerkrachten ervaren nog steeds uitdagingen bij het lesgeven in W&T(E). Leerkrachten die deelnamen aan PLN's en expertisegroepen voor W&T(E) vonden echter een manier om deze kenniskloof te verkleinen door middel van gezamenlijke praktijkgerichte onderzoeksprojecten. Een gemeenschappelijk thema in deze PLN's is het verbeteren van het wetenschapsonderwijs door het beter observeren en beoordelen van de kennis en vaardigheden van leerlingen voor, tijdens en na W&T-activiteiten. Dit resulteerde in de ontwikkeling van verschillende observatiesheets en scoringsmethoden door leerkrachten.

Uitdaging om STE en M te verbinden

Waar gaat het om?

De vier bèta/technische perspectieven zijn tegelijkertijd nodig om veel actuele gebeurtenissen te begrijpen. De onderwijspraktijk in het basisonderwijs waarin de vier disciplines worden geïntegreerd, is echter zeldzaam. Onze ervaring als experts op het gebied van wiskunde en W&T(E) is dat in de meeste curricula van basisscholen geïntegreerde bèta/technische activiteiten ofwel een W&T(E)-focus ofwel een wiskundefocus hebben. In het wiskundeonderwijs ligt de nadruk bijvoorbeeld op wiskundige procedures en is de geboden wetenschappelijke context vaak irrelevant. In het W&T(E)-onderwijs daarentegen is de ingebedde wiskunde meestal slechts een hulpmiddel dat (instrumentele) procedures biedt om met getallen te werken. Om dit probleem van beperkte focus bij het integreren van bèta/technische domeinen op te lossen, beschrijven Lonning en DeFranco (2010) een continuüm van 'onafhankelijke wiskunde - wiskundefocus - gebalanceerde wiskunde en wetenschap - wetenschapfocus - onafhankelijke wetenschap'. Dit continuüm ondersteunt echter niet het gelijktijdig leren in alle vier de domeinen. Een van de redenen dat integratie van deze domeinen problematisch is, is dat de domeinen verschillend gestructureerd zijn (Hotze & Keijzer, 2017). Bij wiskunde staan activiteiten als symboliseren, modelleren, formaliseren, problemen oplossen, patroonherkenning en generaliseren centraal. Aan de andere kant richt wetenschap zich op het verklaren van verschijnselen in de natuur, waarbij instrumenten en technologie worden gebruikt om dit te doen. Als gevolg hiervan zet het wiskundeonderwijs de toon voor het mathematiseren van de wereld, terwijl de focus van het W&T-onderwijs ligt op onderzoeksactiviteiten, ontwerpen en verklaren.

Verschillende onderwijsontwerpers geven voorbeelden waarbij integratie van de bèta/technische domeinen succesvol was in de zin dat er evenveel aandacht was voor twee of meer bèta/technische domeinen. Deze onderzoekers lieten bijvoorbeeld zien dat modelleren met data, probleemoplossen en data-analyse generatieve contexten waren om wetenschap en wiskunde te integreren in het basisonderwijs (Mulligan & English, 2014; English, 2015). Probleem oplossen, werken met data en modelleren komen ook voor in de meeste raamwerken voor zogenaamde 21e eeuwse vaardigheden (Voogt, et al., 2012). Bovendien typeert omgaan met data en modelleren ook de wiskunde die nodig is voor de toekomst (Gravemeijer, et al., 2017; Gal, 2024b). Deze aandachtspunten zijn ook opgenomen in het concept van de Nederlandse landelijke standaarden voor wiskunde in het basisonderwijs (Prenger, et al., 2023).

De ervaringen van de PLN's laten echter zien dat het integreren van de bèta/technische domeinen in het onderwijs hoge eisen stelt aan de domeinspecifieke inhoudelijke kennis en pedagogische inhoudelijke kennis van leraren (Maass, et al., 2019).

Voorbeeld: graan verbouwen voor brood

In een PLN in de regio Amsterdam ontwikkelden twee leerkrachten en twee onderzoekers een activiteit waarbij wetenschap en wiskunde geïntegreerd worden voor groep 4 (een leeftijdsgroep van ongeveer 10 jaar). De twee docenten waren specialisten met een achtergrond in techniek en biologie. Tijdens het verkennen van mogelijke activiteiten in het PLN, richtten de leraren en opvoeders in het PLN zich eerst op

wiskundig denken en mathematiseren. Ze namen het perspectief van een specifiek domein en veranderden vervolgens dit perspectief - bijvoorbeeld van wiskunde naar wetenschap - als een manier om beide domeinen in de activiteit te integreren. Een voorbeeld van deze verandering in perspectief is het verkennen van een fiets vanuit een technologisch oogpunt. Dit kan zich richten op de ketting en hoe deze het fietsen zelf mogelijk maakt. Vervolgens kan een wiskundig perspectief leiden tot het schematiseren van de verhouding tussen de bladen waar de ketting langs loopt. Terwijl ze dit idee van perspectiefwisseling deelden en bespraken met de twee leerkrachten in het PLN, ontwierpen de leerkrachten een leeromgeving voor leerkrachten, waarin ze leerden om perspectieven te wisselen van het ene domein naar het andere, en een activiteit voor basisschoolleerlingen waarin beide domeinen werden geïntegreerd.

De activiteit voor de leerlingen was gericht op domeinspecifiek denken en het veranderen van perspectief van het ene domein naar het andere. Na het bespreken van dit idee ontwikkelde een van de leerkrachten in het PLN de activiteit 'De reis van graan naar brood' (Bakker, et al., 2023). Brood is voor veel kinderen in Nederland een belangrijk onderdeel van de dagelijkse voeding. De ontwikkeling van graan tot brood biedt voldoende mogelijkheden voor leerlingen om de situatie te verkennen, zoals van zaaien tot malen en brood bakken. Bovendien vereist dit traject van graan tot brood zowel wiskundig denken, zoals het schatten van het aantal graankorrels dat nodig is voor één brood, als inzichten uit de biologie, zoals hoe de graankorrel groeit.

Wanneer de leerkracht de context van graan en brood introduceert, begint ze met het stellen van een open vraag: Hoe kom je van graan tot brood? In hun antwoorden laten de leerlingen zien wat ze weten over zaaien, oogsten en malen. Na het verkennen van de situatie introduceert de leerkracht een meer gericht probleem: 'Stel dat we de schooltuin gebruiken om tarwe te verbouwen voor brood, hoeveel broden kunnen we dan maken?' De leerlingen worden uitgenodigd om hun schattingen te delen: vijftien, drie, minder dan één. De leerkracht antwoordt: "En hoe kunnen we dit berekenen? De kinderen komen met verschillende benaderingen om het probleem op te lossen, te beginnen met hoeveel graan een brood nodig heeft of te beginnen met hoeveel graan het mogelijk is om in de schooltuin te verbouwen. Aangezien de meeste leerlingen de voorkeur geven aan de laatste optie, laat de leerkracht een kaart van de schooltuin zien en verkent samen met de leerlingen het gebied van de tuin. Wanneer dit geregeld is, formuleren de leerlingen aanvullende subproblemen om het oorspronkelijke probleem op te lossen. In het proces veranderen ze van perspectief van biologie, namelijk hoe graan groeit, naar wiskunde, het aantal stengels per plant (Figuur 2).

The image shows two pieces of handwritten student work. The left piece contains the following calculations:

$$\begin{array}{r} 15 \\ 12 \\ \hline 27 \end{array} + \begin{array}{r} 8 \\ 17 \\ \hline 25 \end{array} = 44$$

$$44 : 4 = 11$$

The right piece contains the following calculations:

$$\begin{array}{r} 15 \\ 12 \\ \hline 27 \end{array} \quad \begin{array}{r} 8 \\ 17 \\ \hline 25 \end{array} \quad \begin{array}{r} 27 \\ 17 \\ \hline 44 \end{array} \quad 44 : 4 = 11$$

Figuur 2: Aantal stelen per plant (leerlingwerk)

De leerlingen onderzoeken de vermenigvuldigingsstructuur van het probleem en rekenen, waarbij ze van het aantal stengels per plant naar het aantal korrels per stengel gaan. Ze doen dit door te tellen en het resultaat te schematiseren om de getallen te helpen optellen. Vermenigvuldigen komt hier naar voren als herhaald optellen.

Als er echt graan beschikbaar is tijdens de activiteit, kunnen de leerlingen het graan als een substantie onderzoeken door het te voelen, te proeven en te malen. Ze delen ook hun observaties over de geur, de smaak en de sterkte van het graan. Uiteindelijk wordt het gemalen graan, in de vorm van meel, gewogen. Wanneer de leerlingen uiteindelijk hun wiskundige bevindingen combineren, concluderen ze dat er in totaal 338.800 gram meel kan worden geproduceerd in de schooltuin. Een brood bevat tussen de 200 en 500 gram bloem, dus de leerkracht stelt voor om uit te gaan van 338,8 gram per brood. Samen concluderen ze dat er 1000 broden kunnen worden geproduceerd in de schooltuin. Omdat dit duidelijk een onrealistisch groot getal is, voegt de leerkracht eraan toe: we hebben waarschijnlijk ergens een rekenfout gemaakt. Deze opmerking van de leerkracht betekende het einde van de activiteit.

Reflectie

De activiteit 'graan en brood' is een voorbeeld van hoe wiskunde en wetenschap geïntegreerd kunnen worden in het onderwijs. De context biedt mogelijkheden om biologische aspecten van graanteelt te verkennen en stimuleert wiskundig modelleren en schematiseren. Hierdoor leren leerlingen hoe graan wordt gebruikt om brood te maken. De context van het verbouwen van graan in de schooltuin helpt hen ook om de situatie te rekenen als vermenigvuldiging (of herhaald optellen).

De leerkracht - die ook de activiteit ontwierp - zag hoe de context leerlingen in staat stelde om zich bezig te houden met twee bèta/technische domeinen: wetenschap (biologie) en wiskunde. Om het rekenproces van de leerlingen te ondersteunen, hielp ze de leerlingen de vermenigvuldigingsstructuur in de situatie te vinden. Ze vertaalde dit echter naar het berekenen van het antwoord, waarbij het berekende getal uiteindelijk fout bleek te zijn. In feite zorgde de focus op het berekenen ervoor dat de aandacht van de leerlingen werd afgeleid van het wiskundige proces en van de vraag of het antwoord wel juist zou kunnen zijn. Deze processen zijn beide essentieel voor de integratie van wiskunde met bèta/techniek en worden hier enigszins verwaarloosd. Focus op ronde getallen of het gebruik van een rekenmachine zou de leerling gefocust kunnen houden op het rekenen. In het algemeen bevestigen onze ervaringen hier de behoefte aan domeinspecifieke inhoudelijke kennis van leerkrachten en overeenkomstige pedagogische inhoudelijke kennis. Bovendien moeten leerkrachten in staat zijn om deze domeinspecifieke vereisten te scaffelen en tijdens de activiteit van perspectief te wisselen tussen domeinen.

Uitdagingen w.b. maker- en data-literacy

Introductie

De voortdurende ontwikkeling van nieuwe digitale artefacten beïnvloedt onderwijs, werk en vrije tijd. Het snelle tempo van de ontwikkelingen stelt ons voor uitdagingen om het onderwijs zorgvuldig te heroverwegen en voor te bereiden op deze veranderende technologische context. In dit hoofdstuk beschrijven we twee gebieden waar gereedschappen en technologieën worden gebruikt en bijbehorende vaardigheden nodig zijn. Nieuwe onderwijsstandaarden in Nederland vereisen dat studenten en docenten nieuwe 'literacies' ontwikkelen op deze gebieden (Kampman, et al., 2024). Hierbij hebben studenten en docenten ondersteuning nodig van goed ontworpen curricula en leerboeken. We doen hier verslag van twee gebieden waar twee verschillende PLN's zich op richtten:

- Maker literacy, waarbij de focus ligt op het werken met de combinatie van handen, hoofd en hart, met behulp van zowel eenvoudige technologieën zoals hamer en spijker als ook high-tech tools zoals 3D-printen en het werken met programmeertalen zoals Scratch.
- Datageletterdheid, waarbij het bijvoorbeeld gaat om kunstmatige intelligentie, waakzaam zijn voor nepnieuws en computational thinking,

Maker literacy

In het basisonderwijs wordt het spelen met en manipuleren van concrete materialen snel vervangen door louter cognitieve taken. Wanneer kinderen ouder worden, wordt handwerk minder gewaardeerd door schrijvers van leerboeken en leerkrachten. Hoewel manipulatiemiddelen belangrijke hulpmiddelen zijn bij het leren, wordt deze manier van leren steeds meer verwaarloosd in het basisonderwijs. De overmatige nadruk op cognitie biedt geen goede balans voor kinderen om alle bèta/technische vaardigheden te ontwikkelen. De 'Maker Movement' of 'Maker Culture' benadrukt het gebruik van de handen en creatie: leren door te doen. Deze benadering wordt ondersteund door een verscheidenheid aan hulpmiddelen (Martin, 2015; Libow Martinez & Stager, 2014; Pijls, et al., 2022).

Het PLN dat zich met dit onderwerp bezighield, werkte met verschillende voorbeelden uit de klas:

- Hoe bouw je een schaalmodel van een huis, waarbij je het handwerk verbindt met de wiskundige activiteit om de juiste verhoudingen te krijgen.
- Hoe ontwerp je een fantasieauto waarbij de eisen zijn: De auto moet snel zijn, er moeten vier mensen in passen en het ontwerp moet een vernieuwend uiterlijk hebben. Deze opdracht is uitgevoerd met de leeftijdsgroep 11-12 jaar.
- Hoe gebruik je een 3D-printer met kinderen van 11-12 jaar? Deze opdracht werd getest op een van de PLN-scholen. De leerkracht bood ondersteuning om het gebruik van deze technologie in haar lessen mogelijk te maken. De PLN-discussie maakte echter duidelijk dat dit een uitzondering was. Voor dit PLN waren de deelnemers van het PLN van plan om een samenwerking op te zetten tussen de basisschool en een school voor beroepsonderwijs in de buurt.

Data literacy

Digitale technologie en het internet hebben ervoor gezorgd dat het verzamelen en delen van gegevens alomtegenwoordig is, en data-analyse en big data zijn veel voorkomende ingrediënten in het nieuws, het bedrijfsleven, de overheid en andere maatschappelijke sectoren. Datageletterdheid en inzicht in de digitale technologie om ons heen worden dus steeds belangrijker (ACME, 2023). Datageletterdheid is vooral een urgente kwestie wanneer gegevens en feiten routinematig worden gepubliceerd zonder controle of naleving van normen. Gebruikers van nieuwe technologieën vinden het vaak moeilijk om te begrijpen hoe de technologie is gebruikt, volgens welke regels, en welke gegevens eraan ten grondslag liggen.

Tegen deze achtergrond zijn in Nederland onlangs nieuwe nationale kernleerdoelen voor digitale/datageletterdheid ontwikkeld (Kampman, et al., 2024). In lijn met deze ontwikkeling ontwikkelde een PLN bestaande uit basisschoolleerkrachten, lerarenopleiders en anderen verschillende klassikale taken en activiteiten om datageletterdheid te ondersteunen:

- Makey Makey is een eenvoudig te gebruiken programmeeromgeving (Opmerking: Zie <https://makeymakey.com/>). In een van de activiteiten gebruikten leerlingen van 8-10 jaar Makey Makey om een prototype van programmacode te ontwerpen. Leerlingen worden vervolgens aangemoedigd om na te denken over hun werk en de 'computationele' activiteit om iets te laten 'werken' kritisch te analyseren.
- Het gebruik van de Scratch programmeeromgeving voor leerlingen tussen 10-15 jaar leidde tot een discussie in het PLN over de tijd die nodig is voor computational thinking activiteiten, zoals coderen en programmeren. Leerkrachten bespraken ook verschillende hulpmiddelen die ze gebruikten. Deze discussie ging over de vraag of het onderwijzen en leren van datageletterdheid apart moet worden gehouden of moet worden opgenomen in andere schooldisciplines zoals wiskunde of taal (Opmerking: Voor achtergrondinformatie zie scratchjr.org en scratch.mit.edu).

Twee andere gespreksonderwerpen waren typisch in de PLN's: namelijk 'kritisch denken' en het gebruik van kunstmatige intelligentie (AI). Kritisch denken is nodig voor het interpreteren van nieuws en sociale media. Docenten in het PLN gingen dieper in op manieren om leerlingen te ondersteunen bij het productief deelnemen aan discussies over sociale media. AI werd in een van de PLN's besproken in relatie tot technologielessen, als onderdeel van tools zoals Adobe Photoshop en Illustrator.

Discussie en conclusie

Pedagogie en vakdidactiek voor STEM

Shulman definieerde Pedagogical Content Knowledge (PCK) bijna veertig jaar geleden en zijn onderzoek (Shulman, 1986) helpt nog steeds bij het begrijpen van domeinspecifieke pedagogie. In PCK vallen inhoudelijke kennis en pedagogische kennis samen. PCK vertegenwoordigt de vermenging van inhoud en pedagogie tot een begrip van hoe bepaalde aspecten van de leerstof worden georganiseerd, aangepast en weergegeven voor het onderwijs. Dit geldt vooral voor bèta/technisch onderwijs (STEM-PCK) waar leerkrachten zowel sterke pedagogische als inhoudelijke kennis en

vaardigheden nodig hebben om effectief te zijn. Onderzoekers hebben dit herhaald voor zowel wetenschap als wiskunde (Loughran, 2004; Grgurina, et al., 2014; Gresnigt, et al., 2014).

STEM-vakdidactiek ontwikkelen

Al het in dit hoofdstuk beschreven werk van PLN's richtte zich op de verbinding tussen pedagogie en inhoudelijke kennis voor de bèta/technische vakken. Onze ervaring is dat het werken in PLN's heeft geleid tot groei van de vaardigheden en ervaring van docenten. Docenten in de PLN's zijn echter niet representatief voor alle docenten. De PLN-docenten waren meer geïnteresseerd in bèta/technische vakken en hun inhoudelijke kennis overtrof die van veel andere docenten.

We hebben geconstateerd dat PLN's een innovatieve rol kunnen spelen binnen en tussen instellingen. Ze helpen bij het versterken van bèta/technische activiteiten op scholen, bouwen praktijkvoorbeelden op die vervolgens door anderen kunnen worden gebruikt en ondersteunen zo het netwerk van scholen en lerarenopleidingen. Dit houdt verband met een ander leerpunt dat betrekking heeft op het ondersteunen van de ontwikkeling van de inhoudelijke kennis en de bèta/technische vaardigheden en attitudes van leerkrachten: de curricula van de lerarenopleiding moeten een stevige basis van bèta/technische domeinen bevatten.

Daarnaast is voldoende aandacht voor bèta/techniek-PCK kansrijker als er binnen de school iemand verantwoordelijk is voor de ondersteuning van bèta/techniek. Dit idee is niet nieuw. De 'ICT-coördinator' en 'wiskundecoördinator' zijn ruim 25 jaar geleden geïntroduceerd in het Nederlandse basisonderwijs. Deze professionals richten zich echter op slechts één bèta/technisch domein. Het zou nuttig zijn om bèta/techniekbrede professionele ondersteuning in de scholen te organiseren.

Aanbevelingen

In dit artikel zijn de bevindingen van het Nederlandse project Sprong STEM (2021-2024) uitgewerkt. We bespraken voorbeelden van hoe PLN's in verschillende regio's de ontwikkeling van bèta/techniek in het basisonderwijs hebben gefaciliteerd. We hebben bèta/technisch onderwijs beschreven in zijn maatschappelijke context en specifieke kwesties zoals afstemming, integratie, beoordeling, lerarenopleiding en onderzoekend leren. We hebben laten zien hoe de PLN's de regionale en landelijke ontwikkeling van bèta/technisch onderwijs hebben gekatalyseerd. Op basis van deze ervaringen doen we drie algemene aanbevelingen voor de ontwikkeling van bèta/techniek in het basisonderwijs.

Aanbeveling 1

Ontwerp een samenhangende basis voor bèta/technische pedagogische inhoudskennis (PCK) voor alle betrokken docenten

Het ontwikkelen van de inhoudelijke kennis van leerkrachten en hun pedagogische inhoudskennis kan leerkrachten helpen bij het realiseren van kwalitatief hoogwaardige activiteiten op het gebied van wetenschap (STE) en wiskunde (M) in hun lessen. Dit geldt zowel voor afzonderlijke bèta/technische domeinen als voor bèta/techniek als een samenhangend geheel. Wij vonden dat PLN's waarin docenten, onderzoekers en opleiders samenwerken aan thema's vanuit een bèta/technisch perspectief een veelbelovend middel zijn om dit te bereiken.

Aanbeveling 2

Betrek meerdere instellingen en achtergronden bij PLN's

Aangezien PLN's een manier kunnen zijn om bèta/technisch onderwijs te verbeteren, is het zorgvuldig samenstellen van PLN's cruciaal. Een verscheidenheid aan professionele achtergronden in een PLN is essentieel. Wij vonden dat om bèta/technisch onderwijs te ondersteunen, het PLN leraren, opvoeders, onderzoekers en curriculumontwikkelaars moet bevatten. Bovendien is succesvol leren en ontwikkelen in een PLN afhankelijk van een bredere regionale aanpak, waarbij PLN's een weerspiegeling zijn van samenwerking tussen schoolbesturen en instellingen voor hoger onderwijs.

Aanbeveling 3

Maak 'bèta/technische verbindingen' in nationale normen en in curricula in het basisonderwijs en de lerarenopleiding

De ontwikkeling van bèta/technisch onderwijs komt voort uit lokale initiatieven, waarbij PLN's kant-en-klare materialen en ideeën voor de praktijk leveren. Maar er is meer nodig. Bèta/technisch onderwijs moet op regionaal en nationaal niveau worden geborgd. Lerarenopleidingen moeten bèta/techniek expliciet verankeren in het curriculum. Lerarenopleidingen kunnen zo een voorbeeld zijn voor het basisonderwijs. Bovendien zijn zowel het basisonderwijs als de lerarenopleidingen erbij gebaat als de bèta/technische domeinen en de onderlinge verbondenheid van bèta/techniek worden verankerd in landelijke standaarden.

Slotopmerkingen

We zijn dit hoofdstuk begonnen met het benoemen van drie uitdagingen in het bèta/technisch onderwijs op Nederlandse basisscholen. We richtten ons op toetsing en lieten zien dat de aard van de bèta/technische domeinen vraagt om een herbezinning op algemene ideeën over toetsing. Aan de hand van een activiteit in het basisonderwijs hebben we de M (voor wiskunde) in bèta/techniek uitgewerkt. We ontdekten dat de integratie van wiskunde en natuurwetenschappen wordt belemmerd door een loutere focus op wiskundige procedures. Deze bevindingen hebben betrekking op de derde uitdaging, namelijk de PCK (pedagogical content knowledge) van leerkrachten. We zagen dat de inhoudelijke kennis van leerkrachten cruciaal is voor bèta/techniek in het basisonderwijs, omdat die essentieel is voor de ontwikkeling van PCK.

Deze uitdagingen vinden hun oorsprong in recente ontwikkelingen in bèta/technisch onderwijs. PLN's, bestaande uit leerkrachten, docenten en onderzoekers, namen brede en erkende vraagstukken in bèta/technisch onderwijs als uitgangspunt om samen te leren. Dit coöperatief leren vormde vervolgens de basis voor de aanbevelingen die we hier doen. Wij stellen ons op het standpunt dat het ontwikkelen van bèta/technisch onderwijs in het basisonderwijs een permanente dialoog vereist tussen mensen uit het werkveld van het basisonderwijs en onderzoekers. Daarbij beschouwen wij, onderzoekers uit het veld, leerkrachten als medeonderzoekers en streven we naar een coöperatieve ontwikkeling van bèta/techniek in het Nederlandse basisonderwijs.

Acknowledgements

We bedanken Elwin Savelsbergh voor zijn nuttige commentaar op een eerste concept van dit artikel. We bedanken Madhuvanti Anantharajan voor haar waardevolle tekstsuggesties. Verder bedanken we alle leerkrachten en scholen die betrokken waren bij dit project. In het bijzonder bedanken we Kim Baan, Mohamed Bakouri, Marit Benes, Marijke de Bruin, Geertje Damstra, Wendel Dulack, Petra Farber, Saskia de Jong, Linda Kaspers, Martin Klein Tank, Marit Kruiskamp, Gäby van der Linde Meijerink, Manon Nieuwenkamp, Corine Noordink, Jessica Okkerman, Esther Okoh-Van der Woude en Miranda Wedekind.

Verwijzingen

- ACME. (2023). *A new approach to mathematics and data education. A discussion paper*. The Royal Society's Advisory Committee on Mathematics Education.
- Bakker, M., Keijzer, R., & Hotze, A. (2023). Brood geeft aanleiding tot... [Bread leads to ...]. *Terugkoppeling*, 32(4), 19-23.
- Bom, P. L., Koopman, M., & Bijwaard, D. (2019). Student Teachers' Use of Data Feedback for Improving their Teaching Skills in Science and Technology in Primary Education. *European Journal of STEM Education*, 4(1), 09. <https://doi.org/10.20897/ejsteme/6285>
- Crismond, D. P., & Adams, R. S. (2012). The informed design teaching and learning matrix. (4), 738-797.
- Davis, E. A., Petish, D., & Smithey, J. (2006). Challenges new science teachers face. *Review of Educational Research*, 76(4), 607-651.
- Djoyoadhiningrat-Hol, K., & Klein Tank, M. (2023). *Trendanalyse Wetenschap & Technologie. Ontwikkelingen en uitdagingen bij Wetenschap & Technologie in het basisonderwijs* [Trend analysis Science & Technology. Developments and challenges in Science & Technology in primary education]. SLO.
- English, L. (2015). STEM: Challenges and opportunities for mathematics education. In T. Muir, J. Wells, & K. Beswick (Eds.), *Proceedings of the 39th Meeting of the International Group for the Psychology of Mathematics Education, PME 39* (Vol. 1, pp. 4-18). IGPME - The International Group for the Psychology of Mathematics Education.
- Gal, I. (2024a). Adult education in mathematics and numeracy: a scoping review. *ZDM*, 2024. doi:10.1007/s11858-024-01549-z
- Gal, I. (2024b). What do citizens need to know about real world statistical models, and the teaching of data modeling. In S. Podworny, D. Frischmeier, M. Dvir, & D. Ben-Zvi (Eds.), *Reasoning with Data Models and Modeling in the Big Data Era* (pp. 91-100). Minerva Foundation and Paderborn University. doi:10.17619/UNIPB/1-1815
- Gravemeijer, K., Stephan, M., Julie, C., Lin, F.-L., & Ohtani, M. (2017). What Mathematics Education May Prepare Students for the Society of the Future? *International Journal of Science and Mathematics Education (Suppl 1)*, 15, 105-123. doi:10.1007/s10763-017-9814-6
- Gresnigt, H. L. (2018). *Integrated curricula: an approach to strengthen science & technology in primary education*. TU Eindhoven.
- Gresnigt, H. L., Taconis, R., Van Keulen, H., Gravemeijer, K., & Baartman, L. (2014). Promoting science and technology in primary education: a review of integrated curricula. *Studies in Science Education*, 50(1), 47-84.
- Grgurina, N., Barendsen, E., & Zwaneveld, B. (2014). Computational thinking skills in Dutch secondary education: Exploring pedagogical content knowledge. *Proceedings of the 14th Koli Calling International Conference on Computing Education Research*, (pp. 173-174).
- Guérin, L. (2018). *Group problem solving as citizenship education: Mainstream idea of participation revisited*. Utrecht University.
- Harlen, W. (1999). Purposes and procedures for assessing science process skills. *Assessment in education: principles, policy & practice*, 6(1), pp. 129-144.
- Hoogland, K. (2023). The changing nature of basic. *Frontiers in Education*, 2023. doi:10.3389/feduc.2023.1293754

- Hotze, A. C., & Keijzer, R. (2017). Samenhang tussen rekenen-wiskunde en wetenschap en technologie [Connecting mathematics and science in education]. *Volgens Bartjens – ontwikkeling en onderzoek*, 36(5), 41-51.
- Kampman, L., Driebergen, M., Oberink, M., Grgurina, N., Spronk, J., De Vries, H., & Klein Tank, M. (2024). *Conceptkerndoelen burgerschap en digitale geletterdheid* [Concept standards for citizenship and digital literacy]. SLO. https://slo-kerndoelen.files.svdcdn.com/production/uploads/assets/updates/DEF_kerndoelenboekje_BU_DG.pdf
- Kirschner, P. A., & Stoyanov, S. (2020). Educating Youth for Nonexistent/Not Yet Existing Professions. *Educational Policy*, 34(3), 477-517. <https://doi.org/10.1177/0895904818802086>
- Kneepkens, B., Van der Schoot, F., & Hemker, B. (2011). *Balans van het natuurkunde- en techniekonderwijs aan het einde van de basisschool 4* [Overview physics and technology education end of primary education]. Cito.
- Kruit, P., Oostdam, R., Van den Berg, E., & Schuitema, J. (2018). *Performance Assessment as a diagnostic tool for science teachers. Research in science education*. <https://doi.org/10.1007/s11165-018-9724-9>
- Laugksch, R. C. (1999). Scientific literacy: A conceptual overview. *Science Education*, 84, 71-94.
- Libow Martinez, S., & Stager, G. (2014). *Invent To Learn. Making, Tinkering, and Engineering in the Classroom*. Constructing Modern Knowledge Press.
- Lonning, R. A., & DeFranco, T. C. (2010). Integration of Science and Mathematics: A Theoretical Model. *Science and Mathematics*, 97(4), 212-215. doi:10.1111/j.1949-8594.1997.tb17369.x
- Loughran, J. (2004). In Search of Pedagogical Content Knowledge in Science: Developing Ways of Articulating and Documenting Professional Practice. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(4), 370-391. <https://doi.org/10.1002/tea.20007>
- Maass, K., Geiger, V., Ariza, M. R., & Goos, M. (2019). The Role of Mathematics in interdisciplinary STEM education. *ZDM*, 51, 869–884. doi:10.1007/s11858-019-01100-5
- Martin, R. (2015). The Promise of the Maker Movement for Education. *Journal of Pre-College Engineering Education Research (J-PEER)*, 51(1 (Article 4)).
- Mulligan, J., & English, L. (2014). Developing Young Students' Meta-Representational Competence. In J. Anderson, M. Cavanagh, & A. E. Prescott (Eds.), *Curriculum in focus: Research guided practice (Proceedings of the 37th annual conference of the Mathematics Education Research Group of Australasia)* (pp. 493–500). MERGA.
- Oonk, W., Keijzer, R., & Zanten, M. A. (2020). Integration of Mathematics and Didactics in Primary School Teacher Education in the Netherlands. In M. Van den Heuvel-Panhuizen (Ed.), *National Reflections on the Netherlands Didactics of Mathematics* (ICME-13 Monographs ed., pp. 121–146). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-33824-4_8
- Pedastre, M., Maeots, M., Siiman, L. A., De Jong, T., Van Riesen, S. A., Kamp, E. T., . . . Tsourlidaki, E. (2015). Phases of inquiry-based learning: definitions and the inquiry cycle. *Educational Research Review*, 14, 47-61.
- Pijls, M., Van Eijck, T., Kragten, M., & Bredeweg, B. (2022). Activities and Experiences of Children and Makerspace Coaches During After School and School Programs in a Public Library Makerspace. *Journal for STEM Education Research*, 5, 1-24.
- Post, T. (2019). *Fostering inquiry-based pedagogy in primary school: A longitudinal study into the effects of a two-year school improvement project*. TU Twente.
- Prenger, J., Pleumeekers, J., Van Zanten, M., Schmidt, V., Teunis, B., Brand, M., & Bron, J. (2023). *Conceptkerndoelen Nederlands en rekenen en wiskunde* [Concept standards Dutch language and mathematics]. SLO.
- Rohaar, E. J. (2009). *Testing teacher knowledge for technology teaching in primary schools*. TU/e. <https://doi.org/10.6100/IR653226>
- Shulman, L. S. (1986). Those Who Understand: Knowledge Growth in Teaching. *Educational Researcher*, 15(2), 4-14.
- SLO. (2006). *Kerndoelen primair onderwijs* [Key objectives primary education]. OCW.
- Van Aalderen-Smeets, S., & Walma van der Molen, J. (2013). Measuring Primary Teachers' Attitudes Toward Teaching Science: Development of the Dimensions of Attitude Toward Science (DAS) Instrument. *International Journal of Science Education*, 35(4), 577-600. doi:10.1080/09500693.2012.755576
- Van den Heuvel-Panhuizen, M. (Ed.). (2020). *National Reflections on the Netherlands Didactics of Mathematics: Teaching and learning in the context of Realistic Mathematics Education* (ICME-13 Monographs ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-33824-4>

- Van der Aalsvoort, G., Van der Zee, S., & De Wit, T. (2020). Improving science skills by practicing geometry and measurement in Kindergarten. *Early Child Development and Care*, 190(4), 537-548. doi:10.1080/03004430.2018.1482889
- Van Graft, M., & Klein Tank, M. (2018). *Wetenschap & technologie in het basis-en speciaal onderwijs. Een richtinggevend leerplankader bij het leergebied 'Oriëntatie op jezelf en de wereld'* [Science & technology in primary and special education. A guiding curriculum framework for the learning area 'Orientation on yourself and the world']. SLO.
- Van Keulen, H., & Slot, E. (n.d.). *Excellentiebevordering door middel van onderzoekend en ontwerpend leren. Vaardigheden rubrics onderzoeken en ontwerpen (VROO)* [Promoting excellence through research and design learning. Researching and designing skills rubrics (VROO).]. School aan Zet. https://ktwt.nl/wp-content/uploads/sites/40/2015/08/vaardigheden_rubrics_onderzoeken_en_ontwerpen_vroo_.pdf
- Voogt, J., & Pareja Roblin, N. (2012). A comparative analysis of international frameworks for 21st century competences: Implications for national curriculum policies. *Journal of Curriculum Studies*, 44(3), 299–321. doi:10.1080/00220272.2012.668938