

NATUUR EN TECHNOLOGIE

“Kennis van en over natuurwetenschappen en technologie is onmisbaar voor het begrijpen van en functioneren in de westerse samenleving.”



Natuur en technologie

Kennis van en over natuurwetenschappen en technologie is onmisbaar voor het begrijpen van en functioneren in de westerse samenleving. Deze kennis en bijbehorende vaardigheden kunnen worden aangeboden in afzonderlijke schoolvakken, dan wel in enige vorm van samenhang tussen vakken. Aansprekende lichtpunten van samenhang zijn Onderzoeken & Ontwerpen, Natuur, Leven en Technologie en Technologie & Toepassing. In dit hoofdstuk gaan we in op de belangrijkste ontwikkelingen en uitdagingen. Aandachtspunten zijn onder andere de globale formulering van kerndoelen waardoor ze leraren weinig houvast bieden, de zorgwekkende positie van de natuurwetenschappelijke vakken in po, resultaten van recent internationaal onderzoek, de rol van toetsing en de dominante positie van het centraal examen – en de gevolgen daarvan, zoals de beperkte aandacht voor experimenteel onderzoek. Er zijn vele trends te benoemen in het domein van N&T, we werken er in dit hoofdstuk acht uit: interdisciplinariteit en samenhang, duurzame ontwikkeling, concept-contextbenadering, kennis over wetenschap, vaardigheden, (formatieve) toetsing, techniek en technologie en tot slot de professionalisering van leraren in regionale vo-vo-netwerken.

12. Natuur en technologie

Ange Taminau, Wout Ottevanger, Maarten Pieters, Erik Woldhuis, Jeroen Sijbers, Wim Spek, Herman Schalk, Maaike Rodenboog & Marja van Graft

12.1 Korte schets van het domein natuur en technologie

Natuur en technologie (N&T) hanteren we in dit hoofdstuk als verzamelterm voor het domein waarin kennis van en over natuurwetenschappen en technologie centraal staat. Deze kennis en de bijbehorende vaardigheden kunnen worden aangeboden in de vorm van afzonderlijke schoolvakken, dan wel in enige vorm van samenhang tussen vakken.

Hanteren we de afzonderlijke vakken als ordeningskader dan ziet het domein natuur en technologie er op het niveau van het beoogde curriculum als volgt uit.

Biologie maakt in het po en in de onderbouw vo deel uit van de kerndoelen, die op hoofdlijnen beschrijven welke (in dit geval biologische) inhouden en vaardigheden dienen te worden aangeboden. Voor het po betreft dat de deeldomeinen natuur en techniek en mens en samenleving binnen het leergebied oriëntatie op jezelf en de wereld (OJW). Voor de onderbouw vo maken de kerndoelen voor biologie - net als die voor natuurkunde, scheikunde, nask, techniek en verzorging - deel uit van het leergebied mens en natuur. Over het algemeen staat biologie in leerjaar 1 en leerjaar 2 of 3 op het lesrooster. In de bovenbouw vmbo is biologie een verplicht vak binnen het profiel Zorg en Welzijn. In de andere profielen is het een keuzevak. In de tweede fase is biologie een verplicht vak in het profiel NG en een keuzevak in de andere profielen. Met ingang van het schooljaar 2013-2014 zijn nieuwe examenprogramma's voor havo en vwo van kracht geworden.

Ook voor natuurkunde zijn er kerndoelen geformuleerd, voor het po in het domein natuur en techniek binnen het leergebied OJW en voor onderbouw vo, zoals gemeld, binnen het leergebied mens en natuur. In de onderbouw wordt natuurkunde meestal in de leerjaren 2 en 3 gegeven. In leerjaar 2 wordt het vaak aangeduid als 'natuur- en scheikunde' en gaat het ook een klein beetje over scheikunde. Natuurkunde in de bovenbouw van het vmbo wordt nask1 genoemd. Nask1 is een verplicht vak in de sector techniek en een keuzevak in de andere sectoren. Op het niveau van het examenprogramma kent het een gelijksoortige opbouw voor de zowel basisberoepsgerichte, de kaderberoepsgerichte als de gemengd/theoretische leerweg. In de tweede fase is natuurkunde een verplicht vak in het profiel natuur en techniek (NT) en een keuzevak in het profiel natuur en gezondheid (NG). Dat

geldt voor zowel havo als vwo. Net als bij biologie zijn met ingang van het schooljaar 2013-2014 nieuwe examenprogramma's ingevoerd vanaf de vierde klas.

Scheikunde maakt geen deel uit van de kerndoelen voor het po. In de onderbouw vo is het opgenomen in het leergebied mens en natuur van de kerndoelen en zien we het in verschillende gedaantes terug op het lesrooster van scholen. In sommige scholen (onderbouw havo/vwo) is het een vak dat alleen in de derde klas wordt gegeven, in andere scholen (onderbouw vmbo) worden natuur- en scheikunde gecombineerd aangeboden. In de bovenbouw vmbo wordt scheikunde aangeduid als nask2. Het betreft een keuzevak dat alleen in de gemengd/theoretische leerweg wordt gegeven. In de tweede fase is scheikunde een verplicht vak in de profielen NT en NG. Net als voor biologie en natuurkunde zijn voor scheikunde voor zowel havo als vwo met ingang van schooljaar 2013-2014 vanaf leerjaar 4 nieuwe examenprogramma's van kracht.

Techniek maakt in het po onderdeel uit van deeldomein natuur en techniek en in de onderbouw vo van het leergebied mens en natuur. Voor zover het in de praktijk aan de orde komt, gebeurt dat doorgaans geïntegreerd met een ander vak of leergebied. In 2020 moeten alle po-scholen wetenschap en techniek in hun curriculum hebben opgenomen. Sinds schooljaar 2014-2015 wordt gewerkt aan de ontwikkeling van het nieuwe schoolexamenvak technologie en toepassing (T&T) voor de theoretische en gemengde leerweg van het vmbo. Loopbaanoriëntatie en -begeleiding vormt een belangrijk onderdeel van het schoolexamenprogramma van dit vak. In 2016-2017 heeft op een aantal scholen een pilot plaatsgevonden. Ook in tweede fase wordt techniek op verschillende manieren aangeboden.

Samenhang tussen vakken manifesteert zich binnen het N&T-domein in verschillende verschijningsvormen, met name in havo en vwo. De meest in het oog springende vakken waarin kennis van en over natuurwetenschappen, technologie en soms ook wiskunde, discipline-overstijgend aan de orde komen, zijn als volgt te typeren.

Onderzoeken en Ontwerpen (O&O) is in 2004 ontwikkeld door de Stichting Technasium en vormt het hart van de onderwijsvorm met die naam. Op technasia is er ruimte voor projecten in de onderbouw vo, keuzeprojecten in het voorexamenjaar, een meesterproef in het examenjaar en Onderzoek & Ontwerpen als geïntegreerd schoolexamenvak. O&O is inmiddels erkend als profielkeuzevak voor de beide N-profielen in de tweede fase. Daartoe is er sinds 2013 een in eindtermen geformuleerd examenprogramma beschikbaar. Natuur, leven en technologie (NLT) is sinds schooljaar 2007-2008 een interdisciplinair profielkeuzevak in de beide N-profielen. Dit vak vervult een katalyserende rol bij het vormgeven van samenhang tussen de bètavakken in de tweede fase. Het vak is bedoeld als verbreding en verdieping van het hetgeen in monovakken aan de orde komt en biedt

een oriëntatie op een breed spectrum van vervolgstudies en beroepen op het terrein van N&T.

Algemene natuurwetenschappen (ANW) is vanaf 2000 ingevoerd als verplicht schoolexamenvak in het algemene deel van alle vier de tweede fase-profielen in havo en vwo, maar met ingang van 2007 uitgefaseerd uit het gemeenschappelijk deel voor havo en met ingang van 2015 ook voor vwo. Sindsdien is het vak niet langer verplicht, maar mag een school het blijven aanbieden als examenvak. Het argument voor uitfaseren was dat de belangrijkste inhoudelijke invalshoeken van ANW een plek hebben gekregen in de per 2013-2014 ingevoerde nieuwe examenprogramma's voor biologie, natuurkunde en scheikunde.

De nieuwe examenprogramma's voor natuurkunde, scheikunde en biologie voor havo en vwo hebben een gemeenschappelijke opzet en invulling van het A-domein (vaardigheden), met als doel samenhang op dat punt te bevorderen. Verder zijn door SLO in samenspraak met universitaire vakexperts leerplanvoorstellen uitgebracht voor wetenschap en technologie (W&T) in po/so (Van Graft, Klein Tank, & Beker, 2016) en natuurwetenschappen en technologie (N&T) voor de onderbouw van het vo (Ottevanger, Oorschot, Spek, Boerwinkel, Eijkelhof, De Vries, & Kuiper, 2014). Beide leerplanvoorstellen benadrukken het belang van samenhang en bieden daarvoor tal van aanknopingspunten, maar sluiten een aanbod in afzonderlijke vakken niet uit. In het leerplanvoorstel W&T po/so staan, aansluitend bij de huidige kerndoelen, vaardigheden en houdingen op het terrein van onderzoeken en ontwerpen centraal, in combinatie met relevante denkwijzen. Het leerplanvoorstel N&T concretiseert de kerndoelen voor natuurkunde, scheikunde, biologie, fysische geografie en technologie voor de onderbouw vo in termen van vakinhouden, werkwijzen, denkwijzen en mogelijke verbindingen daartussen.

12.2 Knelpunten, ontwikkelingen en curriculaire uitdagingen

In dit hoofdstuk worden in samenvattende zin knelpunten en ontwikkelingen en curriculaire uitdagingen binnen het N&T-domein beschreven en geduid. Deze zijn ontleend aan de vakspecifieke trendanalyse N&T (Vaksectie Natuur en Techniek SLO, in voorbereiding), waarin meer uitgebreid wordt stilgestaan bij (discrepanties tussen) het beoogde, uitgevoerde en gerealiseerde onderwijs op het terrein van N&T. Gesignaleerde ontwikkelingen zijn gebaseerd op een analyse van het onderwijsbeleid, de N&T-onderwijspraktijk, wetenschappelijk onderzoek, conferenties en/of samenleving, in nationaal en internationaal perspectief. Bij de verschillende ontwikkelingen worden mogelijke curriculaire implicaties benoemd, steeds aangeduid als 'uitdagingen'.

Knelpunten

De kerndoelen voor po en onderbouw vo en ook de aan het schoolexamen toegewezen eindtermen in de examenprogramma's voor het vmbo en de tweede fase zijn zodanig globaal geformuleerd dat veel leraren er weinig of geen houvast aan hebben. Mede daardoor baseren zij hun lesaanbod met name op de door hen gekozen lesmethode. Uit contacten met leraren blijkt dat uitwerkingen en concretisering - in de vorm van tussendoelen en leerlijnen voor po (zie tule.slo.nl), het leerplanvoorstel N&T voor de onderbouw vo (met daarin concretisering van de kerndoelen in termen van vakinhouden, werkwijzen en denkwijzen) en de verschillende handreikingen voor schoolexamens voor de tweede fase (met uitwerkingen van SE-eindtermen en voorbeeldopgaven) deze rol inderdaad kunnen vervullen. Niet alleen dergelijke concretisering en daarmee meer houvast, maar ook de vrijheid die globaal geformuleerde eindtermen bieden worden door docenten in de tweede fase gewaardeerd. Dat klinkt paradoxaal en dat is het ook. Het illustreert de uitspraak van een Noorse beleidsmaker dat *"teachers cry for freedom and call for specification"*. De vraag is wat de juiste balans is tussen ruimte bieden en richting geven (zie in dit verband ook het hoofdstuk Ruimte, richting en ruggensteun elders in deze Curriculumspiegel). Het is belangrijk te monitoren in hoeverre de genoemde concretisering en uitwerkingen voldoende houvast bieden met behoud van de tevens gewenste ruimte.

De positie van de natuurwetenschappelijke vakken in het po is zorgwekkend. Er wordt weinig tijd voor gereserveerd en leraren beschikken vaak niet over voldoende kennis, vaardigheden en motivatie om de methode te ontstijgen en op een onderzoekende manier les te geven. Als gevolg daarvan is er weinig diepgang in het onderwijs, met slechts oppervlakkige kennis en vaardigheden van leerlingen als resultaat. Bij de uitvoering van het

natuurwetenschappelijke onderwijs in het po wordt bovendien onvoldoende gefocust op leeropbrengsten. Er wordt weinig getoetst en leerlingvolgsystemen voor dit domein ontbreken op veel scholen. Deelname aan de *Centrale Eindtoets PO* voor de natuurwetenschappelijke vakken is facultatief en de resultaten zijn, in tegenstelling tot die van rekenen en taal, niet bepalend voor het advies over het geschikte type vervolgonderwijs. Leerlingen met een niet-Nederlandse achtergrond presteren significant lager in het onderwijs in de natuurwetenschappelijke vakken, zowel in groep 6 als in groep 8 (zie PPO-rapporten 43 en 44 op www.cito.nl, zoek PPO-rapporten).

In het vmbo zijn nog veel onbenutte mogelijkheden wat betreft de ondersteuning van de beroepsgerichte vakken door de algemeen vormende vakken, bijvoorbeeld natuurkunde bij techniek en biologie bij zorg en welzijn. Dit zou vorm kunnen krijgen door meer keuzeruimte in de vakken of aangepaste vakken voor de verschillende profielen.

Natuurwetenschappelijke vaardigheden, zoals experimenteel onderzoek, nemen in alle examenprogramma's een belangrijke rol in. In de praktijk valt de hoeveelheid aandacht die hieraan wordt besteed echter tegen. Hiervoor zijn enkele praktische redenen te geven, zoals tijdgebrek en materiaalgebrek, maar de belangrijkste reden is de dominante positie van het centraal examen (CE). Omdat dergelijke vaardigheden niet of maar zeer beperkt in het CE aan bod (kunnen) komen, wordt op veel scholen gekozen deze onderdelen ook niet te zwaar te laten tellen op het schoolexamen ten gunste van stof die wel centraal wordt geëxamineerd. Voor alle stof die alleen op het schoolexamen aan bod komt - niet alleen natuurwetenschappelijke vaardigheden maar ook inhoudelijke schoolexamendomeinen en vakken die alleen met een schoolexamen worden afgesloten (NLT en O&O) - is er grote behoefte aan kwaliteitsborging.

In de havo/vwo-examenprogramma's voor zowel de monovakken (biologie, natuurkunde, scheikunde) als NLT en O&O worden gemeenschappelijke vaardigheden op een samenhangende manier beschreven. In de praktijk op scholen komt deze samenhang nog maar moeizaam uit de verf.

Nederland haalt met een gemiddelde van 509 een relatief goede PISA-score voor natuurwetenschappen in de onderbouw vo (15-jarigen), maar de gemiddelde score voor 2015 is wel significant gedaald na een jarenlange (2003 tot en met 2012) stabiele trend (Van der Hoeven et al., 2017). Deze significante daling manifesteert zich voornamelijk op het vmbo. Naast de vaardigheidsscore op natuurwetenschappen zijn bij PISA ook verschillende attitude-aspecten gemeten. Op veel van deze aspecten scoren Nederlandse leerlingen niet goed. Op 'plezier in natuurwetenschappen' scoren Nederlandse leerlingen significant lager dan de leerlingen in *alle* andere landen die hebben deelgenomen aan

PISA. Een en ander laat zich lastig verklaren. De gemiddelde TIMSS-score voor de 9-jarigen van 2015 (517) is ten opzichte van 2011 (531) significant gedaald naar het laagste niveau sinds het begin van de TIMSS-studies in 1995 (530). Deze daling is significant voor de inhoudelijke domeinen biologie en natuurkunde, maar het grootst in het laatstgenoemde domein. Ook bij de cognitieve domeinen weten en toepassen zijn de prestaties significant lager dan in 2011. De afgelopen jaren presteerden jongens beter dan meisjes. In 2015 zijn er geen verschillen meer omdat jongens meer achteruit zijn gegaan dan meisjes. Allochtone leerlingen presteren nog steeds significant lager dan autochtone leerlingen.

Ontwikkelingen en curriculaire uitdagingen

Interdisciplinariteit en samenhang

Ontwikkelingen

In het vervolgonderwijs is al jaren de trend naar meer interdisciplinaire studie- en opleidingsrichtingen zichtbaar. Te denken valt aan de bacheloropleidingen *Bèta-gamma* (UvA), *Liberal Arts and Sciences* (UU), *Science Business and Innovation* (VU) en *Science* (RUN), en aan de masteropleidingen *Forensic Science* (UvA), *Neuroscience and Cognition* (UU) en *Bio-Pharmaceutical Sciences* (UL). Binnen deze interdisciplinaire gebieden raken disciplines elkaar, maar behouden ze hun eigen inbreng. Met deze trend bereidt het vervolgonderwijs studenten voor op beroepen en onderzoeksgebieden waarin het werk doorgaans een interdisciplinair karakter heeft.

Interdisciplinaire samenhang is goed te zien in ontwikkelingen in maatschappij en wetenschap. Zo benadrukt het topsectorenbeleid (daterend uit 2012; zie www.topsectoren.nl) het belang van sectoren die we in het onderwijs herkennen als contextgebieden en het belang van cross-sectoraal werken in sectoren. Ook de *Wetenschapsvisie 2025* (Ministerie van OCW, 2015) pleit voor meer kruisbestuiving tussen disciplines. De *Nationale wetenschapsagenda* (www.wetenschapsagenda.nl) vloeit voort uit die Wetenschapsvisie en is voor het onderwijs vooral interessant als onderzoek naar vragen die burgers graag onderzocht zouden zien. De *Nationale wetenschapsagenda* geeft door filtering (bijvoorbeeld op haalbaarheid in termen van onderzoeksvragen) en bundeling van de duizenden suggesties een mooi overzicht van thema's in 140 clustervragen. De *Digitale agenda* (<https://vragen.wetenschapsagenda.nl>), opgesteld door groepen wetenschappers, biedt een aantal routes door die clustervragen. Daarin wordt ook zichtbaar hoe niet alleen disciplines, maar ook vraagstellingen weer met elkaar kunnen samenhangen, onder andere door gemeenschappelijke concepten of verwante onderzoeksmethodes.

Over het begrip interdisciplinariteit is veel te zeggen. Afgezet tegen disciplinariteit, heeft interdisciplinariteit de volgende kenmerken. In het onderwijs, het onderzoek of bij ontwerp- of beheerstaken in bedrijven en maatschappelijke organisaties kunnen we verschillende aanpakken onderscheiden:

- a. De individuele of gezamenlijke aanpak van een vraagstuk uit het domein van één discipline, waarbij het individu of het team de vakkennis, denk- en werkwijzen uit die ene discipline inbrengt of verwerft.
- b. De individuele of gezamenlijke aanpak van een vraagstuk uit een overlappend domein van meer dan één discipline, waarbij het individu of het team vakkennis, denk- en werkwijzen vanuit alle relevante disciplines inbrengt, verwerft en verbindt.

Aanpak A noemen we (mono)disciplinair, aanpak B interdisciplinair. Voor aanpak B is samengaan van denk- en werkwijzen uit verschillende disciplinaire invalshoeken een voorwaarde. Dat kan plaatsvinden in het hoofd en het handelen van dat ene individu, of op het niveau van een team, maar zonder integratie werkt aanpak B niet. Dan gaan problemen van loket naar loket zonder dat ze beter begrepen worden, laat staan opgelost. Voor het onderwijs betekent dit dat leerlingen inzicht in relevante denk- en werkwijzen per discipline moeten verwerven én moeten oefenen met integratie van die verschillende denk- en werkwijzen. Leerlingen zullen kennis die zij hebben verworven bij de betrokken disciplines flexibel leren toepassen.

Als aanpak B door een team wordt gebruikt, kunnen er nog twee manieren worden onderscheiden. Het kan zijn dat elk teamlid inhoud, denk- en werkwijzen vanuit alle relevante disciplines inbrengt of verwerft (aanpak B1). Wat ook kan, is dat elk teamlid denk- en werkwijzen vanuit een eigen discipline inbrengt of verwerft (aanpak B2). Bij B1 is elk teamlid integralist, bij B2 is elk teamlid specialist en vindt de integratie van denk- en werkwijzen op teamniveau plaats. Voor de integratie van specialistische kennis op teamniveau (B2) is wel noodzakelijk dat de specialisten elkaar begrijpen en de inbreng van de anderen kunnen koppelen aan hun eigen inzichten. Om dit proces te ondersteunen kan het team worden aangevuld met een *interdisciplinarian*, die bij het proces ondersteuning biedt en zoekt naar overeenkomsten. Complexe maatschappelijke vraagstukken (en dat zijn maatschappelijke vraagstukken al gauw) vragen in de regel om een aanpak van samenwerkende specialisten die elkaar begrijpen en inzichten kunnen koppelen. De kennis van dergelijke specialisten wordt aangeduid met de term 'T-profiel' (OECD, 2015, pp. 19-20), een profiel waarbij specialisten diepgaande kennis van de denk- en werkwijzen in het domein van één discipline hebben en tevens in staat zijn om de taal van andere specialisten te verstaan en de inzichten van die anderen te koppelen aan hun eigen inzichten.

In het po en vo komt de thematiek van een interdisciplinaire aanpak dikwijls naar voren als onderdeel van de discussie over samenhang in het onderwijs. Samenhang niet alleen in de zin van afstemming tussen vakken, maar met name ook voor verbinding tussen

ervaringen in het dagelijks leven van leerlingen en wat ze op school leren. Hier gaat het om inhoudelijke afstemming tussen vakken, waarbij interdisciplinariteit een van de opties is. Andere soorten samenhang, zoals tussen ervaringen in het dagelijks leven van leerlingen en wat ze op school leren, komen aan de orde bij de concept-contextbenadering. Voor het po en de onderbouw vo zijn de kerndoelen leidend. Die zijn uitgewerkt in een preambule en leergebieden met een eigen karakteristiek, voor het domein natuur en technologie zijn dat respectievelijk het leergebied oriëntatie op jezelf en de wereld en het leergebied mens en natuur. De kerndoelen geven docenten handvatten om vakoverstijgend te werken aan vaardigheden en inhouden (Ministerie van OCW, 2006a en b). In de preambule wordt aangegeven dat leerlingen in samenhang dienen te leren. Docenten dienen relaties aan te brengen tussen inhouden van vakken of leergebieden, niet alleen voor de mens- en natuurvakken, maar ook voor bijvoorbeeld taal/Nederlands of rekenen/wiskunde.

Voor po en so is het leerplanvoorstel W&T po/so (Van Graft et al., 2016) ontwikkeld. Dit leerplanvoorstel benadrukt dat onderwijs in wetenschap en technologie bestaat uit een integratie van vakken uit verschillende leergebieden. Het onderscheidt de volgende componenten, waarin de onderwijsdoelstellingen vanuit die leergebieden met elkaar samenhangen: onderzoeken en ontwerpen (dit worden de leidende activiteiten genoemd, naast onderliggende vaardigheden zoals denkwijzen hanteren en observeren en meten), houdingen, kennis (procedureel en disciplinair), context (zowel vanuit interesses van leerlingen als vanuit de kerndoelen) en generieke (21e eeuwse) en basisvaardigheden in rekenen-wiskunde en taal. Het leerplanvoorstel N&T voor de onderbouw vo (Ottevanger et al., 2014) is ontwikkeld om de kerndoelen voor natuurkunde, scheikunde, biologie, fysische geografie en techniek nader te concretiseren en ook inhoudelijk te vernieuwen. Voortbouwend op het Amerikaanse *Framework for K-12 Science Education* (National Research Council, 2012) en het science deel van het PISA 2015 raamwerk (OECD, 2016) worden vakinhouden, werkwijzen en denkwijzen uitgewerkt. Op basis van deze drie dimensies kunnen vakken gesplitst dan wel interdisciplinair worden aangeboden.

Ook in de tweede fase is een trend naar meer interdisciplinariteit zichtbaar. Daarbij wordt interdisciplinariteit dikwijls aangeduid als 'samenhang tussen vakken'. We schetsen een paar ontwikkelingen. Voor de in 2013 landelijk ingevoerde havo- en vwo-examenprogramma's voor de bètavakken (wiskunde in 2015) is samenhang een van de uitgangspunten, op een wijze die interdisciplinaire afstemming mogelijk maakt zonder daartoe te verplichten. De visiestukken van de vakvernieuwingscommissies, die de basis vormden voor deze examenprogramma's, benadrukken een dergelijke samenhang en werken deze op sommige onderdelen verschillend uit. Samenhang tussen de bètavakken is zichtbaar gemaakt in het A-domein van de examenprogramma's,

zowel voor havo als vwo, waarin de eindtermen voor vaardigheden omschreven zijn. Daarin zijn voor de natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde (en inmiddels ook informatica) enkele belangrijke vaardigheden identiek geformuleerd: onderzoeken, ontwerpen, en voor havo/vwo ook modelvorming en oordeelsvorming. Om naast de vaardigheden ook inhoudelijke domeinen in samenhang te kunnen afstemmen hebben de vier natuurwetenschappelijke vernieuwingscommissies gezamenlijk de samenhang, verschillen en samenwerkingsmogelijkheden tussen de vakken in beeld gebracht - in een aanvullend, niet-verplichtend document - aan de hand van vakoverstijgende kernconcepten, vaardigheden en thema's (Boersma, Bulte, Krüger, Pieters, & Seller, 2011). Voor elk daarvan is per vak aangegeven hoe de verschillende vakken daaraan bijdragen - waarmee tevens de eigen identiteit van elk vak is belicht. Ook zijn per vakkencombinatie voorbeelden uitgewerkt. Dat alles neemt niet weg dat de examenprogramma's van elkaar verschillen in ordening en typering van eindtermen. De uitwerking in syllabi, lesmateriaal en opgaven voor de centrale examens vertoont zulke verschillen nog sterker, al wordt de samenhang tussen vakgebieden zowel in lesmateriaal als examens wel zichtbaar door het gebruik van contexten.

Hoe sterk onderwijs in contexten (zie verderop) aanknopingspunten biedt voor samenhang, wordt het meest duidelijk bij de discipline-overstijgende schoolvakken NLT, O&O en W&T (po). Daarbij moet wel worden aangetekend dat volgens PISA 2015 slechts 16% van de Nederlandse leerlingen een geïntegreerd natuurwetenschappelijk vak volgde (Feskens, Kühlemeier, & Limpens, 2016). Dit is aanmerkelijk lager dan het OESO gemiddelde van 35% en zal met het afschaffen van ANW als verplicht vak in het vwo (vanaf september 2016) naar verwachting nog verder dalen. Ook het advies van het Platform Onderwijs2032 (2016) sluit aan bij de tendens naar meer samenhang in het onderwijs en duidt die aan als interdisciplinaire aanpak. Als doelen van een interdisciplinaire aanpak noemt het Platform dat leerlingen een dieper en meer samenhangend inzicht in de leerstof verwerven, interdisciplinair leren denken en (samen)werken, en meer gemotiveerd zijn om te leren.

Curriculaire uitdagingen

Op het punt van interdisciplinariteit en samenhang tussen vakken zijn er in het N&T-domein aansprekende lichtpunten (met name O&O, NLT en T&T). En daar waar het de kerndoelen en eindtermen betreft zijn er, zo blijkt uit het bovenstaande, van po tot tweede fase betekenisvolle en inspirerende ontwikkelingen gaande. Curriculaire uitdagingen liggen er op het vlak van doorontwikkeling van de concretiseringsvoorstellen zoals die er op dit moment liggen (met name geldt dat voor het leerplanvoorstel N&T voor de onderbouw vo, niet in de laatste plaats daar waar het de verbinding betreft van N&T met wiskunde) en in het in een doorlopende leerlijn plaatsen van de voorstellen

(van W&T po, via N&T onderbouw vo naar de vernieuwde examenprogramma's tweede fase). Om het inhoudelijke gedachtegoed in de praktijk ook uitgevoerd te krijgen is (ook) onderwijsmateriaal nodig dat binnen de vakken aandacht besteedt aan samenhang tussen de vakken. Dit kan in de vorm van contextrijke onderwerpen, maar ook als leerlingen oefenen met samenhang tussen de verschillende concepten binnen een vak, of met gelijksoortige concepten in verschillende vakken. Voor uitvoering van zo'n curriculum moeten docenten van verschillende secties hun programma's met elkaar vergelijken en afstemmingsmogelijkheden uitwerken. Scholen kunnen interdisciplinariteit bijvoorbeeld vormgeven in projecten, in projectweken, tijdens excursies of bij (de voorbereiding op) het sector- of profielwerkstuk. De keuze om NLT aan te bieden op school levert een bijdrage aan meer samenhang tussen de monovakken. De schoolboeken voor de monovakken in het vo (biologie, natuurkunde, scheikunde, wiskunde) besteden niet of nauwelijks aandacht aan dergelijke samenhang in de vorm van afstemming tussen vakken van concepten, contexten of vaardigheden. De boeken worden per vak geschreven en door de scholen meestal ook per vak voorgeschreven, waardoor er geen garantie is dat eventuele afstemming tussen vakken bij één uitgever ook de scholen bereikt.

SLO-projecten in het kader van het thema 'Curriculum van de toekomst', die mede voortbouwen op de discussie rond Curriculum.nu, kunnen concrete voorbeelden van de aanpak op school- en klasniveau in beeld brengen. En niet alleen aansprekende voorbeelden, ook professionaliseringswensen en ondersteuningsbehoeften/-mogelijkheden, bijvoorbeeld in de vorm van regionale vo-ho-netwerken (incl. vaksteunpunten voor de bètavakken). Doordat de steunpunten gekoppeld zijn aan hogescholen en universiteiten, kan professionalisering ook vakoverstijgend worden georganiseerd. Deze samenwerking tussen vo en ho speelt ook een belangrijke rol in de doorgaande ontwikkeling van het vak NLT voor met name scholing en de ontwikkeling van modules.

In 2020 moeten alle po-scholen techniek in hun curriculum hebben opgenomen. Vanuit *Kiezen voor Technologie* ondersteunen acht regionetwerken voor wetenschap en technologie scholen met een aanbod van W&T-activiteiten voor leerlingen en professionaliseringsmogelijkheden voor leraren. Wetenschapsknooppunten spelen daarbij een belangrijke rol. Ook hier is aandacht voor het vakoverstijgende karakter van W&T-onderwijs. De pabo's moeten vanaf het schooljaar 2015-2016 W&T aanbieden. Ook dit vraagt om een vakoverstijgend aanbod van vakken binnen het leergebied OJW en tussen deze wereldoriënterende vakken en de basisvakken taal en rekenen. SLO heeft input gegeven aan deze ontwikkeling middels W&T-workshops voor pabo's.

Duurzame ontwikkeling

Ontwikkelingen

Het begrip 'duurzame ontwikkeling' werd voor het eerst gedefinieerd door de *World Commission on Environment and Development* (WCED, 1987) in het 'Brundtland-rapport' als "a development in which the needs of present generations are met, while leaving the possibilities intact for future generations to meet their own needs". In de discussies kreeg de waarde van de natuur een plaats in die definitie door de behoefte van mensen aan natuur op te nemen in wat onder 'needs' verstaan werd. Vooral de erkenning van biodiversiteit als bestaansvoorwaarde voor de mens heeft eraan bijgedragen dat 'groen' en 'grijs', natuurbeschermers en maatschappijcritici, tegenwoordig minder tegenover elkaar staan dan in de jaren '70 en '80. De vraag hoe zwaar elk van die *needs* in de Brundtland-definitie moet wegen, is een zaak van politiek en onderhandeling. Dat laat zien dat duurzame ontwikkeling geen zaak is van natuurwetenschap alleen.

In de jaren '90 werd het gangbaar het concept duurzame ontwikkeling uit te drukken als een evenwicht van drie P's: *People, Planet, Profit*. Dit houdt in dat duurzame ontwikkeling een balans vraagt tussen ecologische (Planet), economische (Profit) en sociale aspecten van menselijk gedrag (People). Ook deze indeling beantwoordt niet de vraag waar dat evenwicht dan ligt, maar zij verheldert het soort aspecten waarmee rekening gehouden moet worden. Overigens zijn de drie P's inmiddels vervangen door *People, Planet, Prosperity*, onder andere in de terminologie van de *Decade of Education for Sustainable Development*, die de UNESCO had geproclameerd voor de periode 2005-2014 (zie www.desd.org). Doel van dat decennium was mensen bewust te maken van kennis, vaardigheden, houdingen en waarden die nodig zijn voor het vormgeven van een duurzame toekomst. UNESCO en het *UN Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) zijn vervolgens een set *Sustainable Development Goals* overeengekomen in de *2030 Agenda for Sustainable Development* (<https://sustainabledevelopment.un.org>), met daarin een belangrijke rol voor het onderwijs.

Duurzaamheid is inmiddels een vast aandachtspunt voor het bedrijfsleven geworden. Dat zien we in marketing en in innovatiestrategieën. Bedrijven en andere maatschappelijke organisaties laten als trend ook aandacht voor de kringlooeconomie of circulaire economie zien, een manier van produceren die het mogelijk maakt dat gebruikte materialen opnieuw nuttig worden ingezet in hetzelfde of een ander product zonder kwaliteitsverlies. Zulke strategieën worden tot maatschappelijk ondernemen gerekend. Ook deze ontwikkelingen laten zien dat aandacht voor duurzame ontwikkeling in het onderwijs aandacht voor meer dan alleen natuurwetenschappen en technologie vraagt, en tegelijk ook dat het N&T-domein onontbeerlijk is voor inzicht in de mogelijkheden en grenzen van een circulaire economie.

Ook in de Nederlandse politiek en in het regeringsbeleid speelt duurzame ontwikkeling als thema in het onderwijs een rol. Eind 2014 nam de Tweede Kamer een motie aan die het kabinet opriep te onderzoeken hoe duurzame ontwikkeling op integrale wijze in het Nederlandse onderwijs gefaciliteerd zou kunnen worden, gebruikmakend van de reeds aanwezige kennis binnen de onderwijssector (Tweede Kamer, 2014a). Daarop is in juni 2016 het rapport *Duurzaam onderwijs* aangeboden aan de kamer (Tweede Kamer, 2014b). Net als in de genoemde 2030 Agenda wordt daarin ook onderwijs als belangrijk instrument beschouwd voor het stimuleren van duurzame ontwikkeling en duurzaamheid.

Leerplanontwikkeling rond duurzame ontwikkeling kent in Nederland een lange traditie. In het project NME (natuur- en milieueducatie in het basis- en voortgezet onderwijs, uitgevoerd in de periode 1986-1992) werkten de natuur- en milieuorganisaties IVN en SME, SLO en de universiteiten van Groningen en (penvoerder) Utrecht samen met leraren van verschillende scholen en vakken. Het NME-project leverde een kernleerplan op, deelleerplannen voor po en vo en voorbeelden van lesmateriaal voor diverse vakken. Daarnaast zijn voorbeelden ontwikkeld van een praktijkstudie naar een geïntegreerde aanpak van duurzaamheid in het curriculum en in de schoolcultuur, vormgegeven in kwaliteitsbeleid, en deelstudies naar besluitvorming en waardenontwikkeling. De opbrengsten van het project zijn terug te vinden in kerndoelen en eindtermen.

In het po hebben de ontwikkelinspanningen geresulteerd in de volgende leerplandocumenten met aandacht voor milieu en duurzaamheid:

- Het domein milieu met twee kerndoelen, als onderdeel van het leergebied oriëntatie op mens en wereld, over respectievelijk de wisselwerking van mens, milieu en milieugedrag. Deze zijn bij de herziening van de kerndoelen in 2006 gereduceerd tot één kerndoel.
- In de huidige kerndoelen in de karakteristiek bij het leergebied oriëntatie op jezelf en de wereld. In het domein mens en samenleving is een kerndoel opgenomen over met zorg leren omgaan met het milieu. Voor de onderwijspraktijk zijn uitwerkingen daarvan te vinden op de website <http://tule.slo.nl>.
- In het eerder genoemde leerplanvoorstel voor W&T (Van Graft et al., 2016) wordt het begrip duurzaamheid bij de component kennis genoemd onder natuur en onder mens/maatschappij. Bij de component vaardigheden is duurzaamheid een van de criteria bij de onderliggende vaardigheden reflecteren, waarderen en oordelen.

Een recente analyse ontbreekt, maar een analyse van methoden uit 2007 laat zien dat er in natuuronderwijsmethoden voor po aandacht is voor duurzaamheid, met name vanuit de perspectieven betekenis van het milieu voor de mens en invloed van de mens op het milieu, evenals duurzame ontwikkeling als oplossing voor problemen met betrekking tot natuur en milieu (Van Graft & Volkering, 2007).

Voor het vo ziet het beeld er als volgt uit.

- De kerndoelen voor onderbouw vo (met name kerndoelen 30 en 31), geven in globale termen aan waar het om gaat: een onderzoekende houding ten opzichte van de natuur, herkennen van samenhangen en wisselwerkingen, verbinden van theorieën en modellen met praktisch werk en waarneming, en bevorderen van duurzaamheid.
- In het leerplanvoorstel N&T (Ottevanger et al., 2014) is duurzaamheid geformuleerd als een denkwijze: wetenschappers en technici denken in termen van duurzaamheid. Daarbij gaat het over ingrijpen in het milieu (stoffen onttrekken, toevoegen, transporteren): ervoor zorgen dat er niet meer wordt onttrokken dan het milieu kan aanvullen, dat de hoeveelheid en soort stoffen die worden toegevoegd zodanig worden beheerst dat het milieu deze kan verwerken en dat de effecten van veranderingen worden gecompenseerd. Maar ook komt aan de orde dat het milieu veel kan leveren, onder andere een voortdurende instroom van zonne-energie, een groot vermogen tot afbraak door micro-organismen en kringlopen van water. Daarnaast moeten overheden gestimuleerd worden om de beschikbare ruimte duurzaam te beheren, maatregelen te nemen tegen illegale dumping van afval en duurzame energievormen te gebruiken.
- De vmbo examenprogramma's en syllabi voor nask 1 en nask 2 noemen verschillende vaardigheden en begrippen die samenhangen met duurzaamheid (evenals het begrip duurzaamheid zelf). Bij biologie ligt het accent meer op vaardigheden en op enkele inzichten uit de ecologie. Het examenprogramma bouw-breed werkt milieuzorg/ duurzaam bouwen uit; consumptief-breed en zorg-en-welzijn-breed doen dat met milieubewust handelen. Het examenprogramma voor de sector groen (landbouw-breed) bevat de eindterm dat kandidaten de begrippen duurzaamheid en kringloop kunnen (her)kennen, benoemen en toepassen en bewuste afwegingen kunnen maken en relaties kunnen leggen tussen milieu, mensen en werkprocessen in arbeid en beroep met het oog op concepten als people, planet en profit.
- De nieuwe examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken in de tweede fase geven aandacht aan duurzaamheid. Bij scheikunde bijvoorbeeld moeten kandidaten kunnen redeneren in termen van duurzaamheid (subdomein A14) en is er aandacht voor groene chemie en duurzame productieprocessen (domein F). Bij biologie ligt onder meer een duidelijk verband bij ecologisch redeneren en kringlopen. Het systeemdenken heeft een belangrijke rol in het examenprogramma biologie en bij het leren voor duurzame ontwikkeling. Natuurkunde bevat diverse, meer verspreide aanknopingspunten voor aandacht voor duurzaamheid. Ook in het examenprogramma aardrijkskunde voor havo/vwo is aandacht voor duurzaamheid (subdomein C2: mondiaal milieuvraagstuk en B2: mondiaal verdelingsvraagstuk; bij economie is aandacht voor het begrip schaarste (B2: concept schaarste).
- Zeker ook relevant in de examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken voor havo en vwo is het A-subdomein Waarderen en oordelen, met als eindterm dat de

kandidaat in contexten een beargumenteerd oordeel kan geven over een situatie in de natuur of een technische toepassing, en daarbij onderscheid kan maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen.

Curriculaire uitdagingen

Het zou goed zijn de analyses en de ontwerpen van duurzame ontwikkeling in het onderwijs door de decennia heen naast elkaar te leggen, om na te gaan welke conceptualisering van duurzame ontwikkeling zich het best hebben bewezen daar waar het kerndoelen, eindtermen, uitwerkingen in (voorbeeld)lesmateriaal en de onderwijspraktijk betreft. De intenties van onderwijs over duurzame ontwikkeling lijken sinds de jaren '80 van de vorige eeuw niet veranderd. Hooguit is het besef gegroeid dat voor inzicht in duurzame ontwikkeling de inzet van verschillende disciplines nodig is. Voor het onderwijs houdt dat een beroep in op verschillende vakken of leergebieden, uit de alfa-, bèta- en gammasfeer. Toegespitst op het N&T-domein zal dat een accent betekenen op ecologie (begrippen als biodiversiteit en kringlopen en alles wat daarmee samenhangt, zoals materiestromen en energieomzettingen), aardwetenschappen (met name het klimaatvraagstuk en de notie van uitputbaarheid van hulpbronnen) en technologie (de oplossingen die technologie biedt en de eventuele problemen die deze weer kunnen veroorzaken). In de beste tradities van natuurwetenschappelijk en techn(olog)isch onderwijs worden zulke inhouden niet los behandeld van ethische of sociale aspecten, maar vindt het problematiseren van zulke aspecten met respect voor de professionaliteit in die kennisdomeinen plaats.

Nieuwe ontwerpen voor onderwijs over duurzame ontwikkeling moeten zich oriënteren op de inzichten en conceptualisering die in en buiten het onderwijs zijn ontwikkeld:

- Inhoudelijk liggen er aanknopingspunten met begrippen als circulair ondernemen, *cradle to cradle*, met het gebruik van grondstoffen gekoppeld aan het schaarstebegrip of met technologische ontwikkelingen als *lab on a chip* (miniaturisering, nanotechnologie).
- Duurzaamheid als thema voor vakoverstijgend werken kan voortbouwen op de ervaringen met projectweken en met vakken als NLT, O&O en ANW.
- De uitwerking van duurzaamheid in het leerplanvoorstel N&T voor de onderbouw vo, daarin als denkwijze geformuleerd, kan in principe ook andere domeinen insluiten, zoals aardrijkskunde en economie. Dat zou recht doen aan de aard van het thema.
- Voor een goed begrip van duurzaamheid is de ontwikkeling van systeemdenken belangrijk, het denken in termen van deelsystemen die elkaar beïnvloeden, en het inzicht dat systemen eigenschappen hebben die hun onderdelen zelf niet hebben. In de examenprogramma's biologie voor havo en vwo is dit denken beschreven als ecologisch

denken, maar ook in andere vakken spelen systemen en hun relaties en eigenschappen een rol. Het kan in projectonderwijs of andere vormen van vakoverstijgend onderwijs verder uitgewerkt worden.

- Goede voorbeelden blijven van groot belang. Daarbij moet ook gekeken worden naar materiaal ontwikkeld door natuur- en milieuorganisaties of andere maatschappelijke organisaties. Universiteiten ontwikkelen, al dan niet samen met vwo-docenten, courseware. Zowel UNESCO als IVN bieden scholen een programma. Daarnaast zijn er websites met informatie over duurzaamheidsonderwijs, zowel praktisch als meer theoretisch en reflecterend van aard, zoals de portal Duurzaamheid.nl, GroenGelinkt en de website van ECENT, het Expertisecentrum Lerarenopleidingen Natuur en Techniek.
- Duurzaamheidsvraagstukken zijn vraagstukken met vertakkingen in veel richtingen en op verschillende schalen, vaak van lokaal tot mondiaal. Het is daarom van belang leerlingen een reëel handelingsperspectief te bieden, dat past bij de sociale kaders van de leerlingen en dat hen helpt te ervaren en te begrijpen wat ze wel en niet zelf kunnen bijdragen aan duurzaamheid.
- De Engelse term *Education for sustainable development* laat een meervoudige doelstelling zien, waarin opvoeding in duurzaam gedrag en onderwijs over duurzame ontwikkeling door elkaar lopen. In dit kader is het relevant om de zogenaamde *Whole School Approach* te vermelden. Deze aanpak richt zich op een integrale ontwikkeling van het schoolcurriculum in relatie tot de leeromgeving in nabijheid van de school. Deze aanpak wordt onder meer genoemd in de gezamenlijke reactie die wetenschappers hebben gegeven op het preadvies van de commissie Schnabel ten aanzien van de positie van duurzaamheid in het onderwijs. De wetenschappers bepleiten dat deze integrale aanpak nodig is om de nieuwe generatie voor te bereiden op de uitdagingen van de toekomst.

Concept-contextbenadering

Ontwikkelingen

Twee adviezen van de Koninklijke Nederlandse Academie van Wetenschappen (KNAW, 2003a en b) vormen de basis voor de aandacht voor concepten en contexten in het onderwijs in Nederland. Een motief voor die aandacht is dat realistische contexten de relevantie en actualiteit van natuurwetenschap en techniek laten zien. Daar was in het begin van deze eeuw behoefte aan, gezien de terugloop in interesse van jongeren voor die vakken. Een tweede motief is dat leerlingen concepten wendbaar leren gebruiken door ze in verschillende contexten te hanteren, en daarmee ook het generieke karakter van concepten leren kennen. Onderzoek laat overigens zien dat een concept-contextbenadering niet per se leidt tot betere leerresultaten, maar dat zij het onderwijs wel aantrekkelijker voor leerlingen maakt (Bennett, Lubben, & Hogarth, 2006).

In Nederland is de ontwikkeling naar meer contextrijk onderwijs in de natuurwetenschappen al sinds de jaren '70 van de vorige eeuw gaande (Kuiper, 2009). Ook internationaal is er al langer sprake van deze trend, die in de Engelstalige literatuur bekend staat als *context-based science education* (Bennett, Gräsel, & Parchmann, 2005). Het Nederlandse PLON-project (*Project Leerpakket Ontwikkeling Natuurkunde, 1972-1986*) ontwikkelde een groot aantal natuurkundemodules vanuit realistische contexten (Eijkelhof & Kortland, 1988). Diverse scheikundeleraren werkten met *Chemie in Producten* (Van Aalsvoort, 2003). De Verenigde Staten kende onder meer het programma *ChemCom*. In Engeland zijn programma's voor *context-based science education* binnen de zogenaamde Salters-familie ontwikkeld. Duitse contextrijke programma's zijn *ChiK (Chemie im Kontext)*, *Piko (Physik im Kontext)* en *BiK (Biologie im Kontext)*. De huidige ontwikkelingen rond concepten en contexten bouwen voort op onderzoek en ervaringen uit deze Nederlandse en internationale programma's en projecten.

Voor po zijn voor het leergebied oriëntatie op jezelf en de wereld concepten en contexten uitgewerkt (Boersma et al., 2007; Van Graft, Boersma, Goedhart, Van Oers, & De Vries, 2009). Tevens zijn op basis van de concept-contextbenadering enkele lesvoorbeelden uitgewerkt (Van Graft, 2009). Over de implementatie van deze benadering in het po, bijvoorbeeld in methodes, en op pabo's zijn geen onderzoeksgegevens beschikbaar. Wel zijn bij de totstandkoming van de *Toetswijzer voor de wereldoriëntatie* de systeemconcepten van de Commissie Vernieuwing Biologie Onderwijs (CVBO) uitgangspunt geweest voor de kerndoelen die betrekking hebben op biologie (Boersma et al., 2007; College voor Examens, 2012). Ook in het leerplanvoorstel W&T po/so is de concept-contextbenadering genoemd als een mogelijke redenering om te komen tot een voor leerlingen relevante keuze van de inhoud van het onderwijs (Van Graft et al., 2016).

In het vmbo is de concept-contextbenadering voor de natuurwetenschappelijke vakken niet voorgeschreven. Wanneer deze wordt toegepast is dat vanuit de interesse van de docent. Het is mogelijk dat dit verband houdt met het feit dat vmbo-leerlingen meer achteruitgaan in het PISA-onderzoek dan havo/vwo-leerlingen (Van der Hoeven et al., 2017).

Bij het opstellen van de nieuwe examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken voor havo en vwo had de concept-contextbenadering invloed op het selecteren en ordenen van doelen en inhouden - het beoogde curriculum. Dat is op uiteenlopende wijze gebeurd. Bij biologie is een nieuw opgezette conceptuele structuur van systeemconcepten en organisatieniveaus gevuld met eindtermen die expliciet de verbinding met globaal aangeduide contexten leggen. Bij natuurkunde zijn voor enkele domeinen met name genoemde contexten in het naar concepten georganiseerde programma opgenomen; in de andere domeinen beperkt de aanduiding zich tot 'in contexten kunnen gebruiken'.

Bij scheikunde zijn naast vanuit de vakinhoud georganiseerde domeinen drie domeinen opgenomen die vanuit maatschappelijke contexten zijn gevuld.

De examenprogramma's schrijven inhoud voor, dus het noemen van contexten in de examenprogramma's houdt in dat leerlingen het gebruik van bepaalde concepten in al dan niet bepaalde contexten moeten leren beheersen. Bij de planning en uitwerking van het curriculum staat het leraren en auteurs echter vrij om concepten en contexten naar eigen voorkeur in te voegen. Voor de ordening van de inhoud kunnen ze zowel groepen concepten als contexten als uitgangspunt nemen. Ook voor de didactische uitwerking per onderwerp kunnen zij zelf kiezen of ze voortdurend eenzelfde grote context opzoeken of dat ze wisselende contexten als illustraties bij verschillende concepten gebruiken. De varianten die dit oplevert zijn door Bruning en Michels (2013) beschreven als het *concept-contextvenster*.

Docenten herkennen dat de concept-contextbenadering een belangrijk aspect van de vernieuwing is. In de tussenmeting van de monitoring van de invoering van de nieuwe bètaprogramma's (Folmer, Ottevanger, & Kuiper, 2015) noemt 90% van de docenten biologie en scheikunde het gebruik van contexten als vernieuwingskenmerk, bij natuurkunde is dat iets minder dan 60%. Docenten verschillen van mening over het al dan niet verplichtende karakter van de concept-contextbenadering voor de lespraktijk. In de tussenmeting was twee derde van de biologiedocenten, een derde van de scheikundedocenten en een vijfde van de natuurkundedocenten (onterecht) van mening dat zij *moeten* werken volgens een concept-contextbenadering. Wellicht is dit bij biologie terug te voeren op het feit dat in dit examenprogramma 'in contexten' vaak aan de eindtermen is toegevoegd (bijvoorbeeld: "de kandidaat kan met behulp van het concept afweer ten minste in contexten op het gebied van gezondheidszorg en voedselproductie benoemen op welke wijze eukaryoten zich te weer stellen tegen andere organismen"). Vergelijkbare formuleringen zijn overigens ook te vinden in het scheikunde-examenprogramma, maar minder frequent. In de pilotprojecten van de nieuwe examenprogramma's voor havo en vwo zijn voorbeelden van concept-contextonderwijs ontwikkeld.

Op het niveau van lesmateriaal en lesuitvoering is de invloed van de concept-contextbenadering waar te nemen, zij het op uiteenlopende wijze. Uitgevers bieden methodes met verschillende aanpakken, hetgeen scholen en docenten de mogelijkheid biedt te kiezen wat bij hun onderwijsvisie en -praktijk aansluit. Bij de ontwikkelde methodes valt op dat de meeste een voorzichtige aanpak kiezen. De ordening en inrichting van de boeken worden bepaald door de concepten, waarbij contexten als illustratie van of verbinding tussen de concepten fungeren. In termen van varianten volgens het concept-

contextvenster (Bruning & Michels, 2013) wordt een context dus niet of nauwelijks aangeboden als 'centrale context' die selectie en ordening van de leerstof bepaalt. De tussenmeting (Folmer, Ottevanger, & Kuiper, 2015) bevestigt dat beeld. De meeste docenten geven aan dat ze in veel lessen contexten gebruiken, maar de docenten die de inhoud van de lessen door een context laten bepalen zijn ver in de minderheid. Het gebruik van contexten in de les verhoogt ook de door docenten ervaren druk op de uitvoerbaarheid van de programma's, met name bij biologie en scheikunde. 30% (scheikunde) tot 50% (biologie) van de docenten vindt dat het werken met contexten (erg) veel tijd kost.

De concept-contextbenadering heeft ook invloed op de examens. Een analyse van het eerste centraal examen havo biologie volgens het nieuwe programma (Michels & Folmer, in voorbereiding) laat zien dat niet bij alle opgaven sprake is van een wisselwerking tussen concepten en contexten zoals bedoeld door de vernieuwingscommissie. Wat de schoolexamens betreft wordt er door docenten nog steeds gevraagd om goede voorbeelden van toetsen in context. Voor vakken met een centraal examen worden voor de centraal-exameneindtermen in de syllabi veel voorschrijvende specificaties van concepten en deelconcepten gegeven. Die kunnen niet altijd op een authentieke manier met een beperkt aantal centrale contexten verbonden worden. Aan de schoolexameneindtermen zijn geen voorschrijvende specificaties verbonden en dat maakt uitwerking in centrale contexten makkelijker. Duidelijk is dat te zien bij het vak NLT, dat immers alleen maar schoolexamendomeinen kent. De modules van NLT zijn dan ook bijna allemaal schoolvoorbeelden van centrale contexten, dat wil zeggen van inhoudselectie vanuit één context in combinatie met een uitwerking die de verbinding van de concepten met die context ook steeds laat zien.

Curriculaire uitdagingen

Voor po/so kunnen lesvoorbeelden die al ontwikkeld zijn nader gekarakteriseerd worden in varianten van de concept-contextbenadering, wellicht aangevuld met ideaaltypische voorbeelden van andere varianten. Als suggestie voor verder ontwikkelwerk in het vo hebben uitgevers en lerarenopleiders in gesprekken over de verschillende kwadranten van het concept-contextvenster (Bruning & Michels, 2013) al aangegeven dat ideaaltypische voorbeelden van lesmateriaal bij elk van de kwadranten uit het concept-contextvenster welkom zijn. De gesprekken hierover gingen vooral over de bovenbouw vo, maar deze suggestie geldt ook voor de onderbouw vo. Deze voorbeelden zijn verzameld en ontsloten op de SLO-website (Sanders & Pieters, 2016). Op www.e-cent.nl worden in het dossier *concept-contextbenadering* deze en andere voorbeelden toegelicht, aangevuld met diverse beschouwingen en literatuurverwijzingen. Deze vormen van ontsluiting moeten actief onder de aandacht van leraren en auteurs gebracht worden in handreikingen en in activiteiten voor professionalisering.

Uitgevers gaven verder aan dat zij prijs stellen op inzicht in de waardering door docenten én leerlingen van verschillende varianten van de concept-contextbenadering en dit ook zouden gebruiken in nieuwe of herziene methodes. Dit vraagt om specifiek onderzoek dan de literatuur tot nu toe oplevert, al zegt die er al wel iets over, zoals hierboven al genoemd. Uit contacten met uitgevers en auteurs van materiaal voor de tweede fase blijkt inderdaad dat - zoals al vermeld - de detaillering van concepten in de syllabi hen voor een benadering vanuit een 'centrale context' bij CE-onderwerpen in de weg staat. Zo'n benadering, waarbij de concepten die aan de orde komen voortvloeien uit de gekozen context, kan makkelijker gevolgd worden vanuit de globaal omschreven eindtermen voor het schoolexamen. Voor die mogelijkheid is dus blijvend voldoende ruimte voor SE-onderwerpen gewenst. Dit is een belangrijk punt in de discussies over detaillering van eindtermen en reikwijdte van centrale examinering. Ook kan dit een rol spelen in de herziening van de kerndoelen voor po en vo-onderbouw.

Uit gebruikersonderzoek (mondeling door uitgevers gerapporteerd) en contacten van SLO-collega's met docentontwikkelteams komt naar voren dat, ook als schoolboeken een variëteit aan concept-contextbenaderingen aanbieden, leraren bij het gebruik ervan in de klas vaak kiezen voor de veilige route van een sterk conceptuele ordening, hier en daar verlevendigd met een illustratieve context. Vanuit uitgevers, lerarenopleiders en steunpunten is behoefte aan oefenmateriaal ten behoeve van lerarenopleiding en verdere professionele ontwikkeling. Dat oefenmateriaal hoeft niet allemaal nieuw ontwikkeld te worden; het kan ook bestaan uit een andere schikking van beschikbaar materiaal, met een goede begeleidingsaanpak in opleiding en professionele ontwikkeling (zie bijvoorbeeld Janssen, Westbroek, Doyle, & Van Driel, 2013). Ook de discussie over het Curriculum van de toekomst laat de behoefte aan goede uitwerkingen van contextrijk vakonderwijs zien. In die discussie (met name in Onderwijs2032/Curriculum.nu) leggen veel mensen en organisaties nadruk op samenhang tussen de vakken en leergebieden. Tegelijk wordt ook het belang van diepgang van vakken of leergebieden onderstreept. Leren in contexten maakt het mogelijk vakoverstijgende vragen uit realistische contexten vanuit verschillende vakspecifieke invalshoeken met voldoende diepgang voor elk vak te benaderen (zie ook de eerder beschreven ontwikkeling 'Interdisciplinariteit en samenhang').

Kennis over wetenschap

Ontwikkelingen

Natuurwetenschappelijke kennis ontwikkelt zich snel. Leerlingen die bijvoorbeeld over twintig jaar een rol in natuurwetenschap of techniek zullen spelen, moeten nu op school leren hoe je natuurwetenschap beoefent en welke rol deze, met haar technologische toepassingen, in de samenleving speelt. Daarnaast blijft kennis van begrippen, feiten en regels onverminderd relevant. Aansluitend bij een zevental *curriculum emphases*

(min of meer vertaald als *curriculumaccenten*) voor *science education* die Roberts (1982) onderscheidt, heeft Van Berkel (2005) voor scheikunde een driedeling gemaakt in Fundamentele natuurwetenschap (FN), Kennisontwikkeling in de natuurwetenschap (KN) en Natuurwetenschap, technologie en samenleving (NTS). De Putter (2012) heeft deze driedeling verbreed naar de natuurwetenschappen in het algemeen. Sinds de jaren '70 van de vorige eeuw laten vernieuwingen van de beoogde curricula in binnen- en buitenland zien, dat men de traditioneel sterk benadrukte FN (met name kennis van natuurwetenschappelijke theorieën) wil aanvullen met KN en NTS (kennis over). De meest recente internationale uitingen in het kader van deze trend, die ook in Nederland zijn geadopteerd, zijn de *21st century skills* en het Curriculum Framework PISA 2015 (www.oecd.org/pisa) - respectievelijk bij de vaardigheid Kennisconstructie en bij de kennisgebieden *Procedural knowledge* en *Epistemic knowledge*.

In het door SLO ontwikkelde leerplanvoorstel W&T po/so (Van Graft et al., 2016) worden houdingen, vaardigheden en kennis onderscheiden. Naast de vaardigheden onderzoeken en ontwerpen, die zijn uitgewerkt in leerlijnen, worden onderliggende vaardigheden beschreven, onder andere het hanteren van denkwijzen. Die denkwijzen komen grotendeels overeen met de denkwijzen in het leerplanvoorstel N&T onderbouw vo (Ottevanger et al., 2014). Bij de natuurwetenschappelijke vakken in de tweede fase benoemen de eindtermen in het A-domein (vaardigheden) in de examenprogramma's deze aspecten. In elk van de vakken zijn domeinen aan te wijzen die KN en NTS mogelijk maken. Mogelijkheden voor uitwerking van het curriculum worden zichtbaar gemaakt in de handreikingen voor het schoolexamen. Dat geldt nog sterker voor de vakken ANW en NLT, die elk op hun eigen wijze op maat gesneden zijn voor de curriculumaccenten KN en NTS.

Bij PISA 2015 is kennis over wetenschap zeer belangrijk, aangeduid als 'procedurele kennis' (over het opzetten en uitvoeren van wetenschappelijk onderzoek) - en 'epistemische kennis' (over de processen en concepten die een rol spelen bij de constructie van kennis in de wetenschap). Op havo en vwo scoren leerlingen significant beter op deze categorieën dan op vakinhoudelijke kennis; op vmbo bb en kb is dat juist andersom (Van der Hoeven et al., 2017). Op de meeste schooltypes is de score op kennis over wetenschap ook meer gedaald dan de score op vakinhoudelijke kennis.

Ook aandacht voor redeneren en verschillende soorten van vakmatig denken lijkt ruimte te bieden voor werkwijzen en denkwijzen in de natuurwetenschappen. SLO is de mogelijkheden die de vaardigheden in de programma's bieden als bijdrage aan kennis over wetenschap aan het uitwerken in voorbeeldles- en toetsmateriaal, vooral over redeneervaardigheden. Daarmee wordt aangesloten bij de examenprogramma's voor

vmbo en voor havo/vwo, die in de A-domeinen (die verschillende inhoudsdomeinen overkoepelen) uitwerkingen bieden van de vaktaal waarvan bij oriëntatie op kennis over wetenschap gebruik kan worden gemaakt.

In de Nederlandse lespraktijk (uitgevoerde curriculum) winnen de categorieën KN en NTS terrein, maar in de strijd om de schaarse uren delven zij nog vaak het onderspit. De kloof tussen beoogd en uitgevoerd curriculum wordt verwoord in de perceptie bij veel leraren dat wetenschapsfilosofische en historische inhoud ten koste gaat van «echte» scheikunde, natuurkunde en biologie. Tegelijkertijd laat onderzoek van Van Driel, Bulte en Verloop (2008) zien dat, zeker voor het vwo, veel scheikundeleraren kennis over de aard van de scheikunde een belangrijk onderdeel van hun vak vinden. Voor de andere natuurwetenschappelijke vakken is dergelijk onderzoek niet bekend. Wel zijn er aanwijzingen voor te vinden in de tussenevaluatie van de invoering van de natuurwetenschappelijke examenprogramma's havo/vwo (Folmer, Ottevanger, & Kuiper, 2015). Gevraagd naar de aandacht voor de wetenschapsfilosofische en historische aspecten van hun vak (ANW-aspecten), geeft de meerderheid van de respondenten van alle drie de vakken aan dat zij aan deze aspecten in enkele lessen aandacht besteden. Daarbij:

- krijgt bij biologiedocenten de vraag hoe wetenschappelijke kennis gebruikt wordt de meeste aandacht; bij 37% van de docenten in een kwart of meer van de lessen;
- krijgen bij natuurkundedocenten de vragen hoe wetenschappelijke kennis gebruikt wordt en hoe wetenschappelijke kennis tot stand komt de meeste aandacht, door 40% van de docenten respectievelijk 19% van de docenten in een kwart of meer dan de helft van de lessen;
- krijgt bij scheikundedocenten de vraag hoe wetenschappelijke kennis gebruikt wordt de meeste aandacht; door 25% van de docenten in een kwart of meer dan de helft de lessen.

Aandacht voor KN en NTS speelt een rol in alle vakken die een wetenschappelijke achtergrond hebben en/of (zoals het taalonderwijs) een methodische aanpak ontwikkelen. Die rol is duidelijk af te lezen in de analyse van inpassingsmogelijkheden van ANW-inhoud in andere vakken, onder de brede noemer *wetenschapsoriëntatie* (zie www.wetenschapsoriëntatie.slo.nl voor een overzicht). De interesse van vooral vwo-scholen voor wetenschapsoriëntatie als vakoverstijgend thema blijkt uit de grote deelname van schoolleiders aan de conferentie *De w van vwo*, die de KNAW in november 2015 voor de derde keer sinds 2011 organiseerde, in samenwerking met onder andere de VO-Raad en SLO. Bij die conferentie bleek ook dat enkele scholen uit het netwerk van de WON Academie actief zijn.

Curriculaire uitdagingen

Kennisontwikkeling in de natuurwetenschap (KN) en Natuurwetenschap, technologie en samenleving (NTS) hebben, zoals gemeld, een duidelijke plaats in curriculumdocumenten voor N&T. Voor het accent NTS is een versterking van aandacht in lesmateriaal te zien, met de verschillende uitwerkingen van de concept-contextbenadering, vooral bij contexten als ordenend principe of als startpunt voor leerstofselectie (‘verbindende’ of ‘centrale’ context; zie Bruning & Michels, 2013). De concept-contextbenadering draagt in de methoden maar in geringe mate bij aan het curriculumaccent KN; die blijft daarin veelal beperkt tot enkele historische contexten. Doordat de betekenis van concepten in verschillende contexten verschilt, ook in de tijd, kan het volgen van die betekenis bijdragen aan meer kennistheoretisch inzicht in kennisontwikkeling in de natuurwetenschap. Behalve in de concept-contextbenadering liggen er kansen bij activiteiten van leerlingen in onderzoeken, ontwerpen en modelleren. Bij zulke uitwerkingen kan gebruik worden gemaakt van de resultaten van vakdidactisch onderzoek naar de kwaliteit van onderzoek door leerlingen (Van der Jagt, 2016; Van der Valk e.a., 2005; Schalk, 2006). Dergelijke activiteiten staan onder druk van de altijd dreigende overladenheid, zeker in de tweede fase. In het po staat de nadruk op taal- en rekenen/wiskunde aandacht voor W&T, en zeker ook voor KN en NTS, in de weg. Bovendien is er bij deze onderwerpen sprake van handelingsverlegenheid van veel leerkrachten. Vervolgens is voor een goede behandeling van KN en NTS ook reflectie en verbreding nodig, om van eigen ervaringen tot inzicht in onderzoeken, ontwerpen en modelleren als activiteit van de natuurwetenschap als geheel te komen. Ook de stap naar toetsing is van belang, maar die wordt, met name bij centrale examens, niet zo makkelijk gemaakt, vooral omdat het verschil tussen goede en foute antwoorden op deze gebieden lastiger te maken is dan bij strikt natuurwetenschappelijke vragen. Docenten en ontwikkelaars kunnen hiervoor te rade gaan bij andere vakken, waarin men meer ervaring heeft met vragen waarop de antwoorden die niet altijd duidelijk goed of fout zijn.

Vaardigheden

Ontwikkelingen: 21e eeuwse vaardigheden

De samenleving waarin we leven ondergaat een transformatie. Dat betekent niets nieuws onder de zon als we terugkijken in de tijd. Het dichtstbij op de tijdlijn liggen verschuivingen van landbouw- naar de industriële samenleving en vervolgens naar de huidige kennis- of informatiesamenleving. Deze maatschappelijke veranderingen hebben in elk geval één gemeenschappelijk kenmerk: ze hebben enorme invloed op de manier waarop we leven, leren en werken. Vanwege de impact worden deze overgangperiodes ‘industriële revolutie’ en ‘digitale revolutie’ genoemd (Lamers & Van den Oetelaar, 2012). Volgens het *World Economic Forum* (2016), een internationale denktank van bedrijven, academici en politici, zitten we midden in de ‘vierde industriële revolutie’. Daarin gaat

het onder andere om ontwikkelingen in de genetica, kunstmatige intelligentie, robotica, nanotechnologie, 3D-printen en biotechnologie. Maar vooral ook om de toenemende informatisering (waarbij het verwerven en kanaliseren van informatie belangrijker is dan het produceren van goederen) en de integratie van machines met internet.

Globalisering, de toename van de rol van technologie, de nadruk op ICT en (het verwerken van) informatie, maar ook de toenemende individualisering van de maatschappij verlangen andere vaardigheden van leerlingen, nu en in de toekomst. Thijs, Fisser en Van der Hoeven (2014) hebben vrij recentelijk een onderzoek uitgevoerd naar de mate van aandacht voor en integratie van 21e eeuwse vaardigheden in het po en de onderbouw vo. Vaardigheden die worden onderscheiden zijn : ICT-(basis)vaardigheden, mediawijsheid, informatievaardigheden, *computational thinking* (deze samen zijn de digitale vaardigheden), creatief denken en handelen, probleemoplossend denken en handelen, kritisch denken, zelfregulering, sociale en culturele vaardigheden, en communiceren en samenwerken. Uit het onderzoek blijkt dat deze 21e eeuwse vaardigheden nog weinig doelgericht en structureel aan de orde komen in het onderwijs. Er is beperkte aandacht voor de vaardigheden in landelijke leerplankaders en in reguliere methodes komen ze weinig substantieel en systematisch voor. Vooral creatief en probleemoplossend denken en handelen en digitale geletterdheid zijn nog weinig uitgewerkt. Dit zijn ook de vaardigheden waarvan leraren aangeven behoefte te hebben aan meer kennis en inzicht in wat deze vaardigheden concreet inhouden en aan lesmaterialen voor concrete houvast in de praktijk.

In het eindadvies van het Platform Onderwijs2032 (2016) wordt gepleit voor onderwijs waarin aandacht is voor 21e eeuwse vaardigheden, als vaste basis voor alle leerlingen. De samenleving en de arbeidsmarkt doen een steeds groter beroep op beheersing van vaardigheden die niet zijn gebonden aan een specifiek vak. Leerlingen hebben ze nodig om in de maatschappij te kunnen functioneren, ter ondersteuning van een leven lang leren en de vorming van hun persoonlijkheid. De volgende vijf vaardigheden worden daarbij genoemd: leervaardigheden, creëren, kritisch denken, probleem oplossen en samenwerken. Ook N&T is een leergebied waarin 21e eeuwse vaardigheden een plaats kunnen krijgen. In het leerplanvoorstel W&T po/so (Van Graft e.a., 2014) komen de 21e eeuwse vaardigheden nadrukkelijk en ruimschoots aan de orde. In de onderbouw vo is er in het leergebied mens en natuur ruimte voor 21e eeuwse vaardigheden, zowel in de kerndoelen als in de 'geïntegreerde' methode. In het leerplanvoorstel N&T voor de onderbouw vo (Ottevanger et al, 2014) zijn 21e eeuwse vaardigheden uitgewerkt in werkwijzen, die op hun beurt weer in combinatie met denkwijzen en vakinhouden gepresenteerd worden. In de bovenbouw vmbo schenken scholen aandacht aan vaardigheden die voorbereiden op de benodigde mbo-vaardigheden. Deze vaardigheden

beschrijven de competenties die leerlingen nodig hebben om de vereiste werkprocessen te kunnen uitvoeren. In de nieuwe bètavakken in de tweede fase zijn de vaardigheden in domein A voor alle bètavakken identiek uitgewerkt en krijgen ook die aandacht in de beschikbare methodes, 21e eeuwse vaardigheden als informatievaardigheden, communiceren, redeneervaardigheden, digitale geletterdheid en problemen oplossen daarbij inbegrepen.

Curriculaire uitdagingen op het terrein van 21e eeuwse vaardigheden

Bij de implementatie van de 21e eeuwse vaardigheden in het N&T-domein doet zich een aantal curriculaire uitdagingen voor:

- Hoe deze vaardigheden te integreren en zichtbaar te maken in het curriculum?
- Hoe te komen tot doorlopende leerlijnen voor 21e eeuwse vaardigheden?
- Hoe deze vaardigheden te toetsen?
- Hoe docenten te professionaliseren met het oog op verwerking van 21e eeuwse vaardigheden in de lespraktijk (Voogt & Pareja Roblin, 2012).

Ontwikkelingen: modelleren en modelgebruik als natuurwetenschappelijke werk- en denkwijze

Modelleren (en modelgebruik) is naast onderzoeken en ontwerpen een van de belangrijke natuurwetenschappelijke werk- en denkwijzen. Ook in andere vakgebieden, zoals kunst en economie, speelt modelleren een belangrijke rol. Met de komst van computers met grote rekenkracht zijn de mogelijkheden en het belang van modelleren als wetenschappelijke activiteit alleen maar toegenomen. Bij modelleren kunnen we onderscheid maken tussen het ontwikkelen en gebruiken van een tastbaar (al dan niet geschaald), een conceptueel en een wiskundig, (al dan niet) dynamisch model. Voorbeelden zijn torso's, stroomschema's en klimaatmodellen. Redeneren met behulp van modellen en ontwikkelen van modellen vormen belangrijke hogere orde denkvaardigheden en maken deel uit van een curriculum dat 21e eeuwse vaardigheden centraal stelt (OECD, 2008, 2009). Modelleren past goed in onderwijs waarin meer nadruk gelegd wordt op metacognitieve vaardigheden of denkvaardigheden. Het is namelijk bij uitstek een activiteit waarbij leerlingen probleemoplossende vaardigheden leren en gebruik maken van ICT als doel en als middel. Daarnaast is modelleren uitermate geschikt als activiteit binnen concept-contextonderwijs (Savelsbergh, 2008).

Internationaal wordt het belang van modelleren in het onderwijs ruim onderkend. In de Verenigde Staten bijvoorbeeld maakt modelleren deel uit van de zeven werk- en denkwijzen in de *Common Core State Standards* en de *Next Generation Science Standards* (Pratt, 2013; zie ook www.nextgenscience.org). In Nederland is modelleren opgenomen in de leerplanvoorstellen voor W&T po/so (Van Graft, et al., 2016) en voor N&T

onderbouw vo (Ottevanger et al., 2014). In po en onderbouw vo gaat het daarbij meer om modelontwikkeling en -gebruik dan om dynamisch modelleren. In de tweede fase is er met de vernieuwing van de natuurwetenschappelijke vakken, de wiskundeprogramma's en economie meer nadruk komen te liggen op (het belang van) modelleren als werk- en denkwijze. Bij wiskunde wordt modelleren als een van de zes belangrijkste vaardigheden genoemd in de examenprogramma's die vanaf augustus 2015 van start zijn gegaan (cTWO, 2012). Probleemoplossen, abstraheren en modelleren zouden daarbinnen leidend moeten zijn (Drijvers, 2015). In het bètaonderwijs maakt modelleren in de nieuwe examenprogramma's deel uit van de vaardigheden in domein A. In het centraal examen vwo natuurkunde 2015 en 2016 is de vaardigheid van het lezen en aanpassen van een model getoetst. Meer aandacht voor modelleren in het uitgevoerde curriculum kan bijdragen aan het vormgeven van uitdaging 1 in de OCW kennisagenda 2015: Optimaal voorbereiden op de toekomstige kennissamenleving (Ministerie OCW, 2014).

Curriculaire uitdagingen op het terrein van modelleren en modelgebruik als natuurwetenschappelijke werk- en denkwijze

Uit een onderzoek onder leraren en leerlingen in de tweede fase (Michels, Bruning, Folmer, & Ottevanger, 2014) blijkt dat de vaardigheid modelleren als activiteit nauwelijks aan bod komt in de schoolpraktijk. Leraren hebben in hun eigen opleiding destijds geen ervaring op gedaan met (met name dynamisch) modelleren. Voor leraren is het werk maken van modelleren in de klas een extra uitdaging. Binnen verschillende vaksteunpunten hebben leraren zich binnen een docentontwikkelteam bezig kunnen houden met de didactiek van het modelleren. Hoewel er steeds meer expertise komt, is er onder leraren nog wel sprake van een handelingsverlegenheid. Voor het bètaonderwijs in de tweede fase adviseert Savelsbergh (2008) om (dynamisch) modelleren uit te werken in de hieronder genoemde doelstellingen:

- De leerling kan een realistische contextsituatie analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren en het model toetsen en beoordelen.
- De leerling kan bij het oplossen van een modelleerprobleem gebruikmaken van passende modelleersoftware.
- De leerling kan weergeven hoe modellen ontwikkeld worden, hoe ze gebruikt worden bij verklaren en voorspellen, hoe ze getoetst worden, en wat mogelijkheden en beperkingen zijn van computermodellen bij het vinden van modeluitkomsten.

Er is daarbij behoefte aan zowel een vakoverstijgende als een vakspecifieke doorlopende leerlijn voor modelleren in po en vo. In de tweede fase gaat het met name om het dynamisch modelleren en het uitwerken van een vakoverstijgende en doorlopende leerlijn voor de hierboven genoemde doelstellingen. Daarnaast is er - vanwege de geconstateerde handelingsverlegenheid onder docenten - binnen verschillende vakken behoefte aan

concrete voorbeelden van lesactiviteiten en een nascholingsaanbod voor verschillende vakken, zoals voor economie, aardrijkskunde en de bètavakken.

Toetsing

Ontwikkelingen op het terrein van formatieve toetsing

Formatieve toetsing of formatief evalueren, beide ook wel aangeduid als *assessment for learning*, wordt als verzamelterm gehanteerd voor alle toetsingsinstrumenten, activiteiten en procedures die gebruikt kunnen worden om het leerproces van leerlingen te ondersteunen (zie het hoofdstuk over toetsing elders in deze Curriculumspiegel). Naast de enorme aandacht voor summatieve toetsing (om de opbrengsten van het leerproces in kaart te brengen) via proefwerken, schoolexamens, centrale examens en internationale toetsing zoals TIMSS en PISA is er meer en meer aandacht voor formatieve toetsing, als onderdeel van het leerproces (zie bijvoorbeeld Van den Berg & Westbroek, 2014; Castelijns, Segers, & Struyven, 2015; Noteboom, 2013).

Tien principes voor formatieve toetsing zoals geformuleerd door de *Assessment Research Group* (ARG, 2002) benadrukken onder meer formatieve toetsing als een centraal onderdeel van klassenpraktijk, als een belangrijke professionele vaardigheid van leraren alsook het belang voor motivatie van leerlingen en het ontwikkelen van het vermogen van leerlingen om zichzelf te beoordelen (*self-assessment*) en te reflecteren. Formatief toetsen bevordert ook het leergedrag in die zin dat het leren niet alleen aan het eind voor een schriftelijke toets wordt geconcentreerd, maar juist gespreid over een langere periode. Zwakke en sterke punten worden voor de leerlingen sneller duidelijk (Saab, 2014). Daarnaast wordt formatieve toetsing vaak ook verbonden met het geven van feedback aan leerlingen (zie bijvoorbeeld de uitgebreide review van Hattie en Timperley, 2007), met *self-assessment* en *peer learning*. Dit sluit aan bij de suggesties van Wiliam en Thompson (Nilsson & Loughran, 2013) die vijf strategieën voor effectieve formatieve toetsing hebben ontwikkeld:

- verheldering leerdoelen en delen van *criteria for success*;
- ontwikkeling van effectieve klassendiscussie, vragen en opdrachten die leeropbrengsten laten zien;
- geven van feedback om leerlingen verder te brengen;
- activeren van leerlingen als eigenaar van hun eigen leren;
- activeren van leerlingen als peer instructeur.

Ook in het eindrapport van het Platform Onderwijs 2032 (2016) wordt het belang van formatieve toetsing benadrukt. Het sluit ook aan bij het pleidooi van het Platform om niet alleen aandacht te schenken aan wat meetbaar is, maar ook aan wat 'merkbaar' is. Daarbij gaat het bijvoorbeeld om de verantwoordelijkheid die leerlingen hebben genomen, de

betrokkenheid die ze hebben getoond, het zelfvertrouwen dat ze hebben ontwikkeld en ervaringen die ze hebben opgedaan (ook buiten de school). Dergelijke merkbare in plaats van meetbare kwaliteiten moeten op een andere manier worden gewaardeerd.

Curriculaire uitdagingen op het terrein van formatieve toetsing

De aandacht voor 21e eeuwse vaardigheden en procesmatige onderwijsbenaderingen (zie 'Kennis over wetenschap' hierboven), waarbij de ontwikkeling van houdingen, denk- en werkwijzen belangrijke onderdelen zijn van de leerinhoud, vraagt om formatieve toetsing. Voor de algemene kenmerken van effectieve formatieve toetsing geeft de reviewstudie van Sluijsmans, Joosten-ten Brinke en Van der Vleuten (2013) aanknopingspunten. Voor het natuurwetenschappelijke domein laten Van den Berg en Westbroek (2014) zien hoe formatieve toetsing via snelle *concept checks* met korte vragen, een grafiek of een schets vormgegeven kan worden. Voorbeelden van dit soort concept checks zijn: *Zet op volgorde van klein naar groot: cel, gen, chromosoom, atoom* (Van den Berg & Westbroek, 2014) en *Which one is the odd-one-out – bird, cat, fish, elephant? Why?* (in Black, 2013). Voor het in kaart brengen van de 'niet meetbare maar wel merkbare' resultaten van onderwijs, zowel summatief als formatief, zullen mogelijkheden verzameld, ontwikkeld en beschikbaar gemaakt moeten worden. Dit is een nog grotendeels onontgonnen terrein, al zijn er enkele aanzetten. 'Merkbare' zou kunnen worden uitgewerkt in termen van observeerbaar gedrag of een prestatie. Uit een eerste onderzoek dat Cito met Platform Midden Nederland in 2008 op een aantal vmbo scholen heeft gedaan, blijkt dat bij een vaardigheid als samenwerken leraren en leerlingen na enige oefening tot een behoorlijke overeenstemming kwamen over hoe gevorderd iemand was in samenwerken. Deze vaardigheid was uitgewerkt met concrete gedragsindicatoren en een vierpuntschaal. Een en ander was gebaseerd op de Protocol Portfolio Scoring van Straetmans (zie <http://www.toetswijzer.nl/html/literatuur/pps.pdf>).

Daarnaast is het belangrijk om te investeren in de toerusting van leraren. Die toerusting betreft het kunnen inzetten van formatieve toetsingsinstrumenten en -procedures en het kunnen benutten van toetsgegevens ter ondersteuning en inrichting van het verdere leerproces van leerlingen. Ook is het belangrijk oog te hebben voor de inhoudelijke afstemming tussen toetsing en curriculum en voor de implicaties van formatieve toetsing voor curriculumbeslissingen op klas- en schoolniveau.

Ontwikkelingen op het terrein van toetsing van vaardigheden

Als vaardigheden belangrijker worden, neemt ook het belang van de toetsing ervan toe. Die trend is ook zichtbaar in internationale onderzoeken als PISA en TIMSS, waarin meer aandacht voor vaardigheden is. Dat lijkt een kentering ten opzichte van de kleinere plaats die toetsing van vaardigheden in de schoolexamens voor de natuurwetenschappelijke

vakken kreeg vanaf 1997. Want hoewel vaardigheden nog steeds onderdeel vormen van de examenprogramma's, zijn toen de voorschriften vervallen met betrekking tot het aandeel van vaardigheidstoetsen in de schoolexamens. Dat leidde op scholen tot een afname van het aantal practica in de lessen (Van Goor & Den Hertog, 2001). In een enquête in het kader van de kwaliteit van schoolexamens in 2013 meldde echter ongeveer de helft van de biologiedocenten dat ze veel vaardigheden regelmatig toetsen, met uitschieters naar boven (informatie- en onderzoeksvaardigheden, vaardigheden met betrekking tot het wisselen van organisatieniveau) en naar beneden (ontwerpvaardigheden en vaardigheden rond studie en beroep). In Engeland is er sprake van toenemende kritiek op het huidige systeem waarin veel praktische vaardigheden in streng gereguleerde *School Based Assessments* getoetst worden. De trend is daar een van afnemende regeldruk (zie onder andere Evans, 2013; Watts, 2013), zodat er meer ruimte komt om van practica te leren. In het kader van de vernieuwingen van de examenprogramma's voor de tweede fase wordt in het DUDOC-programma onder andere onderzoek gedaan naar het (zelf) beoordelen van vaardigheden voor het doen van onderzoek (Van der Jagt, Van Rens, Schalk, Pilot & Beishuizen, 2013).

De grotere aandacht voor het toetsen van vaardigheden beperkt zich echter niet tot practicumvaardigheden. Ook hogere denkvaardigheden zoals redeneren worden expliciet benoemd in de examenprogramma's. Deze vaardigheden worden deels getoetst in de centrale examens. Cito doet op dit moment onderzoek naar een classificatie van de examenopgaven volgens enkele veel gehanteerde gedragstaxonomieën. Uit een eerste analyse blijkt dat examens ook opgaven bevatten die een beroep doen op hogere ordevaardigheden zoals analyseren, evalueren en creëren.

Er lijkt in het onderwijs ook meer oog voor een geïntegreerde aanpak van leren en toetsing. In de Verenigde Staten leggen de nieuwe *Next Generation Science Standards* (National Research Council, 2012) de nadruk op integratie van kernbegrippen (*Core ideas*), denkwijzen (*Crosscutting Concepts*) en werkwijzen (*Practices*) van de natuurwetenschappen. Het leerplanvoorstel N&T onderbouw vo (Ottevanger e.a., 2014) bouwt voort op dit gedachtegoed. Het '*driedimensionale leren*' dat hierbij hoort, wordt ook voor de toetsing bepleit (National Research Council, 2014). Toetsing zou zich op meer aspecten moeten richten dan kennis en praktische vaardigheden. Om te bepalen in hoeverre leerlingen zich de kernbegrippen, denk- en werkwijzen van de natuurwetenschappen eigen hebben gemaakt, zou een mix van verschillende toetsinstrumenten moeten worden ingezet. Ook in Nederland krijgt breder evalueren steeds meer aandacht (Castelijns et al., 2011; Joosten-ten Brinke, 2011; Sluijsmans, 2008). In het beroepsonderwijs heeft het beoordelen van competenties op basis van portfolio's vaste grond onder de voeten gekregen (Oosterheert, Van Eldik, & Kral, 2007). In havo en vwo staat dat nog in de kinderschoenen. Een voorloper

op dat terrein zijn de technasia waar naast gebruik van portfolio's (Ketelaar, 2013) ook op andere manieren geïntegreerde toetsing van opgedane kennis, vaardigheden en professionele ontwikkeling plaatsvindt (Schalk & Bruning, 2014). Daarbij is aandacht voor evenwicht tussen het beoordelen van proces en product en tussen beoordelen van het geheel en de delen.

Curriculaire uitdagingen op het terrein van toetsing van vaardigheden

Meer aandacht voor vaardigheden betekent meer ruimte ervoor in de lessen, ze explicieter onderwijzen en ze explicieter beoordelen. Om het belang ervan te onderstrepen zou een (nog) explicietere vermelding van vaardigheden in doelen, examenvoorschriften en PTA's wenselijk zijn. Maar leraren vinden het toetsen van vaardigheden vaak lastig. Hoewel er op veel scholen een praktijk gegroeid is van bijvoorbeeld het beoordelen van praktische opdrachten en profielwerkstukken, blijven leraren onderzoeksvaardigheden noemen als meest moeilijk te beoordelen categorie vaardigheden waarbij ze graag ondersteuning zouden willen. SLO werkt aan die ondersteuning door gebenchmarkte beoordelingsinstrumenten op te stellen, zodat docenten kunnen zien wat hun collega's op dit punt doen en belangrijk vinden. Zij kunnen dan een gefundeerde keuze maken voor welke criteria zij zelf gebruiken in verschillende fasen van het leerproces. Andere voor ondersteuning van docenten hoog scorende vaardigheden zijn redeneren, reflecteren en waarderen. Ook daarvoor lijkt een soortgelijke aanpak gewenst. SLO werkt aan een 'SPA+', een systematische probleemaanpak voor redeneren, die ook als basis kan dienen voor de beoordeling ervan. Met betrekking tot de denk- en werkwijzen uit het leerplanvoorstel N&T voor de onderbouw vo zou ingezet moeten worden op het ontwikkelen van (voorbeelden van) de genoemde mix van toetsvormen.

Techniek en technologie

Ontwikkelingen algemeen

Techniek en technologie worden vaak in één adem genoemd. Toch is het belangrijk te benadrukken wat het verschil is. Techniek gaat over oplossingen voor problemen en voor behoeften die we als mens nodig hebben om te overleven, zoals gebruiksvoorwerpen en etenswaren. Technologie is de wetenschap van techniek en richt zich op innovatie waarbij kennis uit verschillende takken van de wetenschap wordt gebruikt (zie wetenschapentechnologie.slo.nl/over-wetenschap-en-technologie/technologie-vs-techniek).

Techniek en technologie spelen een grote rol in de moderne samenleving. In het dagelijkse leven gebruiken we technologie bijvoorbeeld om voedsel te bereiden en te conserveren, het huis te verwarmen, te communiceren met anderen, ons te verplaatsen en gezond te blijven. Ook op de werkvloer wordt veel technologie gebruikt. Zonder energievoorziening,

communicatietechnologie en medische technologie zou de samenleving er heel anders uitzien. In de moderne samenleving is kennis over techniek en technologie van belang voor elke burger: bij het aanschaffen en gebruiken van producten, maar ook om mee te kunnen praten en beslissen over technische ontwikkelingen die grote gevolgen kunnen hebben voor de toekomst, zoals voor het klimaat, het milieu, de gezondheid en de beschikbaarheid van grondstoffen en energie. Ons land heeft ook veel deskundige mensen nodig om technologie te ontwikkelen, toe te passen en te onderhouden.

Ontwikkelingen in po/so

In alle sectoren van het onderwijs is er toenemende aandacht voor techniek en technologie. Voor het po heeft het ministerie van OCW met het TechniekPact afgesproken dat basisscholen in 2020 structureel W&T aanbieden en dat leerkrachten beter zijn toegerust op het aanbieden van W&T. In totaal zijn twaalf doelen geformuleerd, waaronder meer vo-leerlingen die kiezen voor een bètatechnisch profiel en scholen en bedrijven die regionaal onderwijsaanbod en stageplaatsen afstemmen (<http://www.techniekpact.nl/doelen>). Vanuit curriculair perspectief zijn er diverse initiatieven die invulling geven aan de ambities van het TechniekPact, zoals de al genoemde leerplanvoorstellen W&T po/so en N&T onderbouw vo, het in ontwikkeling zijnde vak T&T bovenbouw vmbo, alsmede de tweede fase vakken NLT en O&O. Daarnaast zijn de VO-HO netwerken ook belangrijk voor de afstemming en samenwerking van vo met en tussen bètatechnische docenten van hogescholen en universiteiten.

In 1993, 1998 en 2006 zijn voor het po/so kerndoelen geformuleerd die betrekking hebben op techniek. Onderwerpen die daarin genoemd worden zijn:

- materialen: eigenschappen gerelateerd aan toepassingen;
- voorwerpen: vorm gerelateerd aan functie en werking;
- energiebronnen en gebruik: verwarming, verlichting, beweging en in apparaten;
- technische inzichten (constructieprincipes, bewegings- en overbrengingsprincipes): ontwikkelen en toepassen;
- veilig gebruik van stoffen;
- onderzoeken aan materialen en voorwerpen, en aan natuurkundige verschijnselen zoals licht, geluid, elektriciteit, kracht, magnetisme, temperatuur;
- oplossingen ontwerpen voor problemen en deze uitvoeren (producten);
- meetinstrumenten en gereedschap: toepassen en gebruiken.

Vanaf 1998 is de formulering van de kerndoelen globaler geworden om ruimte te creëren voor leraren. Onderwerpen worden niet allemaal even expliciet genoemd en benoemd. Leraren kunnen zich echter laten inspireren door voorbeeldmatige uitwerkingen van de kerndoelen in tussendoelen en leerlijnen (tule.slo.nl) en methodes voor natuur- en techniekonderwijs. Ook zijn er in de periode 2000 - 2016 subsidieregelingen geweest voor nascholing van leraren po op dit gebied en voor de aanschaf van materialen. Sinds 2005

hebben de vaardigheden onderzoeken en ontwerpen meer aandacht gekregen. Beide vaardigheden zijn uitgewerkt in het leerplanvoorstel W&T po/so (Van Graft et al., 2016). Daarin wordt de verbinding gemaakt tussen wetenschap en de wereldoriënterende vakken (biologie, natuurkunde en techniek, aardrijkskunde, geschiedenis). W&T-onderwijs bestaat uit drie componenten:

- kennis: inhoud van genoemde vakken; het proces van onderzoeken en ontwerpen;
- houdingsaspecten: waaronder innovatief, creatief; verwondering en nieuwsgierigheid;
- vaardigheden: waaronder onderzoeken en ontwerpen, met als onderliggende vaardigheden observeren en meten, denkwijzen hanteren, zoals oorzaak-gevolg, vorm-functie, materialen en gereedschap gebruiken.

Bij W&T-onderwijs maken kinderen ook gebruik van basisvaardigheden rekenen/wiskunde (Van Graft, Klein Tank, Tolboom, & Van Zanten, 2016; Jonker & Wijers, 2016) en taal (TechYourFuture, Platform Bèta Techniek, Expertisecentrum Techniek, Nederlands, 2016). Ook opleidingen hebben W&T opgenomen in hun curriculum om aankomende leraren er vertrouwd mee te maken.

Ontwikkelingen in onderbouw vo

In het leerplanvoorstel N&T onderbouw vo (Ottevanger et al., 2014) wordt beschreven wat de doelen kunnen zijn van het vak techniek in de onderbouw. Aangegeven wordt dat het vooral gaat om onderwijs *over* techniek. Daarom wordt gebruikt gemaakt van de term 'technologie' in plaats van 'techniek'. Bij technologie gaat het om kennis en vaardigheden met betrekking tot het bewerken van materialen, energie en informatie om met een bepaalde fysieke structuur (een artefact) een gewenste functie te realiseren. Gezien het feit dat er een grote variatie aan artefacten is die niet allemaal aan bod kunnen komen in het onderwijs, is ook meer generieke kennis van belang: over veelgebruikte technische representaties, de ontwerpcyclus, het functioneren en onderhouden van technische systemen en de maatschappelijke impact op onder meer kosten, gezondheid en duurzaamheid. Bij technologie geldt in sterke mate dat er allerlei dwarsverbanden met andere vakken zijn, zoals materie, (eigenschappen van) stoffen, energie, licht, geluid en straling, kracht en beweging (natuurkunde); materie, reactiviteit, energie (scheikunde); ecologie, duurzaamheid, voeding en gezondheid (biologie); systemen op aarde en menselijke activiteit (fysische geografie).

Ontwikkelingen in bovenbouw vmbo

Sinds schooljaar 2014 ontwikkelt SLO in samenwerking met in eerste instantie twaalf en sinds 2016 24 vmbo-pilotscholen het schoolexamenvak T&T. Dit heeft geresulteerd in een concept schoolexamenprogramma en een schoolexamenhandreiking. De pilot moet leiden tot een nieuw schoolvak T&T voor de gemengde en theoretische leerweg van het vmbo. Op grond van de pilots kan het concept examenprogramma nog tot 2018 worden

aangepast en wordt de digitale schoolexamenhandreiking uitgebreid met voorbeeldmaterialen en instrumenten. OCW en SLO leiden dit proces. Het nieuwe schoolvak T&T kenmerkt zich door een oriëntatie van leerlingen op zeven beschreven bètawerelden aan de hand van levensechte bèta-technische opdrachten. Deze opdrachten worden (mede) aangereikt door het bedrijfsleven of maatschappelijke instellingen. Hiermee geeft dit vak invulling aan het minder theoretisch vormgeven van de gemengde en theoretische leerweg. Loopbaan- en beroepsbegeleiding vormt een belangrijk onderdeel van dit schoolexamenprogramma. Om de doorlopende leerlijn vanuit het vmbo naar het mbo zichtbaar te maken, is gekozen voor examinering op het niveau van ontwikkeltaken. Vaardigheden als onderzoeken, ontwerpen en ondernemen zijn van belang voor alle leerlingen, op alle niveaus; aandacht voor deze vaardigheden is in lijn met het eindadvies van het platform Onderwijs 2032. In tegenstelling tot het havo en vwo met de vakken NLT en O&O kenden de gemengde en theoretische leerweg van het vmbo tot nu geen vak waarin leerlingen gericht deze vaardigheden kunnen ontwikkelen. Met het schoolexamen vak T&T is dat nu wel het geval. Vanaf schooljaar 2018-2019 mogen alle scholen in Nederland T&T gaan aanbieden als regulier schoolvak, waarbij het de status krijgt van een praktijkgericht avo-vak.

Ontwikkelingen in tweede fase

In de tweede fase is NLT een interdisciplinair profielkeuzevak in de natuurprofielen. Een van de hoofddoelstellingen van NLT is de aantrekkelijkheid van het bètaonderwijs te verhogen en daarmee de instroom in bèta- en technologiestudies te vergroten. NLT draagt hieraan bij door aan te sluiten bij recente snelle ontwikkelingen in wetenschap, technologie en maatschappij. In NLT komt technologie tot uiting binnen het subdomein B2: de wisselwerking tussen natuurwetenschap en technologie. De leerling wordt geacht de ontwikkeling van natuurwetenschappelijke kennis en technologie aan de hand van voorbeelden te beschrijven en toe te lichten. De modulaire opzet van het vak is uitermate geschikt om leerlingen de rol van technologie binnen concrete actuele vraagstukken te laten ervaren. Het gaat hierbij om de wisselwerking tussen natuurwetenschap en technologie; dat wil zeggen de bijdrage van technologie aan de ontwikkeling van wetenschappelijke kennis én de bijdrage van nieuwe wetenschappelijke kennis aan de vooruitgang in technologie. Een goed voorbeeld is de module *Lab on a chip*. In deze module ervaren leerlingen hoe natuurwetenschappelijk onderzoek gebaat is bij een chip waarin op kleine schaal laboratoriumfuncties zijn geïntegreerd. Dit speelt met name een rol bij een effectievere analyse van onderzoek. Anderzijds wordt er in de module ook gereflecteerd op de vraag hoe natuurwetenschappelijk onderzoek de productie van deze chips mogelijk heeft gemaakt.

NLT is een schoolexamen vak. Daarmee liggen de doelen dus slechts vast in globale eindtermen. Dit betekent dat er veel vrijheid is bij de invulling van het vak. Dit maakt

dat het niet altijd even duidelijk is welke plek technologie heeft binnen het uitgevoerde curriculum. Er zijn wel verschillende redenen om aan te nemen dat technologie een sterke plek heeft binnen het NLT-curriculum: richtlijnen voor ontwikkelaars van NLT-modules om aan te geven hoe de wisselwerking tussen natuurwetenschap en technologie gestalte gaat krijgen binnen het lesmateriaal, het betrekken van technisch hoger onderwijs bij het ontwikkelen van lesmaterialen en het professionaliseren van NLT-docenten. Daarnaast geven veel docenten aan de ruimte die NLT biedt te gebruiken om de bèta-technische vaardigheden aan te leren. Denk hierbij aan onderzoeken, ontwerpen en modelleren. Technologie speelt vaak een duidelijke rol wanneer docenten met deze vaardigheden aan de slag gaan, zoals bijvoorbeeld met het doen van metingen tijdens een onderzoek. Het beroepsperspectief van technische functies heeft al jarenlang veel aandacht vanuit de centrale overheid via allerlei programma's met als doelstelling de instroom van technische studies te vergroten (Ministerie van OCW, 2003). NLT sluit bij deze ambitie aan door de oriëntatie op technische vervolgstudies en beroepen mogelijk te maken en samen te werken met het hoger onderwijs, in lijn met de doelen van TechniekPact (www.techniekpact.nl). NLT geeft scholen een plek in het curriculum om aan deze programma's deel te nemen. Dit blijkt onder meer uit de schoolbezoeken. Veel scholen geven daarin aan NLT in te zetten voor buitenschools leren, door bijvoorbeeld excursies naar bedrijven te organiseren (Landelijk Coördinatiepunt NLT, 2014).

Techniek en technologie vormen ook een belangrijk deel van het vak O&O op de technasia. Dit vak is gericht op het enthousiasmeren van leerlingen voor een opleiding of beroep in de technische sector. In de onderbouw vo werken leerlingen meestal aan opdrachten die door bedrijven of instellingen aangedragen zijn. Bij die opdrachten komt vaak aardig wat techniek kijken, maar de focus ligt op het ontwikkelen van competenties als onderzoeker en ontwerper. Zo komt de ontwerpcyclus meestal wel aan de orde, maar die is minder belangrijk dan bijvoorbeeld het ontwikkelen van inventiviteit. De vier kernkwaliteiten die binnen dit vak geformuleerd zijn voor ontwerpen zijn: samenwerken, productgerichtheid, inventiviteit en plannen & organiseren (zie www.technasium.nl). Het is echter geen 'knutselvak', leerlingen ervaren – soms tot hun teleurstelling – dat het meer theoretisch is dan ze gedacht hadden (De Vijlder, Bakker, & Van den Blink, 2014).

Op de technasia worden leerlingen die het vak O&O in de tweede fase gekozen hebben uitgedaagd om hun competenties als onderzoeker en ontwerper verder te ontwikkelen via keuzeprojecten en een meesterproef. Voor die projecten zoeken ze zelf een opdrachtgever. Het examenprogramma schrijft voor dat ze daarbij minimaal twee van de zeven 'werelden van bèta-techniek' betrekken. De praktijk laat zien dat leerlingen tijdens dergelijke projecten veel technische problemen moeten en kunnen oplossen (Schalk & Bruning, 2014). Kenmerkend voor O&O is dat de vakinhoud die bij de projecten gebruikt moet worden niet vast ligt. Afhankelijk van de opdracht wordt er een beroep gedaan op specifieke kennis en inzicht.

In een reeks van zes artikelen in NVOX (nrs 1-6 van 2017, Bruijnesteijn, 2017) doen twee leerlingen – Lisa Pahladsingh en Guy Maré – verslag van hun zeer verschillende meesterproeven, respectievelijk het ontwerpen van een opstelling voor het meten van een gezondheidsaspect in het *Health Café* van TNO en het ontwerpen van een bruikbaar landingsgestel voor een drone voor het Nederlandse Lucht- en Ruimtevaartcentrum. Niet zozeer de producten, maar het proces van de meesterproeven wordt daar uitgebreid in beschreven. Het laat zien hoe de uitdaging van een écht ontwerp leerlingen ver laat komen op het gebied van techniek en technologie.

Curriculaire uitdagingen

De leerplankaders en leerplanvoorstellen in het technologiedomein zoals hierboven beschreven, dragen in belangrijke mate bij aan het verwezenlijken van de ambities geformuleerd in het TechniekPact, voor alle sectoren van het onderwijs. De invoering ervan zal verdere ondersteuning behoeven van vakverenigingen, met steun van de VO-HO-netwerken, of van beide. De verdere ontwikkeling van de VO-HO-netwerken is in dit verband ook belangrijk (zie hieronder 'Professionalisering van leraren in regionale VO-HO netwerken'). In de lespraktijk is technologie vrijwel altijd interdisciplinair, zoals eerder beschreven. Aandacht voor technologie, in wisselwerking met de natuurwetenschappelijke vakken, is daarom ook belangrijk om de invoering van interdisciplinair onderwijs verder te ondersteunen (zie 'Interdisciplinariteit en samenhang').

Professionalisering van leraren in regionale VO-HO netwerken

Ontwikkelingen

In het vertalen van landelijk curriculumbeleid naar de school spelen de regionale VO-HO netwerken een schakelrol. Zo speelden zij een belangrijke rol bij het ontwikkelen en invoeren van het nieuwe vak NLT (2007). In het kader van professionalisering ontwikkelden docenten uit het voortgezet en het hoger onderwijs en externe experts van kennisinstellingen en het bedrijfsleven tientallen NLT-modules. Sinds 2011 spelen de netwerken een belangrijke rol bij de invoering van de nieuwe examenprogramma's voor natuurkunde, scheikunde, biologie, wiskunde en informatica. Zij dragen op regionaal niveau bij aan het professionaliseren van docenten op het gebied van nieuwe onderwerpen uit de examenprogramma's, het doorontwikkelen van onderdelen van examenprogramma's in de vorm van lesmateriaal, practica, toetsmateriaal en op het gebied van de concept-contextbenadering. De regionale VO-HO netwerken zijn als partner in het onderwijs belangrijk voor een betere aansluiting tussen VO en HO en leggen verbindingen met bedrijfsleven, onderzoeksinstituten en andere ketenpartners.

Belangrijke elementen die een rol spelen bij de functie van regionale netwerken in de curriculumontwikkeling:

- Kerndoelen, eindtermen en andere landelijke curriculumformuleringen hebben een globaal karakter en moeten nog op allerlei manieren worden uitgewerkt voor ze vorm kunnen krijgen in de lespraktijk. Leraren hebben voor die uitwerking baat bij het uitwisselen van voorbeelden en ervaringen en bij het beproeven van curriculumversies met groepen van collega's. Doorontwikkeling van curricula naar praktijkniveau en professionele ontwikkeling van leraren gaan zo hand in hand.
- De inbreng van inhoudelijke en didactische expertise vanuit het hoger onderwijs is van belang voor de professionalisering die vereist is voor curriculumvernieuwingen. Die kan het beste op regionaal niveau worden aangeboden. Het werk vindt immers dicht bij de scholen plaats in de nabijheid van collega's. Door de regionale organisatie van de VO-HO netwerken worden de verschillende soorten expertise (praktijkervaring, vakinhoudelijke en vakdidactische onderzoeksexpertise) bij elkaar gebracht. De meerwaarde van het verbinden van de expertise en de betrokken instellingen zorgt voor continuïteit en ontwikkeling. Het contact tussen onderzoekers en leraren versterkt de ontsluiting van kennis uit wetenschappelijk onderzoek in de praktijk van het onderwijs.
- VO-HO netwerken dragen bij aan inzicht van docenten uit het hoger onderwijs in de ontwikkelingen in het formele én uitgevoerde vo-curriculum, waarmee de aansluiting tussen voortgezet onderwijs en hoger onderwijs beter kan verlopen.
- Bij de netwerken zijn lerarenopleiders en hun studenten betrokken; dat versterkt de aansluiting van de opleidingspraktijk van aanstaande leraren op de actualiteit van het vo-curriculum.
- Goed gedocumenteerde ervaringen in docent-netwerken kunnen leiden tot bijstellingen van landelijke kaders. Het kan gaan om verheldering van behoeften van leraren omtrent inhoud of uitvoerbaarheid, of het testen van ideeën voor landelijke kerndoelen of eindtermen. Zo kunnen regionale netwerken een rol spelen in een systematiek van periodieke herijking van het curriculum, die de staatssecretaris van OCW zich voor het funderend onderwijs heeft voorgenomen.

Anno 2016 bestaan er tien regionale VO-HO netwerken, die samen een landelijke dekking bieden. Bij deze netwerken zijn twaalf universiteiten, negentien hogescholen en circa 360 vo-scholen (ca. 60% van de havo/vwo-scholen) aangesloten. Op dit moment zijn er binnen de VO-HO netwerken vaksteunpunten voor biologie, informatica, natuurkunde, NLT, scheikunde en wiskunde. Voor O&O is een vaksteunpunt in ontwikkeling. In Amsterdam bestaat een vaksteunpunt aardrijkskunde.

Het aanbod van de vaksteunpunten is gevarieerd. Er zijn *masterclasses* over specifieke onderwerpen voor leraren en leerlingen. Daarnaast zijn er de docentontwikkelteams (DOT's), waarbij een team van docenten rond een thema lesmateriaal ontwikkelt of bestaande materialen geschikt maakt voor gebruik in de (eigen) lespraktijk. In de BedrijfsDOT's wordt in samenwerking met bedrijven materiaal ontwikkeld, met als bijkomend voordeel dat hierbij de materialen en contacten ook kunnen worden ingezet in de LOB-trajecten. Rond de vaksteunpunten worden vaknetwerken gecreëerd die functioneren als professionele leergemeenschap.

Scholen die deelnemen dragen financieel bij aan het netwerk, waardoor het eigenaarschap van de netwerken ook bij de scholen ligt en scholen invloed hebben op het aanbod van de netwerken. Scholen worden ook betrokken bij de kwaliteitszorg van de aangeboden activiteiten en programma's. De VO-HO netwerken zijn laagdrempelig; elke school en elke docent kan instappen op het gewenste niveau. Uit de *Evaluatie implementatie wetenschap en Techniek PO en VO* (2016) komt naar voren dat scholen de VO-HO netwerken positief waarderen. Men staat positief tegenover kennisdeling, toegang tot een regionaal netwerk met andere scholen, contacten met bedrijven en de profilering van de school door middel van bètatechniek activiteiten. Men spreekt de behoefte uit dat meerdere docenten van een school aan het netwerk deelnemen, dat er meer aandacht komt voor bèta-techniek als een vakoverstijgend thema en dat meer kennismaking met de beroepspraktijk ingepast wordt in het curriculum.

Curriculaire uitdagingen

De activiteiten van de netwerken dragen bij aan de ontwikkeling van goed onderwijs: goede curricula in handen van goede leraren op goede scholen, die goed aansluiten op het hoger onderwijs. De netwerken moeten systematisch worden betrokken bij de ontwikkelplannen van het onderwijs: *infrastructuring* als vast onderdeel. Een ontwerp is pas af als ook de infrastructuur is ontworpen.

De VO-HO netwerken worden steeds meer als metanetwerken gezien, waarlangs landelijke projecten/doelen regionaal kunnen worden geïmplementeerd. Het is de verwachting dat andere netwerken meer zullen gaan samenwerken/verbinden met de VO-HO netwerken. Ook kunnen de bèta VO-HO netwerken als model genomen worden voor het verbreden/uitbreiden naar alfa- en gammanetwerken voor talen, maatschappijwetenschappen en bedrijfseconomie. De bestaande praktijken kunnen verstevigd worden, *good practices* van specifieke netwerken kunnen overgenomen worden door andere netwerken en er zal meer aandacht komen voor verbreding naar vmbo-mbo en een verdieping van de havo-hbo samenwerking. Hierbij zal samenwerking met scholen centraal staan en richtinggevend zijn.

Tot slot dient opgemerkt te worden dat de Tweede Kamer op 1 juni 2016 heeft ingestemd met de motie van de leden Van Meenen en Ypma om docenten minder lestijd te geven bij een volledige aanstelling, opdat er tijd en ruimte is om zich te verbeteren, te verdiepen en vorm te geven aan onderwijsvernieuwing. De VO-HO netwerken kunnen hier een belangrijke rol in spelen.

Referenties

- Aalsvoort, J.G.M. van (2003). *Chemie in producten*. Utrecht: CD Beta Universiteit Utrecht.
- ARG (2002). *Assessment for learning: 10 principles*. Cambridge UK: University of Cambridge School of Education.
- Bennett, J., Lubben, F., & Hogarth, S. (2006). Bringing science to life: a synthesis of the research evidence on the effects of context-based and STS approaches to science teaching. *Science Education*, 91, 347-370.
- Bennett, J., Gräsel, C., Parchmann, I., & Waddington, D. (2005). Context based and conventional approaches to teaching chemistry: Comparing teachers' views. *International Journal of Science Education*, 27 (13). pp. 1521-1547.
- Berg, E. van den, & Westbroek, H. (2014). Formatieve toetsing en feedback tijdens de les. *NVOX*, 39 (5), 225-227.
- Berkel, B. van. (2005). *The structure of current school chemistry* (dissertatie). Utrecht: Utrecht University.
- Boersma, K., Bulte, A., Krüger, J., Pieters, M., & Seller, F. (2011). *Samenhang in het natuurwetenschappelijk onderwijs voor havo en vwo*. Utrecht: IOBT.
- Boersma, K.Th., Graft, M. van, Harteveld, A., Hullu, E. de, Knecht-van Eekelen, A. de, Mazereeuw, M., Oever, L. van den & Zande, P.A.M. van der (2007). *Leerlijn biologie van 4 tot 18 jaar. Uitwerking van de concept-contextbenadering tot doelstellingen voor het biologieonderwijs*. Utrecht: NIBI.
- Bruning, L., & Michels, B. (2013). *Zicht op de wisselwerking tussen concepten en contexten in het bèta-onderwijs*. Enschede: SLO.
- Bruijnesteijn, H. (red.) (2017). De meesterproef bij O&O op het technasium, 1 t/m 6. *NVOX 42* (1-6): 10-11, 80-81, 136-137, 214-215, 268-269, 320-321.
- Castelijns J., Segers, M., & Struyven, K. (red.) (2011). *Evalueren om te leren. Toetsen en beoordelen op school*. Bussum: Coutinho.
- College voor Examens (2012). *Toetswijzer bij de centrale eindtoets po. Wereldoriëntatie. Inhoudsverantwoording van de centrale eindtoets voor de wereldoriënterende vakken aardrijkskunde, geschiedenis en natuur en techniek*. Utrecht: CvE.

cTWO (2012). *Denken & doen; wiskunde op havo en vwo per 2015*. Utrecht: commissie Toekomst Wiskunde Onderwijs.

Driel, J.H. van, Bulte, A.M.W., & Verloop, N. (2008). Using the curriculum emphasis concept to investigate teachers' curricular beliefs in the context of educational reform. *Journal of Curriculum Studies*, 40 (1), 107–122.

Drijvers, P. (2015). Kernaspecten van wiskundig denken. *Euclides*, 90 (5), 4-8.

Eijkelfhof, H.M.C., & J. Kortland (1988), Broadening the aims of physics education. In P.J. Fensham (ed.), *Development and dilemmas in science education* (pp. 282-305). London: Falmer Press.

Evans, S. (2013). *A report on perceptions of current practical assessment in science GCSEs and IGCSEs*. Cambridge: Cambridge Assessment.

Feskens, R., Kühlemeier, H., & Limpens, G. (2016). *Resultaten PISA-2015*. Arnhem: Cito.

Folmer, E., Ottevanger, W., & Kuiper, W. (2015). *Monitoring en evaluatie invoering betavernieuwing*. Enschede: SLO.

Goor, A. van, & Hertog, J. den (2001). Redden we het practicum? *Niche* 31 (3), 15-20.

Graft, M. van (2009). *De concept-contextbenadering in het primair onderwijs. Deel II. Voorbeeldesmateriaal voor natuur en techniek*. Enschede: SLO.

Graft, M. van, Boersma, K., Goedhart, M., Oers, B. van, & Vries, M. van (2009). *De concept-contextbenadering in het primair onderwijs. Deel I. Een conceptueel kader voor natuur en techniek*. Enschede: SLO.

Graft, M. van, Klein Tank, M., & Beker, T. (2016). *Wetenschap en technologie in het basis- en speciaal onderwijs. Richtinggevend leerplankader bij het leergebied Oriëntatie op jezelf en de wereld*. Enschede: SLO.

Graft, M. van, Klein Tank, M., Tolboom, J., & Zanten, M. van (2016). *Use of mathematics in inquiry and design lessons in primary education*. Poster op de Expert Meeting on Mathematical Thinking and Learning, Universiteit Utrecht.

- Graft, M. van, & Volkering, C. (2007). *Natuur- en milieueducatie en duurzame ontwikkeling onder de loep*. Enschede: SLO.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77, 81-112.
- Hoeven, M. van der, Schmidt, V., Sijbers, J., Silfhout, G. van, Woldhuis, E., Leeuwen, B. van, & Kuiper, W. (2017). *Leerplankundige analyse PISA 2015*. Enschede: SLO.
- Jagt, S. van der (2016). *Evaluating the Quality of Inquiries. An approach for self-evaluation of accuracy, reliability and validity in school science inquiries by pre-university students* (dissertatie). Amsterdam: VU.
- Jagt, S. van der, Rens, L. van, Schalk, H., Pilot, A., & Beishuizen, J.J. (2013). *Een instrument voor bovenbouw vwo-leerlingen om de kwaliteit van hun natuurwetenschappelijk onderzoek te evalueren*. *Pedagogische Studiën*, 90 (2), 47-62.
- Janssen, F., Westbroek, H., Doyle, W., & Driel, J. van (2013). How to make innovations practical. *Teachers College Record*, 115 (7), 1-43.
- Jonker, V., & Wijers, M. (2016). *Onderzoeken in de rekenles*. Den Haag: Platform Bèta Techniek.
- Joosten-ten Brinke, D. (2011). *Eigentijds toetsen en beoordelen* (lectorale rede). Tilburg: Fontys Lerarenopleiding Tilburg.
- Lamers, H., & Oetelaar, F. van den (2012). *Whitepaper 21st century skills in het onderwijs*. Gedownload op 28 juni 2016 van: <http://www.21stcenturyskills.nl/whitepaper/>.
- Ketelaar, E. (2013). *Het technasium portfolio. Een handreiking om ermee aan de slag te gaan*. Groningen: Stichting Technasium.
- KNAW (2003a). *Robuuste profielen in het voortgezet onderwijs. Advies van de KNAW aan de minister van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen over het curriculum in de tweede fase van het voortgezet onderwijs*. Amsterdam: KNAW.
- KNAW (2003b) *Ontwikkeling van talent in de tweede fase. Advies van de KNAW klankbordgroep voortgezet Onderwijs*. Amsterdam: KNAW.

Kuiper, W. (2009). *Curriculumevaluatie en verantwoorde vernieuwing van bètaonderwijs* (oratie). Utrecht/Enschede: Universiteit Utrecht/SLO.

Landelijk Coördinatiepunt NLT (2014). *Schoolbezoeken nlt. Eindrapportage*. Geraadpleegd van <http://betavak-nlt.nl/nl/p/over-nlt/feiten-en-cijfers/>

Michels, B., Bruning, L, Folmer, E., & Ottevanger, W. (2014). *Monitoring en evaluatie invoering bètavernieuwing: Nulmeting docenten en leerlingen 2012-2013*. Enschede: SLO.

Michels, B., & Folmer, E. (in voorbereiding). *Analyse van de eerste centrale examens na de bètavernieuwing*. Enschede: SLO.

Ministerie van OCW (2003). *Deltaplan Bèta-Techniek. Actieplan voor de aanpak van tekorten aan bèta's en technici*. Den Haag: Ministerie van OCW.

Ministerie van OCW (2006A). *Kerdoelen basisonderwijs*. Geraadpleegd op 2 maart 2015 van <http://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/basisonderwijs/vakken-en-kerndoelen-basisonderwijs>.

Ministerie van OCW (2006B). *Kerdoelen onderbouw voortgezet onderwijs*. <http://www.rijksoverheid.nl/documenten-en-publicaties/besluiten/2010/09/17/kerndoelen-onderbouw-voortgezet-onderwijs.html>

Ministerie van OCW (2014). *Kennisagenda OCW*. Den Haag: Ministerie van OCW.

Ministerie van OCW (2015). *Wetenschapsvisie 2025; keuzes voor de toekomst*. Den Haag: Ministerie van OCW.

National Research Council (2012). *A Framework for K-12 Science Education: Practices, Crosscutting Concepts, and Core Ideas*. Committee on a Conceptual Framework for New K-12 Science Education Standards. Washington, DC: National Academies Press.
zie http://sites.nationalacademies.org/dbasse/bose/framework_k12_science/index.htm

National Research Council (2014). *Developing Assessments for the Next Generation Science Standards*. Washington DC: National Academies Press.
zie: http://sites.nationalacademies.org/DBASSE/BOTA/Developing_Assessments_for_NGSS/index.htm,

- Nilsson, P., & Loughran, J. (2013). Formative assessment in learning to teach science. In D. Corrigan, R. Gunstone, A. Jones (eds). *Valuing assessment in science education: Pedagogy, curriculum, policy* (pp. 325-345). Dordrecht: Springer.
- Noteboom, A. (2013). Profiteren van evalueren. Evalueren óm te leren in de rekenles. *Volgens Bartjens*, 33 (2), 4-8.
- OECD (2008). *Trends shaping education*. Paris: OECD.
- OECD (2009). *21st century skills and Competences for new millennium learners in OECD countries*. Edu Working Paper, no. 41. Paris: OECD.
- OECD (2015). *Review study OECD Dutch curriculum: '#Onderwijs2032'. Evidence about knowledge and skills for work and learning*
- OECD (2016). *PISA 2015 assessment and analytical framework: Science, reading, mathematics and financial Literacy*. Paris: OECD. <http://dx.doi.org/10.1787/9789264255425-en>
- Oosterheert, I., Eldik, S. van, & Kral, M. (2007). *Het digitaal portfolio als instrument voor summatieve competentiebeoordeling*. Nijmegen: Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.
- Ottevanger, W., Oorschot, F., Spek, W., Boerwinkel, D.J., Eijkelhof, H., Hoeven, M. van der, & Kuiper, W. (2014). *Kennisbasis natuurwetenschappen en technologie voor de onderbouw vo*. Enschede: SLO.
- Platform Onderwijs2032 (2016). *Ons onderwijs2032. Eindadvies*. Den Haag: Platform Onderwijs2032. Zie <http://ononderwijs2032.nl/advies>.
- Pratt, H. (2013). *The NSTA reader's guide to the next generation science standards*. NSTApress.
- Putter, L. de. (2012). *Science teachers designing context-based curriculum materials* (dissertatie). Eindhoven: Technische Universiteit.
- Roberts, D.A. (1982). Developing the concept of "curriculum emphases" in science education. *Science Education*, 66 (2), 243-260.
- Saab, N. (2014). *Formatieve evaluatie*. (presentatie). Geraadpleegd van: <https://www.slideshare.net/itslearningNL/itslearning-onderwijsdag-2014-formatieve-toetsing-evalueren-om-te-leren>

Sanders, G., & Pieters, M. (2016). *Het implementeren van contexten in onderwijsmateriaal. Een ontwerp- en analyse-instrument voor de natuurwetenschappelijke vakken*. Enschede: SLO.

Savelsbergh, E. (red.) (2008). *Modelleren en computermodellen in de bètavakken. Advies aan de gezamenlijke bètavernieuwingscommissies*. Utrecht: Freudenthal Instituut.

Schalk, H. (2006). *Zeker weten? Leren de kwaliteit bewaken van biologie-onderzoek in 5 vwo* (dissertatie). Amsterdam: Vrije Universiteit.

Schalk, H., & Bruning, L. (2014). *Handreiking schoolexamen Onderzoek & Ontwerpen in de tweede fase*. Enschede: SLO.

Sluijsmans, D. (2008). *Duurzaam beoordelen in vraaggestuurd leren* (lectorale rede). Nijmegen: Hogeschool van Arnhem en Nijmegen.

Sluijsmans, D., Joosten-ten Brinke, D., & Vleuten, D. van der (2013). *Toetsen met leerwaarde. Een reviewstudie naar de effectieve kenmerken van formatief toetsen*. Maastricht: Universiteit van Maastricht.

TechYourFuture, Platform Bèta Techniek, & Expertisecentrum Nederlands (2016). *Taal in context van W&T*. Den Haag: Platform Bèta Techniek.

Thijs, A., Fisser, P., & Hoeven, M. van der (2014). *21e eeuwse vaardigheden in het curriculum van het funderend onderwijs*. Enschede: SLO.

Tweede Kamer (2014a). Vergaderjaar 2014–2015, 34 000 XII, nr. 46.

Tweede Kamer (2014b). *Natuur- en milieueducatie*. Vergaderjaar 2014-2015, 20487, nr.49. (Gedownload van www.tweedekamer.nl/kamerstukken/detail?id=2015D25797&did=2015D25797)

Vaksectie Natuur en Techniek SLO (in voorbereiding). *Vakspecifieke trendanalyse natuur en technologie*. Enschede: SLO.

Valk, T. van der, Broekman, H., Frederik, I., Abels, M., & Jambroes, A. (2005). Een discourse community van docenten rond onderzoekende houding in de bètavakken. *Tijdschrift voor didactiek der β -wetenschappen* 22 (1&2), 22-50.

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.

Vijlder, F. de, Bakker, D., & Blink, M. van den (2014). *Innoveren vanachter de keukentafel. Een onderzoek naar de ontwikkeling van het technasium 2003 – 2013*. Dordrecht: Convoy Uitgevers.

Watts, A. (2013). *The assessment of practical science: a literature review*. Cambridge: Cambridge Assessment.

WCED (1987). *Report of the World Commission on Environment and Development: Our common future*. Washington DC: UN. Geraadpleegd op 27 juli 2017 van <http://www.un-documents.net/our-common-future.pdf>

World Economic Forum (2016). *Future of jobs report*. Gedownload op 29 september van <http://reports.weforum.org/future-of-jobs-2016/>.



