



De aard van nlt
Harrie Eijkelhof



VERENIGING NLT

De aard van nlt

Harrie Eijkelhof

Met dank voor de waardevolle inbreng van Nelleke den Braber, Adri Dierdorp, Wim Sonneveld, Marc de Vries en Jenneke Krüger.



Voor dit katern geldt een Creative Commons
Naamsvermelding-Niet-commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland
Licentie ► <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl>

Katern De aard van nlt

Harrie Eijkelhof

1. Inleiding

Natuur, Leven en Technologie (nlt) is een relatief nieuw schoolvak voor de bovenbouw van havo en vwo. Het is een keuzevak voor leerlingen met een natuurprofiel. Het vak kent eindtermen binnen een landelijk examenprogramma¹ en wordt afgerond met een schoolexamen. Omdat er geen centraal schriftelijk eindexamen is hebben docenten veel ruimte om een eigen invulling aan de lesinhoud te geven, mits dat gebeurt binnen het kader van het nlt-examenprogramma.

Nlt onderscheidt zich van de traditionele bètavakken in vier kenmerken:

- 1. interdisciplinariteit*
- 2. de relatie tussen wiskunde en natuurwetenschappen*
- 3. de aandacht voor de keuze van studie en beroep*
- 4. de wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie.*

Deze karakteristieke kenmerken van nlt komen in het nlt-examenprogramma vooral tot uitdrukking in de domeinen A (nlt-specifieke vaardigheden) en B (exacte wetenschappen en technologie).

Hoewel de aard van nlt in het examenprogramma tot uitdrukking komt is deze voor leerlingen meestal niet direct helder. Immers, het vak sluit niet direct aan op een schoolvak in de onderbouw en leerlingen zijn het niet gewend dat bij een schoolvak docenten van verschillende schoolvakken zijn betrokken. Tijdens schoolbezoeken door medewerkers van het landelijk coördinatiepunt nlt in 2013 bepleitten docenten meer aandacht voor de karakteristieken van nlt om de meerwaarde van het vak duidelijker te kunnen benadrukken. Dat vraagt om een heldere explicitering in de lessen van de doelen van nlt die aansluiten op de vier bovengenoemde kenmerken. In dit katern bespreken we de vier karakteristieke kenmerken aan de hand van een aantal vragen:

- Hoe zit het kenmerk in het examenprogramma?
- Hoe kan het kenmerk worden geïnterpreteerd?
- Waarom is het van belang voor het voortgezet onderwijs?
- Welke leerdoelen zijn te bereiken?
- Welke mogelijkheden zijn er om dit aspect in de lessen te verweven?
- Welke problemen kunnen zich daarbij voordoen en hoe zijn die op te lossen?
- Wat zijn goede voorbeelden in het lesmateriaal en uit de schoolpraktijk?
- Welke bronnen zijn aan te bevelen voor nadere informatie?

¹ <http://betavak-nlt.nl/nl/p/toetsing/examenprogramma/>

2. Interdisciplinariteit

- Hoe zit interdisciplinariteit in het nlt-examenprogramma voor vwo²?

Eindterm 13 *De kandidaat kan bij het werken aan interdisciplinaire vraagstukken samenwerken met anderen, daarbij actief de inbreng van groepsgenoten stimuleren, deze op waarde schatten en gebruiken en een herkenbare eigen inbreng hebben bij het tot stand komen van het eindresultaat.*

Eindterm 14 *De kandidaat kan relevante conceptuele kennis en benaderingen uit in ieder geval de aardwetenschappen, de biologie, de natuurkunde, de scheikunde en de wiskunde gebruiken om interdisciplinaire vraagstukken te analyseren die betrekking hebben op de domeinen C t/m F. De kandidaat kan daarbij:*

- *reflecteren op de rol van de verschillende disciplines bij een interdisciplinaire aanpak;*
- *situaties analyseren aan de hand van de termen modelvorming, systeem, schaal en verandering....*

Bovendien staat in een groot deel van de inhoudelijke eindtermen (C t/m E) dat de *natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toegepast moeten worden op interdisciplinaire vraagstukken.*

- Wat verstaan we onder interdisciplinariteit?

Het begrip interdisciplinariteit wordt in uiteenlopende betekenissen gebruikt, variërend van ‘alles waarbij diverse soorten disciplinaire kennis aan bod komt’ tot ‘het volledig integreren van kennis tot een nieuwe discipline’. Dat vraagt om een nadere verheldering van het begrip.

In de literatuur vinden we verschillende definities van de term interdisciplinariteit. Voor nlt is wellicht het onderscheid dat Repko en collega's maken³ het meest bruikbaar:

- Monodisciplinair - een onderwerp wordt vanuit één vakdiscipline benaderd, bijvoorbeeld de biologie van het hart.
- Multidisciplinair - een onderwerp wordt vanuit verschillende disciplines benaderd, maar er worden geen verbindingen gelegd tussen de disciplines; de kennis wordt los van elkaar gepresenteerd, bijvoorbeeld de natuurkunde van het hart naast de scheikunde van het hart.
- Interdisciplinair - een onderwerp wordt vanuit verschillende disciplines benaderd én er worden verbindingen (met betrekking tot vakkennis en/of denk- en werkwijzen) gelegd tussen de disciplines, bijvoorbeeld het analyseren van processen in het hart waarin kennis van scheikunde, biologie en natuurkunde een rol spelen.
- Transdisciplinair⁴ - zoals interdisciplinair, maar met inbreng van kennis vanuit de gebruikers (praktijkkennis); bijvoorbeeld de kennis en ervaring van een cardioloog worden betrokken bij het bestuderen van hartprocessen.

² De havo-eindtermen hebben dezelfde strekking maar zijn meer op contexten gericht.

³ Repko, Szostak & Buchberger (2016); ten behoeve van de leesbaarheid worden de meeste bronnen uitgebreider vermeld in de bronnenlijst achterin elke paragraaf.

⁴ In de literatuur wordt Transdisciplinair ook wel gedefinieerd als ‘zonder disciplinaire grenzen’, maar binnen nlt is de hier genoemde definitie relevanter.

Het essentiële verschil tussen multi- en interdisciplinair is dus of er wel of geen verbindingen tussen de verschillende disciplines worden gelegd. Interdisciplinariteit vraagt om inzicht in de overeenkomsten, de verschillen én de verbindingen tussen disciplines. Daarbij kan gebruik worden gemaakt van de denk- en werkwijzen zoals aangegeven in het Amerikaanse *Framework K-12 Science Education*⁵ en de Nederlandse *Kennisbasis Natuurwetenschappen en Technologie voor de Onderbouw VO*⁶.

- Waarom is interdisciplinariteit belangrijk voor het voortgezet onderwijs?
Leerlingen bereiden zich in de bovenbouw van havo en vwo voor op vervolgoopleidingen. Veel meer dan vroeger zijn vervolgoopleidingen in het hoger onderwijs interdisciplinair, bijvoorbeeld moleculaire , biomedische en bewegingswetenschappen en liberal arts and sciences. Daarnaast wordt ook in monodisciplinaire opleidingen benadrukt dat het belangrijk is te kunnen samenwerken met andere specialisten omdat kennis vanuit verschillende disciplines vaak nodig is om vraagstukken te kunnen begrijpen en oplossen. Het is verstandig dat leerlingen zich hierop oriënteren, bij voorbeeld aan de hand van vragen als:
 - Wil ik een generalist zijn?
 - Wil ik een vakspecialist zijn?
 - Wil ik bruggen bouwen tussen disciplines?Daarnaast hebben leerlingen er baat bij de overeenkomsten en verschillen tussen disciplines in te zien. Transdisciplinaire aspecten kunnen worden toegevoegd door de verbinding te leggen met de beroepspraktijk.
- Welke leerdoelen willen we bereiken binnen nlt ten aanzien van interdisciplinariteit?
Een nadere invulling van de bovengenoemde eindtermen kan het volgende omvatten:
 - De leerlingen kunnen het begrip interdisciplinariteit omschrijven en toepassen.
 - De leerlingen zijn in staat overeenkomsten en verschillen tussen disciplines te beschrijven, aan de hand van concepten en denk- en werkwijzen.
 - De leerlingen hebben waardering voor de inbreng van verschillende disciplines.
 - De leerlingen zien dat disciplines verschillende identiteiten hebben en herkennen hun (beginnende) verwantschap met een bepaalde identiteit.
- Hoe kan interdisciplinariteit in de nlt-lessen aan bod komen?
Uit de nlt-schoolpraktijk komt het geluid dat leerlingen interdisciplinariteit het meest ervaren als docenten van verschillende vakken inbreng leveren bij het onderwijs in modules. Interdisciplinariteit vereist echter meer dan dat een docent vanuit zijn of haar eigen achtergrond een onderwerp bespreekt. Een mogelijkheid is af en toe in de lessen te expliciteren welke kennis uit verschillende bronnen nodig is om inzicht te krijgen in een probleem of om oplossingen uit te werken.

⁵ National Research Council (NRC) (2012). *A Framework for K–12 Science Education*, nader uitgewerkt in de *Next Generation Science Standards* (2013)

⁶ Ottevanger et al (2014)

Daarnaast is het goed mogelijk overeenkomsten en verschillen tussen verschillende vakgebieden te expliciteren. De denk- en werkwijzen uit de kennisbasis N&T voor de onderbouw kunnen daarbij van nut zijn. Ook opdrachten kunnen bijdragen aan de leerdoelen rond interdisciplinariteit, bijvoorbeeld door leerlingen te vragen de verbinding tussen disciplines aan te geven, door leerlingen in groepjes opdrachten te geven waarin zij rollen krijgen als vakspecialist (afhankelijk van vakkenpakket of interesses). Ten slotte kunnen we leerdoelen verhelderen door interdisciplinariteit ook in de toetsing te laten terugkomen. Als inspiratiebron kunnen ervaringen dienen van interdisciplinaire opleidingen in het hoger onderwijs⁷.

- Mogelijke knelpunten en oplossingen

In de praktijk blijken zich rond interdisciplinariteit in het nlt-onderwijs wel problemen voor te doen. Zo koppelen nlt-modules niet allemaal inhouden van verschillende disciplines expliciet aan elkaar. Soms worden die verschillende inhouden wel apart gepresenteerd maar ontbreekt de verbinding en/of een reflectie op het belang van interdisciplinariteit voor de betreffende context (het interdisciplinaire blijft dan impliciet). Verder zijn docenten niet altijd op de hoogte van inhouden en lesgewoonten van collega's en is het soms lastig samen te werken met mensen die uit een andere 'onderwijscultuur' komen. Oplossingen voor deze knelpunten kunnen zijn:

- De docent kan in aanvulling op de modules meer nadruk leggen op het belang van de verbinding van kennis uit verschillende gebieden. Dat kan tijdens het werken met modules maar ook in de vorm van 'bruglessen' tussen modules. In het kader van een onderzoek van Klara Elwenspoek⁸ is ervaring opgedaan met bruglessen waarin gereflecteerd wordt op interdisciplinariteit en de aard van de verschillende disciplines.
- Inspiratie voor meer interdisciplinair werken kan worden geput uit publicaties over boundary crossing (effectief samenwerken over de grenzen van disciplines), in het bijzonder met betrekking tot het onderwijs⁹. Kernpunten uit deze bronnen, van belang voor nlt-onderwijs, zijn:

- Boundary crossing vraagt op school om ontwikkeling op verschillende niveaus: individuele docenten, docententeams en schoolleiding.
 - Een belangrijke rol is daarbij weggelegd voor 'brokers', mensen die een brug kunnen slaan tussen verschillende docenten.

Toegepast op het onderwijs in nlt en de relatie tot de afzonderlijke schoolvakken is het van belang:

- inzicht te hebben in overeenkomsten en verschillen tussen de vakken over onderwerpen, begrippen, denkwijzen, schoolse cultuur (boeken, toetsen, examens, practica);
- visies op samenhangend onderwijs uit te wisselen en van positieve en negatieve ervaringen daarmee te leren;
- mogelijkheden te verkennen en benutten om samenhang te vergroten.

- Praktijkvoorbeelden

De nieuwe versie van de module *Ruimte voor de Rivier* bevat een eindopdracht waarbij leerlingen vanuit verschillende perspectieven/rollen

⁷ Repko et al, 2016; Visser et al, 2015; de Greef et al, 2017

⁸ Elwenspoek, K. (2013)

⁹ Akkerman & Bakker, 2011 en 2012; Akkerman & Bruining, 2016

(fysisch geograaf, bioloog, ingenieur en planoloog) naar een probleem moeten kijken. Een zelfde soort opdracht zit bij voorbeeld ook in de module *Blue Energy* waarin leerlingen vanuit verschillende specialisaties bijdragen aan de onderbouwing van beleidsvoorstellen.

“Op onze school is nlt een vak op zich dat vooral in staat is om bruggen te slaan tussen de monovakken. Het kiezen van nlt in de bovenbouw is voor veel leerlingen een logisch vervolg op de vakoverschrijdende activiteiten die we in de onderbouw doen.”

(Gemeentelijk Gymnasium Hilversum, interview 2017)

“Interdisciplinair betekent dat niet alleen de overlappende gebieden van de samenwerkende vakken worden gezocht (= multidisciplinariteit) maar dat door de bijdrage van de vakken juist ook nieuwe inzichten en onderdelen ontstaan (= interdisciplinariteit).
De nlt-modules zelf zijn vaak interdisciplinair ingericht, dus het is niet een specifieke vaardigheid of ontwikkeling die we vanuit de school moeten aanbrengen. Wel is het zaak dat de interdisciplinaire onderdelen door de nlt-docent worden gedragen, niet elke docent kan daarom elke nlt-module geven.”

(Gemeentelijk Gymnasium Hilversum, interview 2017)

Uit negen schoolbezoeken, uitgevoerd in 2013¹⁰, komt een aantal ervaringen naar voren in gesprekken met docenten en leerlingen.

Docenten (9 scholen):

- Sommige scholen passen het nlt-programma aan op de stof in de monovakken.
- Op een andere school geven de docenten aan dat leerlingen soms merken dat er kennistransfer plaatsvindt tussen de monovakken en nlt. In de lessen wordt soms bewust verwezen naar kennis uit de monovakken of uit de onderbouw. Ook in de monovakken wordt soms naar nlt verwezen.
- Twee scholen geven aan dat ze expliciet aandacht schenken aan de interdisciplinariteit van nlt. Op deze scholen wordt in de (inleidende) les aangegeven welke monovakken een rol krijgen in de module. Dit heeft voornamelijk te maken met de bezetting van het nlt-team.
- De docenten van twee scholen geven ook aan dat een breed team en/of meerdere docenten voor één klas nodig is om het interdisciplinaire karakter te benadrukken.
- De docenten van één school wilden initieel graag meer variëren binnen de monodisciplines dan kon worden waargemaakt.
- Eén school besteedt niet expliciet aandacht aan interdisciplinariteit omdat het volgens de docenten al evident aanwezig is in het concept van nlt.

Leerlingen (7 scholen):

- Op vier scholen is de leerlingen gevraagd naar de term ‘interdisciplinariteit’. In alle gevallen is het begrip onbekend, maar op één school kunnen de leerlingen wel het concept herkennen omdat onderwerpen vaak van verschillende kanten worden belicht.

¹⁰ <http://betavak-nlt.nl/nl/p/over-nlt/feiten-en-cijfers/>

- Op drie scholen vinden de leerlingen het fijn dat ze verschillende docenten hebben voor de modules. Op drie andere scholen vinden de leerlingen het ook een meerwaarde om modules te krijgen van meerdere docenten.
- Leerlingen snappen dat niet elke docent evenveel van elk onderwerp weet en zo kunnen docenten met verschillende/passende achtergrond geraadpleegd worden. Een aantal leerlingen noemt onderwijs van verschillende docenten zelfs de kracht van nlt.

In het kader zijn enkele opmerkingen van leerlingen opgenomen over de relatie van nlt met de afzonderlijke disciplines.

Op vijf scholen merken de leerlingen op dat nlt meer tijd kost als je geen biologie, natuurkunde of (in mindere mate) aardrijkskunde hebt. Deze verschillen in voorkennis worden vaak opgelost door extra uitleg van de docent of door het samenwerken in groepen met verschillende achtergronden. Op vier scholen wordt genoemd dat nlt een uitbreiding of verdieping is op de stof in de monovakken, maar dat er ook wel overlap is. Leerlingen op drie scholen merken op dat één van de monovakken vaak leidend is in een module. Ook geven zij aan dat door meerdere disciplines je een onderwerp soms eerder gaat snappen. Op drie scholen merken de leerlingen op dat je bij nlt kennis nodig hebt uit de verschillende monovakken en leerlingen op vier scholen herkennen een kennistransfer tussen nlt en de monovakken.

(Landelijk CoördinatiePunt nlt (2014). *Schoolbezoeken nlt 2013*.)

Bronnen

- Akkerman, S.F. & Bakker, A. (2011). *Boundary crossing and boundary objects*. Review of Educational Research, 81, 132-169.
https://www.researchgate.net/publication/233862027_Akkerman_S_F_Bakker_A_2011_Boundary_crossing_and_boundary_objects_Review_of_Educational_Research_81_132-169
- Akkerman, S., & Bruining, T. (2016). *Multi-level boundary crossing in a professional development school partnership*. Journal of the Learning Sciences, 25, 240–284.
<http://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/10508406.2016.1147448?scroll=top&needAccess=true>
- Elwenspoek, K. (2013). *De implementatie van interdisciplinariteit in het nlt onderwijs met behulp van bruglessen*. Masterthesis Science Education and Communication.
http://betavak-nlt.nl/dmedia/media/site-files/a879f/8fa00/ee8fd/70df4/39832/Bruglessen_nlt_masterscriptie.pdf
- Greef, L. de, Post, G., Vink, C., & Wenting, L. (2017). *Designing Interdisciplinary Education. A practical handbook for university teachers*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
<http://en.aup.nl/books/9789462984769-designing-interdisciplinary-education.html>
- Landelijk CoördinatiePunt nlt (2014). *Schoolbezoeken nlt 2013. Eindrapportage*
<http://betavak-nlt.nl/nl/p/over-nlt/feiten-en-cijfers/>
- National Research Council (NRC) (2012). *A Framework for K–12 Science education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13165
- NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
<http://www.nextgenscience.org/>
- Ottevanger, W., Oorschot, F., Spek, W., Boerwinkel, D.J., Eijkelhof, H., de Vries, M., van der Hoeven, M. & Kuiper, W. (2014). *Kennisbasis natuurwetenschappen en technologie voor de onderbouw vo. Een richtinggevend leerplankader*. Enschede: SLO.
<http://www.slo.nl/downloads/2014/kennisbasis-natuurwetenschappen-en-technologie-voor-de-onderbouw-vo.pdf/>
- Repko, A.F., Szostak, R. & Buchberger, M. (2016). *Introduction to Interdisciplinary Studies*. London: Sage.
https://books.google.nl/books/about/Introduction_to_Interdisciplinary_Studies.html?id=WyFuDQAAQBAJ&redir_esc=y
- Visser, V., Post, G., & Buis, J. (2015). *Academische vaardigheden voor interdisciplinaire studies*. Amsterdam: Amsterdam University Press.
<http://nl.aup.nl/books/9789462981195-academische-vaardigheden-voor-interdisciplinaire-studies.html>

3. De relatie tussen wiskunde en natuurwetenschappen

- Hoe zit de relatie tussen wiskunde en natuurwetenschappen in het nlt-examenprogramma voor vwo?

Eindterm 11 *De kandidaat kan met gegevens van wiskundige en natuurwetenschappelijke aard consistente redeneringen opzetten van zowel inductief als deductief karakter.*

Eindterm 12 *De kandidaat kan een aantal relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij vakspecifieke probleemsituaties.*

Eindterm 14 *De kandidaat kan relevante conceptuele kennis en benaderingen uit in ieder geval de aardwetenschappen, de biologie, de natuurkunde, de scheikunde en de wiskunde gebruiken om interdisciplinaire vraagstukken te analyseren die betrekking hebben op de domeinen C t/m F.*

Het examenprogramma verwijst enerzijds naar conceptuele kennis en benaderingen (eindterm 14) en anderzijds naar procedurele aspecten (eindterm 12) en redeneren (eindterm 11).

- Wat verstaan we onder de relatie tussen wiskunde en natuurwetenschappen?

De relatie tussen wiskunde en natuurwetenschap betreft een vorm van interdisciplinariteit die gekenmerkt wordt door vooral het gebruik van wiskunde als gereedschap en/of taal bij de natuurwetenschappen. Deze relatie heeft binnen nlt onder andere de volgende componenten:

- het gebruik van wiskundige kennis en vaardigheden om relaties tussen natuurwetenschappelijke grootheden te kunnen duiden;
- het besef dat er verschillen bestaan in de manier waarop wiskundigen en natuurwetenschappers zich uitdrukken, bijvoorbeeld in termen, notaties, conventies en grafieken.

- Waarom is de relatie tussen wiskunde en natuurwetenschappen belangrijk?

Wiskunde wordt in veel opleidingen in het hoger onderwijs gebruikt, meestal in functionele zin. Wiskundige kennis en vaardigheden zijn nodig voor het maken van berekeningen, het interpreteren van data in tabellen en grafieken, het opzetten en gebruik maken van modellen en het beoordelen en toepassen van statistische technieken. Daarnaast kan wiskunde bijdragen aan het verkrijgen van inzicht in de structuur van formules en het logisch redeneren. Vooral het op een wiskundige manier logisch kunnen redeneren is voor veel vervolgopleidingen een reden om wiskunde als examenvak op de middelbare school als minimumeis te hanteren bij toelating tot hun opleiding. Bij nlt krijgen leerlingen de gelegenheid om kennis en vaardigheden die ze bij wiskunde geleerd hebben in natuurwetenschappelijke contexten toe te passen, zoals veel leerlingen later zullen moeten doen in vervolgopleidingen en beroepen.

- Welke leerdoelen willen we bereiken binnen nlt ten aanzien van de relatie tussen wiskunde en natuurwetenschappen?

Om deze leerdoelen te beschrijven kunnen we de eindtermen expliciteren:

- De leerling kan gebruik maken van kennis en vaardigheden uit de lessen wiskunde A, B en D bij het analyseren, redeneren en probleemoplossen in nlt-contexten.

- De leerling kan nieuwe wiskundige kennis en vaardigheden (van buiten het wiskunde schoolcurriculum) toepassen op de in nlt gebruikte contexten.

Verder zijn ook houdingsdoelen van belang:

- De leerling ziet de relevantie van wiskundige kennis en vaardigheden.
- De leerling ziet niet op tegen het gebruik van wiskunde in nieuwe contexten.

- Hoe kan de relatie tussen wiskunde en natuurwetenschap in de nlt-lessen aan bod komen?

Dit kan op velerlei manieren, bijvoorbeeld door het gebruik van formules, grafieken, modellen, statistiek, logistiek, geometrie en vectorrekening. Het gaat daarbij niet om wiskunde om de wiskunde, maar om het gebruik ervan in betekenisvolle contexten.

Dit vraagt van nlt-docenten die zelf geen wiskunde geven dat zij inzicht hebben in de gebruikelijke schoolwiskunde en in staat zijn na te gaan waar lacunes in voorkennis en vaardigheden relevant zijn.

- Mogelijke knelpunten en oplossingen

Er is nog relatief weinig ervaring van samenwerken tussen docenten wiskunde en natuurwetenschappen op Nederlandse scholen. Veelal zijn zij onderling niet op de hoogte van het gebruikte curriculum. Een blik op de examenprogramma's leert ook dat programma's wiskunde en natuurwetenschappen minder op elkaar zijn afgestemd dan de natuurwetenschappen onderling. Voor de natuurwetenschappen werken de practica, de ervaring met anw (algemene natuurwetenschappen) en een gemeenschappelijke lerarenvereniging (NVON) onderling verbindend, terwijl wiskunde zich ook op andere schoolvakken richt, bijv. economie.

Bovendien blijkt uit de literatuur¹¹ dat de conventies van de wiskunde in veel opzichten verschillen van die van de natuurwetenschappen, bijvoorbeeld in het omgaan met grafieken, het taalgebruik, de nauwkeurigheid van decimalen en eenheden, de notaties, het gebruik van tabellen, het begrip evenredigheid, de interpretatie van vectoren en het gebruik van het gelijkheidsteken. Deze verschillen staan een integratie van wiskunde bij de natuurwetenschappen vaak in de weg.

Een goede integratie van wiskunde in de nlt-lessen vereist daarom samenwerking tussen docenten wiskunde en natuurwetenschappen. Dat begint met op de hoogte te zijn van overeenkomsten en verschillen in conventies en van de te verwachten voorkennis van leerlingen met wiskunde A of B in hun profielpakket. Niet om die verschillen helemaal glad te strijken, maar wel om leerlingen behulpzaam te zijn in het gebruik van wiskunde in de nlt-lessen, met name die leerlingen die opzien tegen de wiskunde in modules. Publicaties over afstemming tussen wiskunde en profielvakken¹² kunnen daarbij behulpzaam zijn. Idealiter maakt een wiskundedocent deel uit van het nlt-team.

Een ander knelpunt is dat op sommige scholen concurrentie is ontstaan tussen nlt en wiskunde D. Om deze concurrentie te voorkomen is hier en daar ervaring opgedaan met het gezamenlijk gebruik van modules, bij voorbeeld *Dynamisch modelleren*. Er zijn ook scholen die wiskunde D-modules in nlt lessen gebruiken.

¹¹ Boohan, 2016a/b; Doorman & Eijkelhof, 2017; Needham, 2016

¹² Alink et al, 2011; Van de Konijnenberg et al, 2015

- Voorbeelden uit de praktijk

In de module *Sportprestaties* moeten leerlingen veel rekenen met formules, het tekenen van grafieken, het bepalen van de richtingscoëfficiënt van een zelf getekende grafiek en het opstellen van een functie.

Bij ontwerp opdrachten in de module *Biomedische technologie* dienen leerlingen veel wiskundige en rekenkundige kennis te gebruiken om tot een gewenst resultaat te komen.

In de module *Spelen met digitale techniek* wordt een groot beroep gedaan op logisch redeneren.

De module *Eiwitkristallografie* vraagt van leerlingen te werken met goniometrie, percentages, omwerken van formules, coördinatenstelsels, verhoudingen, periodieke verbanden, vlakken en figuren, en relatieve veranderingen (groeisnelheden).

In de module *Bewegende aarde* is de wiskunde op een mooie manier geïntegreerd in hoofdstuk 2 waarbij meetkunde op een heel ander manier gebruikt wordt dan de leerlingen gewend zijn.

“In de nlt modules wordt veel gewerkt aan het zoeken van verbanden achter getallen en het toepassen van statistiek. De monovakken werken daarbij vaak met sommen terwijl we bij nlt de gegevens uit experimenten gebruiken. We denken dat de leerlingen het daarom beter oppikken (dat moeten we nog wel checken), de wiskundige achtergrond en de toepassing daarvan in de andere bèta disciplines wordt hiermee heel duidelijk. Ook het Excel-verhaal draagt hieraan bij.”
(Gemeentelijk Gymnasium Hilversum, interview 2017)

In het kader is weergegeven wat docenten en leerlingen opmerken tijdens de schoolbezoeken door het LCP in 2013 over de rol van wiskunde.

Op drie scholen vinden de docenten dat wiskunde een prominente rol heeft binnen nlt en volledig is geïntegreerd. Op een andere school zijn de docenten het hier niet mee eens en vinden ze juist dat wiskunde in nlt alleen in toegepaste vorm nodig is. Over de rol van wiskunde zeggen de leerlingen op drie scholen dat die niet belangrijk is of slechts aanwezig is in de vorm van rekenen, maar niet op een wiskundige manier. Leerlingen op drie andere scholen vinden dat wiskunde wel belangrijk is in nlt.
(Landelijk Coördinatiepunt nlt (2014). *Schoolbezoeken nlt 2013*.)

Bronnen

Alink, N., Asselt, R. van, & Braber, N. den (2012). *Samenhang en afstemming tussen wiskunde en de profielvakken: handreiking met voorbeeldmateriaal*. Enschede: SLO.

<http://www.slo.nl/downloads/2012/samenhang-en-afstemming-tussen-wiskunde-en-de-profielvakken.pdf/>

Boohan, R. (2016a). *The language of mathematics in science*. School Science Review, 97(360), 15-20.

<https://www.ase.org.uk/journals/school-science-review/2016/03/360/>

Boohan, R. (2016b). *The Language of Mathematics in Science: A Guide for Teachers of 11-16 Science*. London: ASE.

<https://www.ase.org.uk/documents/language-of-mathematics-in-science-1/>

Doorman, M. & Eijkelhof, H. (2017). *Grafieken en samenhang tussen de bètavakken*. Euclides, 92, 4, 37-39.

Landelijk CoördinatiePunt nlt (2014). *Schoolbezoeken nlt 2013. Eindrapportage*

<http://betavak-nlt.nl/nl/p/over-nlt/feiten-en-cijfers/>

Needham, R. (Ed.) (2016). *The Language of Mathematics in Science: Teaching Approaches*. London: ASE.

<https://www.ase.org.uk/news/ase-news/language-of-mathematics-in-science-teaching-approaches/>

Van de Konijnenberg, J., Paus, J., Pieters, M., Rijke, K. & Sonneveld, W. (2015). *Afstemming wiskunde-natuurkunde tweede fase*. Enschede: SLO.

<http://downloads.slo.nl/Repository/afstemming-wiskunde-natuurkunde-tweede-fase.pdf>

4. De aandacht voor de keuze van studie en beroep

- Hoe zit aandacht voor de keuze van studie en beroep in het nlt-examenprogramma voor vwo?
Eindterm 10 De kandidaat kan van een breed spectrum aan bèta-technische studies en beroepen voorbeelden geven van interdisciplinaire vraagstukken die daarbinnen een rol spelen. Daarnaast kan de kandidaat een verband leggen tussen de praktijk van deze studies en beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en belangstelling.
Deze eindterm sluit aan bij een eindterm in alle examenprogramma's van de natuurwetenschappen:
Eindterm 4: De kandidaat kan aangeven op welke wijze natuurwetenschappelijke kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan zijn belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.
- Wat verstaan we onder de aandacht voor de keuze van studie en beroep?
Op veel scholen is het gebruikelijk dat oriëntatie op studie en beroep aandacht krijgt van schooldecanen en van vakdocenten. Door het grote aanbod van opleidingen in het hoger onderwijs (HBO en universitair) is het voor een decaan moeilijk leerlingen zich vakspecifiek te laten oriënteren. Dat kunnen vakdocenten wel maar meestal alleen goed als het gaat om opleidingen die direct aansluiten op het schoolvak. In de nlt-lessen is het vanwege het interdisciplinaire karakter mogelijk een breed scala aan opleidingen en aansluitende beroepen ter sprake te brengen. Daarbij gaat het niet alleen om interdisciplinaire opleidingen maar ook om inzicht in de betekenis van monodisciplines voor het oplossen van complexe vraagstukken.
- Waarom is de aandacht voor de keuze van studie en beroep belangrijk?
Voor universiteiten en hogescholen is een goede aansluiting met het voortgezet onderwijs van groot belang om de volgende redenen:
 - het werven van studenten voor hun opleidingen: interesse wekken, veelal in competitie met andere opleidingen;
 - het selecteren van de meest geschikte studenten voor opleidingen met een numerus fixus (bijvoorbeeld biomedische opleidingen);
 - een goede beeldvorming: wat je in de opleiding kunt verwachten, wat de opleiding van jou verwacht, wat je toekomstmogelijkheden na de opleiding zijn;
 - een goede inhoudelijke voorbereiding op de studie, hetgeen uiteraard samenhangt met de inhoud en de kwaliteit van het voortgezet onderwijs.

Voor leerlingen is van belang dat ze in de kennismaking met de inhoud van thema's van modules nader kunnen ontdekken wat hun interesses zijn. Ook kan het bijdragen aan het verkrijgen van inzicht in wat de betekenis van verschillende disciplines is bij het oplossen van problemen en het belang van het uitbreiden van kennis op een bepaald gebied.
- Welke leerdoelen willen we bereiken binnen nlt ten aanzien van de keuze voor studie en beroep?
Leerdoelen die passen bij eindterm 13 (zie 1, interdisciplinariteit) zijn:
 - De leerling heeft een breed beeld van beroepen in het bètagebied.
 - De leerling is zich bewust van eigen interesses en mogelijkheden.

- De leerling kan voorbeelden geven van interdisciplinaire vraagstukken die relevant zijn voor beroepen die passen bij de behandelde nlt-modules.
 - De leerling kan aangeven welke kennis en vaardigheden van belang zijn voor de praktijk van deze beroepen en voor de studies die daarop voorbereiden.
- Hoe kan de keuze voor studie en beroep in de nlt-lessen aan bod komen?
 Bij de selectie van modules voor het nlt-curriculum op school kan als criterium worden toegepast dat modules voldoende mogelijkheden bieden voor het aspect studie en beroep. Voor de lessen kunnen vakspecialisten worden uitgenodigd die iets kunnen vertellen over hun werk of opleiding. Ook studenten van een relevante opleiding kunnen worden uitgenodigd. Daarnaast gaan veel scholen met de leerlingen op excursie naar een bedrijf of onderzoeksinstituut.
 Daarnaast kunnen opdrachten worden gegeven waarin leerlingen zich moeten inleven in de aanpak van een vakspecialist, via bronnen of bij voorkeur door contact op te nemen met een deskundige. Ook kunnen leerlingen aan het eind van de module worden verwezen naar relevante bronnen zodat zij zich nader kunnen oriënteren op bepaalde vervolgopleidingen of beroepen. Toetsvragen kunnen illustreren dat dit aspect van nlt belangrijk is. In een afrondende opdracht kunnen leerlingen een portret schrijven van een beroep dat aansluit bij de module (inclusief een reflectie op de eigen interesse en het perspectief op een vervolgstudie).
 - Mogelijke knelpunten en oplossingen
 Knelpunten kunnen zijn dat modules nog onvoldoende aandacht geven aan studie en beroep in relatie tot het thema. Verder is het terrein van nlt-modules zo breed dat de nlt-docenten niet op de hoogte zijn van alle studie- en beroepsmogelijkheden die passen bij de modules.
 Wanneer modules nog onvoldoende aandacht besteden aan dit kenmerk van nlt dan zou dat bij de herziening van de modules ter sprake moeten komen. Intussen kunnen we leerlingen in opdrachten vragen om informatie te verzamelen aan de hand van kaders die passen bij nlt, bijvoorbeeld over interdisciplinariteit en de rol van wiskunde en technologie in vervolgopleidingen en beroepen. Ook zouden leden van het nlt-team zich kunnen specialiseren in specifieke studie- en beroepsmogelijkheden die passen bij bepaalde modules.
 - Voorbeelden uit de praktijk
 In enkele modules wordt expliciet verwezen naar vervolgopleidingen, bijv. *Spelen met digitale techniek*, *Biomedische Technologie* en *Sportprestaties*. Expliciete verwijzing naar beroepen zijn bij voorbeeld te vinden in de modules *Sportprestaties*, *Blue Energy* en *Logistiek*. Er zijn ook scholen die een bedrijvencarrousel organiseren waarbij leerlingen zelf contact opnemen met diverse bedrijven in de regio.

“In het verleden deden we masterclasses en lezingen door gastdocenten hier op school. Dat is wat weggezaakt omdat het van veel factoren afhankelijk is, zoals de grootte van de groep, in welk programma je het inpast, of er wel tijd is. We hebben een keer samengewerkt met Movaris (samen met wiskunde), maar verder (nog) niet zoveel met andere bedrijven.”

(Gemeentelijk Gymnasium Hilversum, interview 2017)

Uit de schoolbezoeken in 2013 halen we een aantal ervaringen:

Docenten (9 scholen):

- Excursies worden bij uitstek geschikt geacht om de rol van studie en beroep te benadrukken en de docenten van één school benadrukken deze rol dan ook in iedere module tijdens de lessen.
- Sommige scholen vinden het lastig om excursies te regelen en te organiseren. De docenten merken op dat je als school of als docententeam soms beperkt bent in de nodige contacten en dat contact met een hogeschool of steunpunt hier uitkomst zou kunnen bieden.
- De docenten van vier scholen vinden de link tussen studie en beroep belangrijk. Twee scholen vinden van niet omdat dit al evident aanwezig is in de modules of al naar voren komt in andere vakken in het kader van LOB (loopbaanoriëntatie en -begeleiding).
- Op twee scholen wordt in de les (kort) extra aandacht geschonken aan studies en beroepen.

Leerlingen (7 scholen):

Aan de leerlingen is gevraagd of ze een link kunnen leggen tussen nlt en studie/beroep.

- De leerlingen op twee scholen vinden deze link alleen bij de module *Forensisch onderzoek*.
- Op de andere vijf scholen herkennen leerlingen de aanwezigheid van studies en beroepen in de modules, al vinden ze het noemen van voorbeelden soms lastig en moet er even doorgevraagd worden.
- Op vier scholen worden voorbeelden uit excursies of gastlessen genoemd.
- De havo-leerlingen kunnen zich door nlt een betere voorstelling maken van beroepen, terwijl de vwo-leerlingen juist meer inzicht krijgen in vervolgstudies.

Verbeterpunten:

- Op één school vinden de leerlingen dat studies en beroepen in sommige modules wel duidelijker naar voren mogen komen.
- De leerlingen van een andere school geven het expliciet benoemen van studies/beroepen tijdens de les aan als verbeterpunt.

Het verwachte nut voor vervolgopleidingen:

- De leerlingen op twee scholen denken niet dat nlt erg nuttig is in de vervolgopleiding (bij *Forensisch onderzoek* zien ze dat nut wel).
- Leerlingen op de andere vijf scholen denken wel dat ze in hun vervolgopleiding onderwerpen of vaardigheden tegenkomen die ze hebben geleerd tijdens nlt.
- Ze denken voornamelijk dat vaardigheden als samenwerken, onderzoek doen, verslagen maken en wiskundige vaardigheden van pas zullen komen in de vervolgopleiding. Vaardigheden die verder nog specifiek genoemd worden zijn: interdisciplinariteit (het bekijken van een probleem vanuit meerdere invalshoeken) en presenteren.

Onderzoek onder eindexamenleerlingen

Uit een onderzoek van Nelleke den Braber¹³ onder 182 eindexamenleerlingen havo en vwo blijkt dat twee-derde van de leerlingen verwacht dat zij in hun vervolgopleiding iets hebben aan de inhoud en vaardigheden die zij hebben geleerd in de nlt-lessen, bijvoorbeeld samenwerken, verslagen schrijven, onderzoeken en probleemoplossen. Een minderheid van de leerlingen (43%) geeft aan dat ze via een nlt-module wel eens kennis hebben gemaakt met een studie of beroep waar ze tot dan toe nog nooit van hadden gehoord. Voor de overige 57% geldt dit niet, de leerlingen weten het niet of hebben de vraag niet beantwoord.

Ongeveer de helft van de leerlingen heeft wel eens gastspreker of een gastcollege gehad en/of een hogeschool of universiteit bezocht in het kader van nlt. Een bezoek aan een bedrijf of organisatie gebeurde minder vaak (bijna 30%). Uitleg door de docent over beroepen en studies zien we bij bijna 40% van de leerlingen. Ongeveer 80% van hen is van plan met een bèta- of techniekstudie te beginnen.

De wijze waarop nlt heeft geholpen bij het kiezen van een vervolgopleiding verschilt sterk tussen leerlingen. Een groot gedeelte van de leerlingen wist al wat ze wilde studeren. Wel geven veel leerlingen aan dat nlt heeft geholpen bij het ontdekken van (des)interesses. Een paar leerlingen geven aan dat nlt heeft bijgedragen aan de keuze voor de vervolgopleiding.

“Het is een leuke uitbreiding op je kennis in diverse richtingen. Je leert jezelf beter kennen omdat je je interesses uitbreidt/verkent. Het is een leuke voorbereiding op het studeren na de middelbare school.”

“Ik ga Natuur/Sterrenkunde en Wiskunde studeren, maar zonder nlt zou ik geen Natuur-/Sterrenkunde zijn gaan doen. Natuurkunde zoals dat bij het vak natuurkunde op de middelbare school wordt behandeld is allemaal simpel, basaal, logisch en niet uitdagend. Bij nlt heb ik geroken aan de echte natuurkunde.”

“Als je nog niet zeker weet wat je als vervolgstudie wilt gaan doen, dan is het handig om nlt te kiezen, omdat je dan allemaal modules ziet die afwijken van de standaard vakken.”

“Het vak zorgt er soms voor dat de keuze voor een vervolgopleiding nog moeilijker wordt. Je krijgt te maken met een kijkje in een heel breed bètavak. Zo kan je drie verschillende onderwerpen zo leuk gaan vinden doordat nlt je daarmee in aanraking bracht, dat je niet een 'simpele' studiekeus krijgt.”

(Braber, N. den (2013). *Het nut van nlt volgens eindexamenleerlingen*.

¹³ Braber, N. den (2013). *Het nut van nlt volgens eindexamenleerlingen*

Bronnen

Braber, N. den (2013). *Het nut van nlt volgens eindexamenleerlingen*. Utrecht: Landelijk Coördinatiepunt nlt.

http://betavak-nlt.nl/dmedia/media/site-files/0ca8e/5e996/77187/f57e5/98cf/Onderzoek-naar-nut-van-nlt-volgens-examen_CD0gBmV.pdf

Landelijk CoördinatiePunt nlt (2014). *Schoolbezoeken nlt 2013. Eindrapportage*.

<http://betavak-nlt.nl/nl/p/over-nlt/feiten-en-cijfers/>

Website De Bètaberoepen van Bètamentality:

<http://www.betamentality.nl/?pid=17&page=DE>

Website van VHTO over beroepen: <http://www.vhto.nl/meisjes-ouders/meisjes/>

Monitor Techniekpact: <https://www.platformbetatechniek.nl/publicaties/monitor-techniekpact-facts-en-figures-btatechniek-2016>

Website Dit doe ik in Bètawetenschap, Techniek & ICT havo-vwo:

<http://www.ditdoeik.nl/havo-vwo/>

Website Exact wat je zoekt, zeven bètawerelden:

<http://www.exactwatjezoekt.nl/betawerelden/>

5. De wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie

- Hoe zit de wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie in de nlt-examenprogramma's?

Eindterm 15 *De kandidaat kan de wisselwerking tussen de ontwikkeling van natuurwetenschappelijke kennis en technologie beschrijven en toelichten aan de hand van voorbeelden uit de domeinen C t/m E/F.*

Eindterm 18 *De kandidaat kan een aantal voor recente technologieën belangrijke methoden en technieken benoemen en kan een of meer daarvan toepassen op interdisciplinaire (ontwerp)vraagstukken.*

Eindterm 19 *De kandidaat kan een actueel technologisch proces of product beschrijven en daarbij de bouw of werking ervan verklaren aan de hand van relevante natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten.*

En extra voor vwo:

Eindterm 22 *De kandidaat kan een aantal voor de natuurwetenschap belangrijke recente theorieën benoemen en kan concepten uit een of meerdere van deze theorieën toepassen op natuurwetenschappelijke of technologische vraagstukken.*

Eindterm 23 *De kandidaat kan een aantal belangrijke methoden en technieken van meten, onderzoeken en ontwerpen benoemen en kan enkele daarvan toepassen op natuurwetenschappelijke of technologische vraagstukken.*

- Wat verstaan we onder de aandacht voor de wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie?
Natuurwetenschappen en technologie hebben zich in nauwe relatie tot elkaar ontwikkeld. We verstaan onder de wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie twee aspecten. Enerzijds maakt technologie veel gebruik van kennis uit de natuurwetenschappen. Anderzijds is voortgang in natuurwetenschappelijk onderzoek vrijwel ondenkbaar zonder gebruik te maken van nieuwe ontwikkelingen in de technologie.
- Waarom is de aandacht voor de wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie belangrijk?
Om nieuwe ontwikkelingen in wetenschap en technologie te kunnen interpreteren is van belang dat leerlingen inzicht krijgen in de wisselwerking tussen beide domeinen.
Daarnaast is een van de doelen van de tweede fase om leerlingen zicht te geven op toekomstmogelijkheden en zich bewust te laten worden van hun affiniteit met bepaalde vervolgopleidingen en beroepen.
- Welke leerdoelen willen we bereiken binnen nlt ten aanzien van de wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie?
 - De leerling kan voorbeelden geven van technieken die een belangrijke rol hebben gespeeld bij de ontwikkeling van natuurwetenschappelijke kennis.
 - De leerling kan voorbeelden geven van natuurwetenschappelijke kennis en methoden die een belangrijke rol hebben gespeeld bij de ontwikkeling van nieuwe technologie.

- De leerling kan aan de hand van recente voorbeelden illustreren hoe zowel theorieën als technieken van belang zijn voor het oplossen van actuele vraagstukken.
- De leerling kan met voorbeelden illustreren wat de overeenkomsten en verschillen zijn tussen de manier van werken van wetenschappers en technologen.
- Hoe kan de wisselwerking tussen natuurwetenschappen en technologie in de nlt-lessen aan bod komen?
 De nlt-docent kan een technoloog en een natuurwetenschapper uitnodigen om hun perspectief te schetsen op vraagstukken die passen bij een module. Dit in aanvulling op eigen lessen van de nlt-sectie als geheel waarin deze wisselwerking expliciet aandacht krijgt.
 Ook kunnen aan de leerlingen groepsopdrachten worden gegeven waarin zij rollen vervullen als wetenschapper of technoloog.
- Mogelijke knelpunten en oplossingen
 Als de nlt-docent zelf weinig overzicht heeft over de relatie tussen de ontwikkeling van kennis en technieken in een module, is het raadzaam als hij/zij zich verdiept in de wisselwerking in de context van de module.
 Maar ook de module zelf kan tekortschieten in aandacht voor de relatie tussen wetenschappen en technologie: de module richt zich op een van beide of expliciteert niet de wisselwerking. Ook hier kan de nlt-sectie zelf een aanvullende rol spelen, maar ook bij de herziening van de modules is dit een punt van aandacht.
 Als leerlingen alleen geïnteresseerd zijn in natuurwetenschappen of alleen in technologie, is het eveneens de taak van de docent de relatie tussen beide te laten zien.
- Voorbeelden uit de praktijk
 In de module *Logistiek* komen ontwerpen en onderzoeken beide aan bod maar het accent op de samenhang verschilt in de vijf subthema's. De module *Energie-eiland* benadrukt vooral de toepassing van natuurwetenschap in technologie. De modules *Satellieten en aardobservatie* en *Sportprestaties* richten zich meer op het gebruik van technologie voor het doen van onderzoek. In de module *Technisch ontwerpen in de biomedische technologie* wordt de wisselwerking goed uitgewerkt: om een goed ontwerp te maken moet de hele ontwerpcyclus worden doorlopen en moet worden onderzocht of het ontwerp werkt.

Uit negen schoolbezoeken (2013) komt naar voren dat op vier scholen de wisselwerking tussen natuurwetenschap en technologie ter sprake komt. Op twee van deze scholen herkennen leerlingen deze link niet en op één school wel. Op de vierde school kunnen de vwo-leerlingen deze link wel herkennen, maar de havo-leerlingen niet of slechts één kant op (technologie beïnvloedt natuurwetenschap). Als voorbeelden worden genoemd: het ontwerp van nieuwe schaatspakken dat leidt tot nieuwe records, ontstaan van nanotechnologie en de module 'Wat zeg je?'.

Bronnen

Landelijk CoördinatiePunt nlt (2014). *Schoolbezoeken nlt 2013. Eindrapportage*
<http://betavak-nlt.nl/nl/p/over-nlt/feiten-en-cijfers/>

National Research Council (NRC) (2012). *A Framework for K–12 Science Education: Practices, crosscutting concepts, and core ideas*. Washington, DC: National Academies Press.
http://www.nap.edu/openbook.php?record_id=13165

NGSS Lead States (2013). *Next Generation Science Standards: For states, by states*. Washington, DC: The National Academies Press.
<http://www.nextgenscience.org/>

Ottevanger, W., Oorschot, F., Spek, W., Boerwinkel, D.J., Eijkelhof, H., de Vries, M., van der Hoeven, M., & Kuiper, W. (2014). *Kennisbasis natuurwetenschappen en technologie voor de onderbouw vo. Een richtinggevend leerplankader*. Enschede: SLO.
<http://www.slo.nl/downloads/2014/kennisbasis-natuurwetenschappen-en-technologie-voor-de-onderbouw-vo.pdf/>

Vries, M. J. de (2016). *De E in STEM: van raadsel tot sleutel*. Openingslezing ECENT-conferentie, Utrecht, 18 mei 2016.
https://elbd.sites.uu.nl/wp-content/uploads/sites/108/2017/05/2892_0_openingslezingmarcdevries.pdf
Of:
http://www.fi.uu.nl/ecentelwier/documents/elwier_ecent_de_vries_2016.pdf