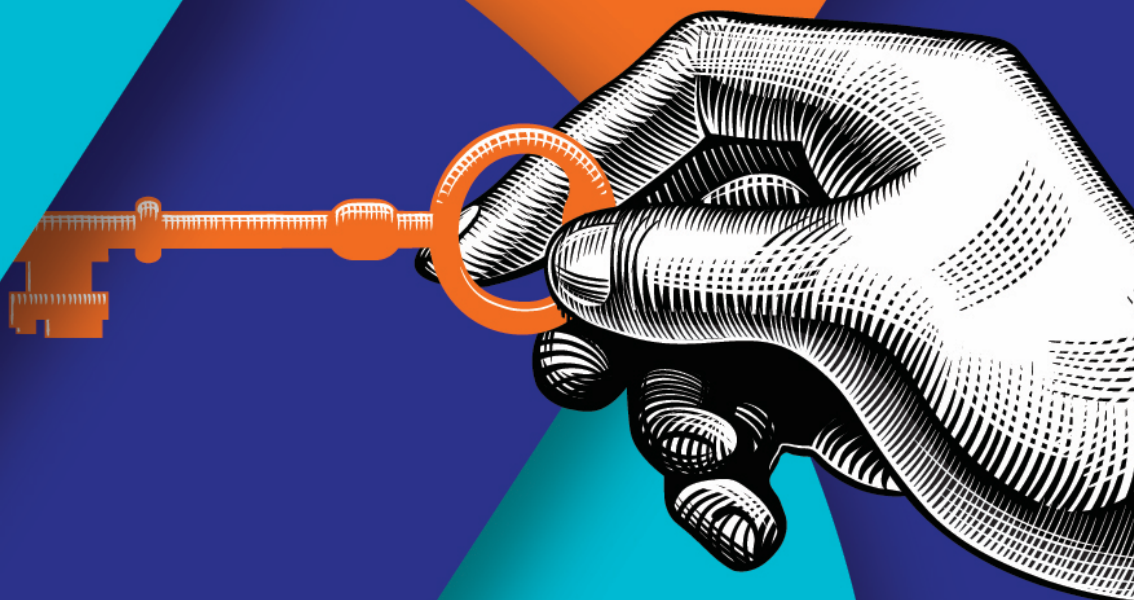


slo / een doordacht curriculum
dat doen we *samen*

Startnotitie Wiskunde

Bovenbouw voortgezet onderwijs

SLO, december 2021



Verantwoording



**2021 SLO (nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling),
Amersfoort**

Mits de bron wordt vermeld, is het toegestaan zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave geheel of gedeeltelijk te kopiëren en/of verspreiden en om afgeleid materiaal te maken dat op deze uitgave is gebaseerd.

Auteurs: Jos Tolboom en Petra Hendrikse

Informatie

SLO

Postbus 502, 3800 AM Amersfoort

Telefoon (033) 4840 840

Internet: www.slo.nl

E-mail: info@slo.nl

Inhoudsopgave

1. Inleiding	4
2. Huidige situatie en positie van het vak wiskunde	5
3. Ontwikkelingen	7
3.1 Maatschappelijke ontwikkelingen	7
3.2 Ontwikkelingen in de wetenschap	9
3.3 Ontwikkelingen in onderwijsbeleid en -praktijk	10
3.4 Invloed van digitale technologie	11
4. Curriculaire uitdagingen	12
5. Voorwaarden	15
6. Conclusie	17
7. Bronnenlijst	18

1. Inleiding

Vanaf najaar 2021 worden vakvernieuwingscommissies opgestart voor het ontwikkelen van concept-examenprogramma's voor een aantal vakken in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. Startnotities zijn daarbij een belangrijk instrument. Ze brengen per vakgebied de ontwikkelingen binnen onderwijsbeleid, onderzoek, onderwijspraktijk en samenleving in kaart en leggen zo een solide basis onder het ontwikkelwerk.

Dat geldt ook voor deze startnotitie, die specifiek zicht biedt op de relevante en actuele ontwikkelingen voor de bijstelling van het examenprogramma wiskunde in de bovenbouw van het havo en vwo. De startnotities zijn geschreven door SLO. Bij de totstandkoming zijn externe deskundigen van de Nederlandse Vereniging van Wiskundeleraren betrokken geweest. De notitie bestaat uit de volgende onderdelen:

1. Inleiding
2. Huidige situatie en positie van het vak wiskunde
3. Recente ontwikkelingen in wetenschap, maatschappij en het vak
4. Curriculaire uitdagingen
5. Voorwaarden voor vernieuwing
6. Conclusies
7. Bronnen

Deze startnotitie integreert ook opbrengsten en adviezen van het ontwikkelteam Rekenen & Wiskunde in het kader van Curriculum.nu (2019) en de eerder ontwikkelde startnotitie voor het kerndoelentraject (Curriculum.nu, 2018). De vakvernieuwingscommissie wiskunde zal de huidige startnotitie gebruiken als input voor het ontwikkelen van het examenprogramma wiskunde in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs. In deze startnotitie spreken we in het algemeen over 'wiskunde' en alleen daar waar het relevant is over het type wiskunde (A, B, C, of D). Voor een mogelijke aanpassing in de vakkenstructuur is een voorstel in ontwikkeling. Omdat de vakvernieuwingscommissie wiskunde vmbo al in een ver gevorderd stadium is, wordt wiskunde vmbo niet beschreven in deze startnotitie.

Andere input omvat de werkopdracht van het ministerie van OCW aan SLO en de operationalisering daarvan in werkinstructies; de adviezen van de Curriculumcommissie, waaronder het hanteren van een rationale bestaande uit de doeldomeinen kwalificatie, socialisatie en persoonsvorming; de huidige examenprogramma's; en de voorstellen van Curriculum.nu.

2. Huidige situatie en positie van het vak wiskunde

Wiskunde is naast Nederlands en Engels een kernvak in het curriculum voor de bovenbouw van het havo en vwo. Alleen voor havisten in het profiel Cultuur & Maatschappij (CM) is het vak wiskunde niet verplicht. In de bovenbouw bouwt het vak voort op het leergebied wiskunde zoals dat in de onderbouw wordt aangeboden. De focus van het vak wiskunde in de bovenbouw is, sterker dan in de onderbouw, gericht op kwalificatie voor het tertiair onderwijs.

Het vak heeft een aantal verschijningsvormen in het curriculum van de bovenbouw:

- *Vmbo wiskunde*; momenteel is een vernieuwingscommissie bezig om het curriculum te herzien. De vernieuwingscommissie beoogt met dit curriculum het volgende:
 - Wiskunde 1 is voor alle vmbo-leerlingen, omvat referentieniveau 2F en richt zich op maatschappelijk functioneren.
 - Wiskunde 1,2 is voor de vmbo-leerlingen die in de huidige situatie wiskunde (moeten) doen en richt zich op een brede wiskundige ontwikkeling op het gebied van kwalificatie, socialisatie en persoonsvorming.
- *Wiskunde A*:
 - profielvak voor havo- en vwo-profiel Economie & Maatschappij
 - profielvak voor havo- en vwo-profiel Natuur & Gezondheid
- *Wiskunde B*:
 - profielvak voor havo- en vwo-profiel Natuur & Techniek
- *Wiskunde C*: profielvak voor vwo-profiel Cultuur & Maatschappij
- *Wiskunde D*: profielkeuzevak voor Natuur & Techniek, alleen te kiezen naast wiskunde B

Wat betreft de inhoud zijn voor iedere wiskundevariant die wiskundige domeinen gekozen, die betekenisvol en relevant zijn voor de doelgroep. Binnen ieder profiel in het havo/vwo is het toegestaan een 'formelere' wiskundevariant te kiezen dan de voor het betreffende profiel als profielvak voorgeschreven variant. Je kunt dus bijvoorbeeld wiskunde A in plaats van wiskunde C kiezen, of wiskunde B in plaats van wiskunde A.

Het spectrum 'toegepast' tot en met 'formeel' beschrijven we hieronder¹.

Per wiskundevariant zijn er verschillende accenten. In de volgorde van 'toegepast' naar 'formeel':

- Wiskunde C: wat betreft de formele kant van de wiskunde beperkt wiskunde C zich tot de inhoud van het referentiekader rekenen tot en met niveau 3S en het doen van kwalitatieve uitspraken over het gedrag van standaardverbanden. De aandacht voor vorm en ruimte en logisch redeneren is uniek voor wiskunde C.

¹ Dit is een globaal spectrum, waarbij nuancering mogelijk is. Zo heeft wiskunde B havo weliswaar een wat formeel inhoudelijk karakter, maar is bedoeld om te worden toegepast in technische probleemsituaties.

- Wiskunde A: aan de formele kant gaat wiskunde A verder, doordat de standaardverbanden ook kwantitatief worden geanalyseerd, inclusief door middel van differentiaalrekening (op het vwo). Bij statistiek is er hier ook aandacht voor verklarende statistiek.
- Wiskunde B: de formele wiskunde staat nog sterker dan bij wiskunde A op de voorgrond. Er worden meer typen verbanden op een meer diepgravende manier bestudeerd. In wiskunde B zit geen statistiek, maar wel meetkunde. Deze meetkunde maakt gebruik van algebra voor het beschrijven van de te bestuderen objecten.
- Wiskunde D: aanvullend op wiskunde B is dit een vak dat verbreedt, bijvoorbeeld in het domein Kansrekening en statistiek, en verdiept, bijvoorbeeld in het domein Complexe getallen.

Daarnaast sluit elke wiskundevariant aan bij het beoogde vervolgonderwijs, bijvoorbeeld in het al dan niet gebruiken van specifieke vaktaal. In wiskunde B en D wordt dat sterk gedaan.

In iedere wiskundevariant komt het gebruik van ICT aan de orde waar dat van toegevoegde waarde is. Tot slot merken we hier op dat alle wiskundevarianten met elkaar delen dat ze zes wiskundige denkactiviteiten (WDA) bevatten. Het gaat hierbij om: modelleren en algebraïseren; ordenen en structureren; analytisch denken en probleem oplossen; formules manipuleren; abstraheren; logisch redeneren en bewijzen. Uiteraard verschilt het per wiskundevariant waar de balans tussen deze zes precies ligt. Van de zes genoemde WDA's heeft Drijvers (2015) als de drie belangrijkste gekozen: modelleren en algebraïseren; analytisch denken en probleem oplossen; formules manipuleren.

In 2015 werden de huidige wiskundeprogramma's ingevoerd. Dit betekent dat er in 2017 voor het eerst op het havo en in 2018 op het vwo examen in de huidige vakken is afgelegd. Aangezien er in 2020 geen landelijke examens zijn afgenomen, is er voor het havo 4 keer en voor het vwo 3 keer een centraal examen van de huidige vakken geweest. In 2021 is het eerste cohort hbo-studenten van vierjarige opleidingen afgestudeerd, met als achtergrond het vernieuwde examenprogramma wiskunde. Voor universiteiten is dat ook gebeurd voor eenjarige masteropleidingen, maar nog niet voor tweejarige. Het is daarom nog te vroeg om de effecten van het vernieuwde programma in de volle breedte te kunnen oordelen. In verschillende monitoringsonderzoeken van Folmer & Ottevanger (2017a, b, c, d) is bij docenten de onderwijsbaarheid, haalbaarheid en toetsbaarheid bevraagd. In bovenstaande publicaties zijn sterke en zwakke punten van de toen nieuwe en inmiddels huidige examenprogramma's gerapporteerd.

3. Ontwikkelingen

In deze paragraaf gaan we nader in op de voornaamste ontwikkelingen en uitdagingen voor het vak wiskunde. Daarbij maken we onderscheid tussen maatschappelijke ontwikkelingen(3.1), ontwikkelingen in de wetenschap (3.2) en in de onderwijspraktijk (3.3). Ook staan we stil bij de invloed van digitale technologie (3.4). In de huidige curricula voor wiskunde zijn deze ontwikkelingen mogelijk onderbelicht.

3.1 Maatschappelijke ontwikkelingen

De rol van statistiek en toegenomen rekenkracht

Een maatschappelijke ontwikkeling is het steeds vaker ontstaan en beschikbaar komen van grote datasets. Bij overheidsinstanties zowel als bij bedrijven is een toenemende behoefte om patronen in deze datasets zichtbaar te maken, mede om beslissingen te kunnen nemen in complexe situaties. Afhankelijk van de definitie die men hanteert, vallen het visualiseren van grote datasets en het nemen van beslissingen op basis van datasets onder de noemer statistiek. In het visiedocument van het Platform Wiskunde Nederland (PWN) wordt de beschikbaarheid van grote datasets genoemd als één van de twee oorzaken van een toenemende reikwijdte van de wiskunde (Platform Wiskunde Nederland, 2014). Doorredenerend op die lijn zullen steeds meer leerlingen in de toekomst vaardigheden nodig hebben om op de juiste manier om te gaan met (conclusies uit) grote datasets. Bruin-Muurling en collega's (2018) stellen dan ook dat steeds meer leerlingen baat zullen hebben bij statistiekonderwijs.

Een andere maatschappelijke ontwikkeling die PWN noemt - volgens hen de tweede oorzaak van de toenemende reikwijdte van wiskunde - is de explosieve groei van de rekenkracht van computers. Dit leidt tot verbreding van de gebieden waarin modelleren en simuleren worden ingezet, waarvoor algoritmen nodig zijn. Het overzien van de consequenties van het gebruik van algoritmen is steeds vaker een onderwerp in het nieuws. Het is daarom belangrijk dat leerlingen voldoende wiskundige kennis hebben om de kansen en de gevaren hiervan te kunnen onderkennen. Of, in de woorden van de *Werkgroep wiskunde voor morgen* (2019, p. 2):

“Gebruikers moeten het reken-wiskundewerk dat apparaten uitvoeren op een globaal niveau begrijpen. Dit hebben ze nodig om output kritisch te kunnen interpreteren, om te kunnen doorzien hoe de output door de input wordt beïnvloed, en om met anderen te kunnen communiceren over de algoritmen en modellen waar apparaten en applicaties gebruik van maken.”

In dit kader is nog steeds relevant wat in de startnotitie van Curriculum.nu (2018, p. 7) geschreven werd:

“Curriculaire antwoorden op zulke veranderingen kunnen gevonden worden door bijvoorbeeld meer nadruk te leggen op algemene rekenwiskundige vaardigheden als kritisch kwantitatief denken en reken-wiskundig probleemoplossen. Hetzelfde

geldt voor het toevoegen en/of meer nadruk leggen op bepaalde rekenwiskundige leerinhouden in het curriculum als *statistical literacy*, waaronder bijvoorbeeld statistische methoden voor onderzoek naar verbanden en patronen in grote gegevensverzamelingen. Deze vakinhouden staan in de belangstelling omdat juist zij gereedschappen bieden om big data te analyseren (Boswinkel & Schram, 2012; Platform Wiskunde Nederland, 2014; UNESCO, 2012)."

Voor de ontwikkelingen in het onderzoek naar statistiekonderwijs, zie paragraaf 3.2.

Kansengelijkheid en risico op laaggecijferdheid

In het bevorderen van kansengelijkheid en het voorkomen en terugdringen van kansongelijkheid heeft het schoolvak wiskunde een belangrijke verantwoordelijkheid.

Onvoldoende wiskundige vaardigheid speelt in Nederland al langer. Buisman et al. (2013) hebben laaggecijferdheid onder de beroepsbevolking onderzocht. Het probleem bleek in omvang zelfs groter dan dat van laaggeletterdheid. Dit komt bij een beroepsbevolking van toentertijd 8,3 miljoen neer op ongeveer 18% van de populatie.

Volgens de meest recente editie van het internationaal vergelijkende PISA-onderzoek behaalt 16% van de Nederlandse vijftienjarigen niet het niveau van wiskundige geletterdheid dat nodig is om als mondige burger deel te kunnen nemen aan de huidige maatschappij (Gubbels et al., 2019). Voor het kunnen functioneren in een maatschappij vol cijfers en grafieken is laaggecijferd zijn een belemmering. Het is daarom zorgelijk dat er in Nederland ongeveer 1,5 miljoen laaggecijferden zijn. Zelfs van de Nederlanders met een havo- of vwo-diploma is ongeveer 3% laaggeletterd (Buisman & Houtkoop, 2014), waarvan de meerderheid ook nog eens laaggecijferd is (Bor-de Vries & Hoogland, 2020). Het is van groot belang dat alle Nederlandse burgers over voldoende wiskundige kennis en vaardigheden beschikken om maatschappelijk te kunnen functioneren.

Kansengelijkheid betekent ook aandacht voor diversiteit. Het werk van Rainey en collega's (2018) richt zich op de vraag wat het bieden van kansengelijkheid en ruimte voor diversiteit betekent voor de bètavakken. Het gevoel van verbondenheid kan bijvoorbeeld worden vergroot door een goede keus van wiskundige deeldomeinen en de probleemsituaties waarin de die domeinen een rol spelen. Voor deze kwesties wordt in de Nederlandse context ook aandacht gevraagd door Mesman & Volman (2021) en in de internationale context door de OECD (2018).

Digitale geletterdheid

Door de voortschrijdende digitalisering van de samenleving is digitale geletterdheid (DG) van toenemend belang. DG nog geen verplicht onderdeel van het curriculum, maar maakt wel onderdeel uit van Curriculum.nu en de verwachte actualisaties van kerndoelen. Voor de bovenbouw vo geldt dat inhouden DG ondergebracht gaan worden bij verschillende vakken, waaronder wiskunde. Dat er in dat curriculum wel aanknopingspunten zijn, blijkt uit een

Europese vergelijking (Tolboom & Van Rooyen, 2021).

Voor subdomein 4 van DG, *computational thinking*, biedt wiskunde een interessante curriculaire context. Denk bijvoorbeeld aan algoritmisch denken, een grote opdracht 13 uit de voorstellen van Curriculum.nu (2019). Op dit specifieke vlak loopt in Nederland al een aantal veelbelovende projecten, waaronder de samenwerking tussen de Universiteit Utrecht, de Universiteit van Leiden, een zestal scholen en SLO (Kallia et al., 2021) in een hierop gebaseerd Europees project. Voor een nadere uitwerking van deze ontwikkeling, zie hoofdstuk 4 (Curriculaire uitdagingen).

3.2 Ontwikkelingen in de wetenschap

In deze paragraaf beperken we ons tot de hoofdlijnen van het onderzoek naar het onderwijs in wiskunde. In het handboek wiskundededidactiek (Drijvers et al., 2012) wordt de wetenschappelijke stand van zaken toegelicht in een elftal thematische hoofdstukken: Leren en onderwijzen van wiskunde, Variabelen en vergelijkingen, Functies, Afgeleide, Meetkunde, Kansrekening, Statistiek, Modelleren, ICT in het wiskundeonderwijs, Wiskundetoetsen en Wiskundige denkactiviteiten. Ter oriëntatie zou de vakvernieuwingscommissie dit handboek kunnen bestuderen, naast bijvoorbeeld het internationale handboek over wiskundeonderwijs (Clements et al., 2013).

We noemen daarnaast nog enkele grote thema's, met speciale aandacht voor de ontwikkelingen in onderzoek naar wiskundeonderwijs in Nederland: nieuwe technologieën in het wiskundeonderwijs, *computational thinking*, redeneervaardigheden en statistiek.

Een groot thema is onderzoek naar de mogelijkheden van nieuwe technologieën voor het wiskundeonderwijs. Een voorbeeld hiervan is onderzoek naar de rol van het ICT-ondersteund analyseren van lichaamsbewegingen op de ontwikkeling van wiskundig begrip, zoals in het onderzoek van Ferrari (2020).

Naast onderzoek naar de inzet van nieuwe technologieën is er ook aandacht nodig voor de kennis voor het ontwikkelen van deze technologieën of toepassingen daarvan. Een consortium van scholen, universiteiten en SLO doet momenteel onderzoek naar wiskunde in relatie tot *computational thinking* (Kallia et al., 2021). Als gesteld biedt het verweven en expliciteren van *computational thinking* een uitstekende kans aan het vak wiskunde om ook in de komende tijd actueel en relevant te blijven.

Er is ook onderzoeksmatige aandacht voor het aanleren en gebruiken van wiskundetaal en klassengesprekken over wiskundige problemen. Een voorbeeld hiervan is het dudoc-onderzoek van Farran Mackay naar wiskundig redeneren in het domein van analytische meetkunde (Mackay et al., 2021). De redeneervaardigheid van leerlingen is in de context van wiskunde C onderzocht door Hugo Bronkhorst (2021).

Mede door de grote toename van het gebruik van statistische methoden op steeds meer gebieden, is er nog een ontwikkeling gaande wat betreft statistiek. Het gaat hier om een ontwikkeling binnen de wetenschappelijke discipline statistiek. Binnen de wetenschap is er roering over op welke momenten met welke statistische technieken en methoden er welke uitspraken gedaan kunnen en mogen worden (Meester, 2019). De Vereniging voor Statistiek en Operational Research (VvSOR) schreef een brief als reactie op de plannen van Curriculum.nu (2019), ook over deze ontwikkelingen. Een citaat uit de brief: "Daarbij schrijven methodologen ook al jaren kritisch over de (on)wenselijkheid van significantietoetsen met p -waardes, en is dat debat recentelijk weer opgelaaid. Het lijkt ons verstandig om een discussie te voeren over of en, zo ja, hoe dit gevolgen moet hebben voor het onderwijs op de middelbare school." De VvSOR stelt dat er veel methoden zijn om data te analyseren en er geen universeel beste methode is. De VvSOR adviseert om "deze keuzes voor de langdurige toekomst pas te maken als deze vraagstukken verder uitgedacht zijn." De vernieuwingscommissie zal hierin nog verdere stappen moeten zetten. Daarbij kan het werk van Van Dijke-Droogers (2021) met betrekking tot het introduceren van verklarende statistiek in vwo-3 inspireren.

3.3 Ontwikkelingen in onderwijsbeleid en -praktijk

Binnen het vakgebied wiskunde zijn verschillende ontwikkelingen zichtbaar, die vernieuwing van de examenprogramma's kunnen voeden. Begin 2018 startte het ontwikkelteam Rekenen & Wiskunde met project Curriculum.nu. Eind 2019 zijn de eindproducten opgeleverd. In dit project heeft het ontwikkelteam voorstellen gedaan voor de voor leerlingen benodigde kennis en vaardigheden in het po en de onderbouw van het vo. Deze opbrengsten zijn beschreven in een visie, 13 grote opdrachten, bijbehorende bouwstenen en een toelichting.

De benodigde kennis en vaardigheden bevatten (1) wiskundige kennis en (2) wiskundige denk- en werkwijzen. Beide categorieën gelden voor alle leerlingen in het primair en voortgezet onderwijs. De wiskundige denkwijzen zijn niet identiek aan de wiskundige denkactiviteiten zoals die nu in de bovenbouw gehanteerd worden.

De huidige kerndoelen en examenprogramma's zullen worden bijgesteld op basis van in elk geval deze opbrengsten, rekening houdend met de aanbevelingen van de adviezen van de wetenschappelijke curriculumcommissie. Daarbij zullen ook de relevante inhouden van digitale geletterdheid en burgerschap worden geïntegreerd. Daarnaast wordt het referentiekader taal en rekenen in opdracht van de minister geëvalueerd op de werking ervan in de praktijk. Dit ter voorbereiding op mogelijke bijstelling van het referentiekader nadat de kerndoelen zijn geactualiseerd.

Vmbo

Begin 2020 is de vernieuwingscommissie wiskunde vmbo gestart. Deze vernieuwing loopt voor op de andere curriculumvernieuwingstrajecten, omdat het vmbo-curriculum (in verband met wegvallen van de rekentoets) met

voorrang een actualisatie behoeft. Door deze actualisatie moeten alle leerlingen die straks examen doen in het vmbo verplicht minstens één wiskundevak volgen.

Eén van de andere doelen van de actualisatie is het verbeteren van de aansluiting van het vmbo-tl op het havo. De vernieuwingscommissie werkt op dit moment aan de inhoud voor een verplicht wiskundevak en een keuzevak. Dit verplichte wiskundevak (met als werktitel 'Deel 1') is gericht op het maatschappelijk functioneren van leerlingen en zal veel onderdelen van referentieniveau 2F bevatten. Het keuzevak (met als werktitel 'Deel 2') bevat meer beroepsgerichte/praktijkgerichte en formele/abstracte wiskunde en is gericht op een soepele doorstroom naar vervolgopleidingen, beroepsgerichte profielvakken en het havo.

Als gevolg van de maatregelen met betrekking tot corona heeft het ontwikkelproces vertraging opgelopen. Naar verwachting zullen in 2031 de eerste nieuwe examens door leerlingen gemaakt worden.

3.4 Invloed van digitale technologie

In het verleden hebben invoering van nieuwe technologieën, zoals de rekenmachine en de grafische rekenmachine (GR), tot discussies geleid. Deze gingen over welke kennis en mate van beheersing er van bepaalde stof nodig is als er ook een technologisch instrument kan worden ingezet. Deze discussies zijn nog altijd niet verstomd. Zie hiervoor ook de *Nadere verkenning rekenen wiskunde* (SLO, 2020). Intussen hebben ook andere digitale mogelijkheden hun intrede gedaan, zoals bijvoorbeeld Microsoft Excel. Dit is onontkoombaar bij de wiskundevakken met de eindterm 'De kandidaat beheerst statistisch ICT-gebruik'. Op dit moment bieden de technologische instrumenten meer mogelijkheden dan is toegestaan tijdens de examens. Dit leidt tot een jaarlijkse circulaire over welke types GR zijn toegestaan en over in welke modus de GR mag staan tijdens de centrale examinering. Daarbij hebben sommige duurdere types GR voordelen boven de goedkopere types. Dit leidt tot kansenongelijkheid. Er wordt daarom door het College voor Toetsen en Examens (CvTE) nagedacht over de inzet van technologie in de toekomst, rekening houdend met kansengelijkheid. Het is van groot belang om 'gelijk op te denken' met het CvTE op dit vlak. Dit geldt ook met betrekking tot het in de volgende paragraaf genoemde knelpunt 'heroriëntatie op de rol en wijze van toetsing'.

4. Curriculaire uitdagingen

De in hoofdstuk 3 gesignaleerde ontwikkelingen vanuit de wetenschap (nieuwe inzichten die invloed hebben op het denken over het curriculum), de onderwijspraktijk (problemen die ervaren worden) en beleid (constateringen over het curriculum en onderwijspraktijk) leiden tot een aantal uitdagingen voor het wiskundecurriculum. De vraagstukken liggen op het terrein van samenhang met andere vakken, vakinhoud, doorlopende leerlijnen, vakkenstructuur wiskunde, taligheid van met name wiskunde A en wiskunde C, motivatie van leerlingen, wiskunde en computational thinking -computationeel denken-, basisvaardigheid wiskunde, en toetsing en examinering. Genoemde vraagstukken worden hieronder toegelicht.

Samenhang met andere vakken

Ook in voorgaande vernieuwingen is er aandacht geweest voor samenhang. Zo is er de publicatie van Savelsbergh et al. (2008), waarin een advies over modelleren gegeven wordt aan de gezamenlijke bèta-vernieuwingscommissies. De commissie toekomst wiskundeonderwijs cTWO spreekt in haar eindrapport (2012) over de weerbaarheid maar ook de wenselijkheid van samenhang tussen wiskunde en de vier andere bètavakken. Over de afstemming met natuurkunde is een rapport verschenen (Van de Giessen, et al. 2008) en door SLO zijn in een handreiking voor docenten veel voorbeelden van samenhang verzameld (Alink et al., 2012). Naast natuurkunde, scheikunde en biologie is daarbij ook gekeken naar de wisselwerking met economie. Gezien de maatschappelijke ontwikkelingen zoals hierboven beschreven ligt het voor de hand om na te gaan of er niet breder gekeken moet worden dan deze vakken. Zo ligt een samenhang met burgerschap aangaande de kennis van algoritmen (denk bijvoorbeeld aan de toeslagenaffaire) voor de hand. Maar ook samenhang met informatica en digitale geletterdheid moet in ogenschouw genomen worden.

Het expliciteren van verbindende vaardigheden zou de samenhang tussen wiskunde en andere vakken kunnen versterken. Vanuit het oogpunt van wiskundige denkactiviteiten (Drijvers, 2015) is de vaardigheid *modelleren* hiervoor een kansrijke mogelijkheid (Tolboom & Doorman, 2018).

Doorlopende leerlijnen vanuit de onderbouw vo

Een punt van aandacht in dit kader is het zogenoemde 'opstromen' van het ene schooltype in het vo naar een schooltype van een niveau hoger, bijvoorbeeld van vmbo-tl naar havo of van havo naar vwo. Ervan uitgaande dat het curriculum ruimte dient te bieden voor het ontplooiën van talenten en het bieden van kansen - zie de paragraaf over kansengelijkheid in hoofdstuk 3 - mogen de wiskundecurricula in het vo niet belemmerend werken voor leerlingen die de potentie hebben om op te stromen en dat is nu ten minste tussen vmbo-tl en havo wel het geval (Curriculum.nu, 2018). Zoals hiervoor beschreven vindt op dit moment de herziening van de bovenbouw van het vmbo plaats, waarbij het verkleinen van dit gat één van de doelen is.

Vakkenstructuur wiskunde

In 2012 heeft de cTWO haar eindrapport opgeleverd. Hierin worden aanbevelingen gegeven, die in meer of mindere mate betrekking hebben op de structuur van het vak wiskunde in de bovenbouw van het havo/vwo. Platform Wiskunde Nederland heeft 21 vervolgopleidingen bevraagd op welke wiskundige kennis zij verwachten van hun eerstejaars studenten (PWN, 2020).

Mede op basis van deze twee publicaties heeft SLO in 2021 samen met de NVvW een verdere verkenning rondom de structuur van het vak wiskunde uitgevoerd. Het eindrapport (Caspers et al., 2021) dient als startpunt voor de werkgroep die de vernieuwingscommissie wiskunde zal adviseren over de vakkenstructuur. Heel kort samengevat luidt de conclusie van het rapport dat de werkgroep een aantal keuzes moet maken (Caspers et al., 2021, p. 6): "Deze keuzes betreffen het vaststellen van criteria waaraan de nieuwe vakkenstructuur moet voldoen, het uitwerken van het beeld wat wenselijk en haalbaar is voor een bèta havoleerling, het nagaan van de mogelijkheid om leerlingen een deelverzameling van een wiskundevak te laten volgen en het besluiten of de verschillende wiskundevakken andere inhoud zouden moeten bevatten of dat er een algemeen deel is dat onderdeel uitmaakt van elk wiskundevak (waarbij de optie openblijft dat de inkleuring kan afhangen van het desbetreffende wiskundevak)."

Motivatie van leerlingen

De startnotitie Rekenen & Wiskunde voor Curriculum.nu (2018, p7) stelt dat: "Ruwweg kan worden gesteld dat Nederlandse leerlingen minder dan hun medeleerlingen in veel andere landen rekenen & wiskunde – zowel inhoud als lessen – aantrekkelijk vinden. Hun zelfvertrouwen is hoger dan die van hun medeleerlingen in de meeste andere landen. In het po vinden leerlingen rekenen & wiskunde nog belangrijk genoeg om goed op te presteren. In het vo denken de leerlingen daar nogal anders over. Hun motivatie om op school wiskunde te leren is relatief gering. Overigens geldt dit niet alleen voor wiskunde." De achterliggende analyse is uitgevoerd door SLO (Van der Hoeven et al., 2017).

Volgens de OECD (2016) wordt de geringe motivatie voor wiskunde in Nederland verklaard door het gebrek aan uitdaging dat leerlingen in Nederland ervaren. In het onderwijs worden meer remediërende lessen aangeboden dan verrijkingslessen. Er is weinig lesaanbod voor leerlingen die potentieel kunnen excelleren (OECD, 2016; Inspectie van het onderwijs, 2019).

Wiskunde en computationeel denken

Computationeel denken - één van de vier subdomeinen van digitale geletterdheid - voert terug op het werk van Papert (1980) en is door Wing (2006) nieuw leven ingeblazen. Een globale, algemeen geaccepteerde definitie luidt: "Computationeel denken is probleemoplossen, daarbij bewust van en gebruikmakend van de mogelijkheden die ICT biedt."

Het vormgeven van computationeel denken in het wiskundeonderwijs, zou de volgende activiteiten kunnen bevatten: abstraheren², decomponeren, patroon herkennen, algoritmisch denken, modelleren, logisch denken en automatiseren van oplossingen. Dit biedt ruimte aan analytisch denken, generaliseren en het evalueren van oplossingen en strategieën. Onderzoek bracht ook aan het licht dat het oplossen van problemen en de bijbehorende denkprocessen kunnen

² Bij computationeel denken is abstraheren het weglaten van details om de essentie van iets in beeld te brengen en bij wiskunde is abstraheren het generaliseren van concrete gevallen tot iets algemeen geldigs.

worden beschouwd als de raakvlakken tussen computationeel en wiskundig denken.

Wanneer het onderwijsveld accepteert dat digitale geletterdheid onderdeel hoort uit te maken van het hedendaagse curriculum en dat dit zo veel mogelijk in de bestaande vakken moet worden geïntegreerd, dan is de integratie van computationeel denken in wiskunde een aantrekkelijke gedachte.

Heroriëntatie op de rol en wijze van toetsing

Ook bij het vak wiskunde is er een herbezinning op de rol van toetsing noodzakelijk. Sinds de vorige curriculumherziening is het belang van formatief toetsen en evalueren nog duidelijker geworden, bijvoorbeeld om de motivatie van leerlingen te vergroten (Zainuddin et al., 2020). De mogelijkheden van ICT om dit te bereiken zijn al langer bekend (Tolboom, 2012).

Samenhangend met het belang van formatieve toetsing en evaluatie zijn de ontwikkelingen binnen summatieve evaluatie. Het besef dat sommige leerdoelen, met name die op het gebied van wiskundig denken, zich niet goed laten toetsen op een schriftelijke manier, binnen een tijdsbestek van drie uur en tezamen met nog flink wat andere leerdoelen - zoals tijdens een centrale examen (CE) - dringt steeds duidelijker door.

De oplossing om deze leerdoelen dan te toetsen in de setting van een schoolexamen (SE), kan op gespannen voet staan met het streven van scholen om het gemiddelde resultaat zoals behaald tijdens het SE zo dicht mogelijk te laten aansluiten bij het gemiddelde resultaat zoals behaald op het CE. Sinds de Inspectie van het Onderwijs het verschil tussen SE- en CE-resultaat niet meer als indicator hanteert, is het aantal scholen dat streeft naar minimalisering van het verschil in resultaat tussen SE en CE duidelijk minder groot. Een andere en grotere rol van het SE, gericht op het toetsen van de meer conceptuele kennis (weten waarom) en houding ten opzichte van wiskunde, is de moeite van het overwegen waard.

Wat betreft de leerdoelen als getoetst tijdens het CE en de rol van ICT daarbij - de discussie over de grafische rekenmachine indachtig - zou ook nog gekeken kunnen worden naar het splitsen van het CE in twee delen: één zonder ICT, waarbij de nadruk ligt op de basisvaardigheid wiskunde - 'weten dat' en 'weten hoe' - en één met volledige inzet van ICT, waarbij de nadruk meer ligt op weten waarom.

Daarnaast is de taligheid van wiskunde-examens een onderwerp van discussie dat regelmatig wordt aangezwengeld. Zie bijvoorbeeld het werk van Koolstra (2018a, 2018b, 2021). Een aantal mensen vraagt zich af wat er nu precies getoetst wordt: wiskunde of begrijpend lezen. Daarmee krijgt deze discussie ook raakvlak met kanselijkheid. TIMSS-onderzoek toont namelijk dat leerlingen die thuis soms of nooit Nederlands spreken lager presteren bij rekenen-wiskunde dan leerlingen die thuis (bijna) altijd Nederlands spreken (Meelissen & Punter, 2016). Er zijn geen redenen om aan te nemen dat dit voor de bovenbouw havo/vwo-leerlingen niet op zou gaan.

Basisvaardigheid wiskunde

Over welke basisvaardigheden horen leerlingen gedurende de levenscyclus van het beoogde leerplan te beschikken? Even vanzelfsprekend als het feit dat de eisen aan basisvaardigheden voortdurend veranderen, bijvoorbeeld onder invloed van de technologische ontwikkeling, is het feit dat er altijd basisvaardigheden nodig zullen zijn waarover een leerling blindelings moet beschikken, ten einde niet alleen adequaat, maar ook op tijd te kunnen reageren in bepaalde probleemsituaties. Hierbij is dus het besef belangrijk dat

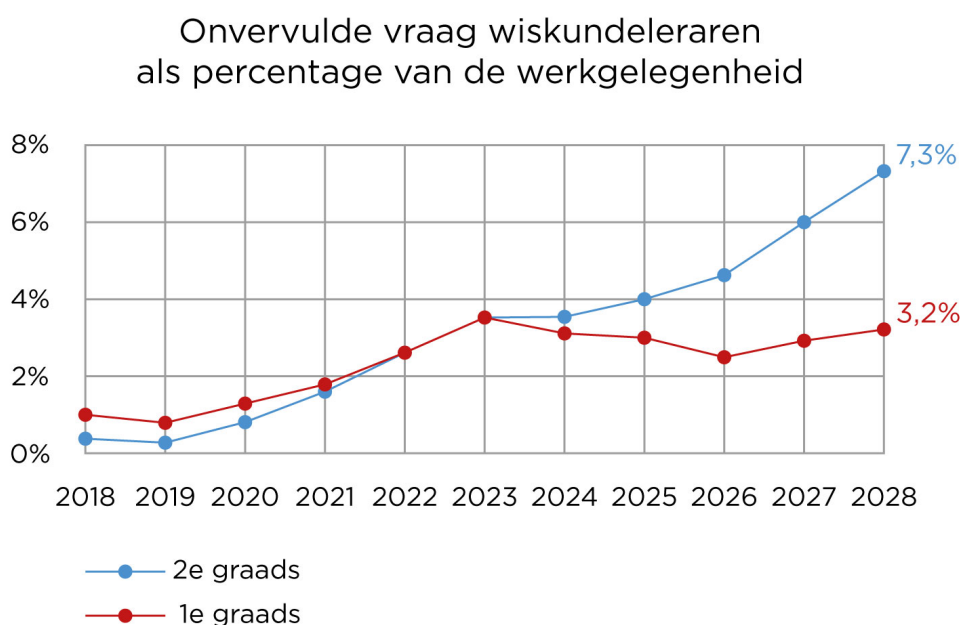
niet alleen beheersing van de betreffende basisvaardigheden belangrijk is, maar ook de snelheid waarmee die vaardigheden kunnen worden toegepast.

5. Voorwaarden

Voor een betekenisvolle en bruikbare vernieuwing van het curriculum wiskunde in de bovenbouw is een aantal randvoorwaarden noodzakelijk: voldoende wiskundedocenten, voldoende onderwijstijd, voldoende draagvlak voor vernieuwing, voldoende professionalisering en een heroriëntatie op de rol en wijze van toetsing.

Voldoende wiskundedocenten

Al jaren is er een tekort aan bevoegde wiskundedocenten. De verwachtingen zijn dat dit tekort in de komende jaren alleen maar verder zal oplopen (zie figuur 1).



Figuur 1 Geconstateerd en verwacht tekort aan wiskundedocenten

Bron: De toekomstige arbeidsmarkt voor onderwijspersoneel po, vo en mbo 2018-2028 (Adriaens et al., 2018)

Dit leidt er ook toe dat bevoegde docenten minder makkelijk vrij geroosterd kunnen worden om zich te laten bijscholen als de onderwijsvernieuwing daarom vraagt.

Voldoende onderwijstijd voor het vak wiskunde

Wiskunde wordt, ook internationaal, door leerlingen ervaren als een moeilijk vak (Berch & Mazzocco, 2007; Geary, 2010). Uit internationale vergelijking van de PISA-scores blijkt er een positief verband te zijn tussen het aantal lessen wiskunde per schoolweek en de resultaten op PISA (Gubbels et al.en, 2019).

Kortom, het aantal lesuren wiskunde moet voldoende zijn voor alle schoolsoorten en leerwegen in het hele voortgezet onderwijs. Het aantal lesuren wiskunde (A, B C of D) verschilt per schooltype en school van twee lesuren tot vijf per week. Daarnaast hebben ontwikkelingen als keuzewerktijd, maatwerk- of keuzeuren en thematisch werken negatieve gevolgen voor de netto onderwijstijd die exclusief aan het vak wiskunde wordt besteed.



Voldoende draagvlak

In Nederland lopen de meningen over hoe het wiskundeonderwijs vormgegeven zou moeten worden en welke leerdoelen prioriteit zouden moeten krijgen sterk uiteen. Dit leidt vaak tot discussies onder andere via de media en tot Kamervragen. Bij Curriculum.nu is dit wellicht een van de aanleidingen voor een nadere verkenning.

Een andere zorg op het punt van draagvlak is de frequentie waarmee onderwijsvernieuwingen elkaar opvolgen. De jaartallen waarin de laatste onderwijsvernieuwingen voor wiskunde zijn ingevoerd waren 1998, 2007 en 2015. Daar zitten 9 en 8 jaar tussen. Een te hoge frequentie van vernieuwing verlaagt het draagvlak voor de eerstvolgende vernieuwing.

Voldoende mogelijkheid tot professionalisering

Het succes van iedere curriculumherziening valt of staat met implementatie. Leerplankundig onderzoek heeft keer op keer uitgewezen dat de concentratie van de vernieuwende kenmerken bij een curriculumherziening sterk verdund raakt wanneer men van het beoogde, via het uitgevoerde naar het gerealiseerde curriculum gaat. Zowel zittende als toekomstige leraren moeten, om het nieuwe curriculum te kunnen uitvoeren, over actuele vakinhoudelijke en vakdidactische kennis en inzichten beschikken om het onderwijs vorm te geven en leerlingen te begeleiden. Daarbij is het van belang dat (nieuwe) vakdidactische kennis uit de wetenschap praktisch vertaald wordt, passend bij het onderwijs in de verschillende schoolsoorten en leerwegen, zodat het effectief kan worden toegepast. Dat vraagt om kwalitatief hoogwaardige lerarenopleidingen, waarin voldoende aandacht blijft voor vakinhoud en -didactiek. Het vraagt ook om voldoende professionalisering en ontwikkeltijd voor docenten wiskunde in vaksecties binnen de school en in leergemeenschappen buiten de school, met vakdidactici en lerarenopleiders, bijvoorbeeld via de vo-ho-netwerken³. Het is daarom van cruciaal belang dat wiskundedocenten op allerlei manieren gefaciliteerd worden wanneer zij het nieuwe curriculum in hun onderwijspraktijk moeten uitvoeren. Hierbij valt te denken aan allerlei vormen van samenwerking, zowel binnen- als buitenschools, in *lesson study*-context, in docentontwikkelteams (bijvoorbeeld via de vo-ho-netwerken, die gezamenlijk een product ontwikkelen), beurzen voor docenten die ontwikkelwerk of onderzoek willen verrichten op een thema gelieerd aan de curriculumvernieuwing en, *last but not least*, voldoende extra tijd voor docenten die er voor de eerste keer in de klas met hun leerlingen mee gaan werken.

³ Zie <https://www.vohonetwerken.nl/>

6. Conclusie

Het schoolvak wiskunde is een kernvak in de bovenbouw van het voortgezet onderwijs, dat bijdraagt aan kennis en inzichten van de wiskunde als wetenschapsgebied, aan wiskundig denken benodigd voor maatschappelijk functioneren en aan de kwalificatie voor het vervolgonderwijs. Diverse maatschappelijke en wetenschappelijke ontwikkelingen, naast ontwikkelingen in het voortgezet onderwijs en binnen het schoolvak wiskunde, kunnen door een herziening van de examenprogramma's wiskunde een plek krijgen.

Maatschappelijke uitdagingen als het tegengaan van kansenongelijkheid en de afnemende motivatie voor wiskunde van jongeren vragen om aandacht, vanwege het risico op laaggecijferdheid. Bovendien speelt het onderwijs nog onvoldoende in op de digitale geletterdheid die nodig is voor maatschappij, studie en beroep. Een herziening van de examenprogramma's wiskunde, waarbij voor de hierboven geformuleerde uitdagingen een samenhangende en uitgebalanceerde oplossing wordt gevonden, kan eraan bijdragen dat elke leerling na het havo en vwo kansrijk instroomt in het vervolgonderwijs en voldoende wordt toegerust om als gecijferde burger deel te nemen aan de maatschappij.

7. Bronnenlijst

- Adriaens, H., Fontein, P., & Vos, K. de (2018). *De toekomstige arbeidsmarkt voor onderwijspersoneel po, vo en mbo 2018-2028*. Centerdata.
- Alink, N., Van Asselt, R., & Braber, N. den (2012). *Samenhang en afstemming tussen wiskunde en de profielvakken: handreiking met voorbeeldmateriaal*. SLO.
- Berch, D. B., & Mazzocco, M. M. (Red.). (2007). *Why is math so hard for some children? The nature and origins of mathematical learning difficulties and disabilities*. Paul H. Brooks Publishing Co.
- Bor - de Vries, M., & Hoogland, K. (2020). *Laaggecijferdheid in Nederland; een overzicht van nationale en internationale literatuur*. Hogeschool van Utrecht.
- Boswinkel, N., and Schram, E. (2011). *De Toekomst Telt* Ververs Foundation & SLO.
- Bronkhorst, H. (2021). "I just do not understand the logic of this": *intervention study aimed at secondary school students' development of logical reasoning skills*. University of Groningen.
- Bruin-Muurling, G., Eerde, D. van, Galen, F. van, Gravemeijer, K. & Stiphout, I. van (2018). *Statistiekonderwijs voor morgen*. Werkgroep wiskunde voor morgen.
- Buisman, M., & Houtkoop, W. (2014). *Laaggeletterdheid in kaart*. Expertisecentrum Beroepsonderwijs i.s.m. Stichting Lezen & Schrijven.
- Buisman, M., Allen, J., Fouarge, D., Houtkoop, W. & Velden, R. van. (2013). *PIAAC: Kernvaardigheden voor werk en leven. Resultaten van de Nederlandse survey 2012*. Expertisecentrum Beroepsonderwijs.
- Caspers, W., Hendrikse, P., Penning-Vries, B. de, Ree, H. van der, Tolboom, J. L. & Wassenaar, L. M. van (2021). *Uitkomsten onderzoek vakkenstructuur wiskunde havo-vwo bovenbouw*. SLO.
- Clements, M. A., Bishop, A., Keitel-Kreidt, C. & Kilpatrick, J. (2013). *Third international handbook of mathematics education*. Springer.
- cTWO. (2012). *Denken en doen: eindrapport. Utrecht: Commissie Toekomst wiskundeonderwijs*.
- Curriculum.nu. (2018). Startnotitie Rekenen & Wiskunde
- Curriculum.nu. (2019). Voorstel voor de basis van de herziening van de kerndoelen en eindtermen van de leraren en schoolleiders uit het ontwikkelteam Rekenen & Wiskunde.

Dijke-Droogers, M. van (2021). *Introducing Statistical Inference: Design and Evaluation of a Learning Trajectory*. Utrecht University.

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

Drijvers, P. H. M., Streun, A. van & Zwaneveld, B. (Red.). (2012). *Handboek wiskundendidactiek*. Epsilon Uitgaven.

Ferrari, G. (2020). Moving as a circle: folds and nuances of a mathematical concept. In: *For the Learning of Mathematics*, 40(3), 3-8.

Folmer, E. & Ottevanger, W. (2017). *Monitoring invoering vernieuwde wiskunde: wiskunde A havo. Resultaten vragenlijstenonderzoek 2015-2016*. SLO.

Folmer, E. & Ottevanger, W. (2017). *Monitoring invoering vernieuwde wiskunde: wiskunde A vwo. Resultaten vragenlijstenonderzoek 2015-2016*. SLO.

Folmer, E. & Ottevanger, W. (2017). *Monitoring invoering vernieuwde wiskunde: wiskunde B havo. Resultaten vragenlijstenonderzoek 2015-2016*. SLO.

Folmer, E. & Ottevanger, W. (2017). *Monitoring invoering vernieuwde wiskunde: wiskunde B vwo. Resultaten vragenlijstenonderzoek 2015-2016*. SLO.

Geary, D. C. (2010). Missouri longitudinal study of mathematical development and disability. In: R. Cowan, M. Saxton, & A. Tolmie (Red.), *BJEP Monograph Series II: Understanding number development and difficulties* (Vol. 7, pp. 31-49). British Psychological Society.

Giessen, C. van de, Hengeveld, T., Kooij, H. van der, Rijke, K. & Sonneveld, W. (2008). *Eindverslag van Werkgroep Afstemming Wiskunde-Natuurkunde aan Vernieuwingscommissies Wiskunde cTWO en Natuurkunde NiNa 2007*. cTWO.

Gubbels, J., Langen, A. van, Maassen, N. & Meelissen, M. (2019). *Resultaten PISA-2018 in vogelvlucht*. Universiteit Twente; Expertisecentrum Nederlands; KBA, Nijmegen.

https://ris.utwente.nl/ws/portalfiles/portal/160130971/Resultaten_PISA_2018_in_vogelvlucht.pdf

Hoeven, M. van der, Schmidt, V., Sijbers, J., Silfhout, G. van, Woldhuis, E. & Leeuwen, B. van (2017). *Leerplankundige analyse PISA 2015*. SLO.

Inspectie van het onderwijs. (2019). *Reken- en wiskundeonderwijs aan (potentieel) hoogpresterende leerlingen*. Inspectie van het onderwijs.
<https://www.onderwijsinspectie.nl/documenten/themarapporten/2019/04/10/themaonderzoek-reken--en-wiskundeonderwijs-aan-potentieel-hoogpresterende-leerlingen>

Kallia, M., Borkulo, S. P. van, Drijvers, P. H., Barendsen, E. & Tolboom, J. L. (2021). Characterising computational thinking in mathematics education: a literature-informed Delphi study. In: *Research in Mathematics Education*, 23(2), 159-187.

Koolstra, G. (2018, juni 10). *De rol van taal bij centrale examens (deel 1: vwo)*. <https://www.wiskundebrief.nl/814.htm>

Koolstra, G. (2018, juni 24). *De rol van taal bij centrale examens (deel 2: havo)*. WiskundEbrief: <https://www.wiskundebrief.nl/816.htm#3>

Koolstra, G. (2021, juni 6). *Wiskunde of wiskundig tekstverklaren?* <https://www.wiskundebrief.nl/890.htm>

Mackay, F., Smit, J., Bakker, A. & Keijzer, R. (2021). Supporting teachers to scaffold students' language for mathematical learning. In: *Diversity Dimensions in Mathematics and Language Learning* (pp. 396-412). De Gruyter.

Meelissen, M. & Punter, R. (2016). *Twintig jaar TIMSS: Ontwikkelingen in leerlingprestaties in de exacte vakken in het basisonderwijs 1995-2015*.

Meester, R. (2019). Waarom p-waardes niet gebruikt mogen worden als statistisch bewijs. In: *Nieuw Archief voor Wiskunde*, 20(5), 103 – 109.

Mesman, J. & Volman, M. (2021). Gelijke kansen voor een diverse jeugd.

OECD. (2016). *Netherlands 2016: Foundations for the Future, Reviews of National Policies for Education*. OECD.

OECD. (2018). *Equity in Education: Breaking Down Barriers to Social Mobility*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/9789264073234-en>

Papert, S. (1980). *Mindstorms: Children, Computers and powerful ideas*. Basic Books.

Platform Wiskunde Nederland. (2014). *Formulas for insight and innovation. Mathematical Sciences in the Netherlands. Vision document 2025*. Platform Wiskunde Nederland.

PWN. (2020). *Aansluiting tussen voortgezet en hoger onderwijs: een verslag van 21 interviews*. Platform Wiskunde Nederland. <https://platformwiskunde.nl/wp-content/uploads/2020/01/verslagen-openbaar.pdf>

Rainey, K., Dancy, M., Mickelson, R., Stearns, E. & Moller, S. (2018). Race and gender differences in how sense of belonging influences decisions to major in STEM. In: *International journal of STEM education*, 5(1), 1-14. <https://doi.org/10.1186/s40594-018-0115-6>

Savelsbergh, E., Drijvers, P., Giessen, C. van de, Heck, A., Hooyman, K., Kruger, J., Michels, B., Seller, F., Westra, R. (2008). *Modelleren en computermodellen in de β -vakken: Advies aan de gezamenlijke β -vernieuwingscommissies*. Freudenthal Instituut.

SLO. (2020). *Nadere verkenning rekenen-wiskunde*. SLO.

Tolboom, J. L. J. (2012). *The potential of a classroom network to support teacher feedback: a study in statistics education*. University of Groningen.

Tolboom, J. L. J. & Doorman, M. (2018). The consequences of including computer-based mathematics and informatics in the STEM curriculum. In: S. Mysore (Red.), *CIDREE yearbook 2018* (pp. 210-221). CIDREE.

Tolboom, J. L. J. & Rooyen, L. van (2021). *Digital Literacy: Curriculum Development and Implementation in European Countries*. CIDREE.

Werkgroep wiskunde voor morgen. (2019). *Welke reken-wiskundige bagage heb je nodig om volwaardig te kunnen participeren in de maatschappij? Werkgroep wiskunde voor morgen*.

Wing, J. (2006). Computational thinking. *Communications of the ACM*, 49(3), 33-35.

Zainuddin, Z., Shujahat, M., Haruna, H. & Chu, S. K. W. (2020) The role of gamified e-quizzes on student learning and engagement: An interactive gamification solution for a formative assessment system. In: *Computers & Education* (145). <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103729>