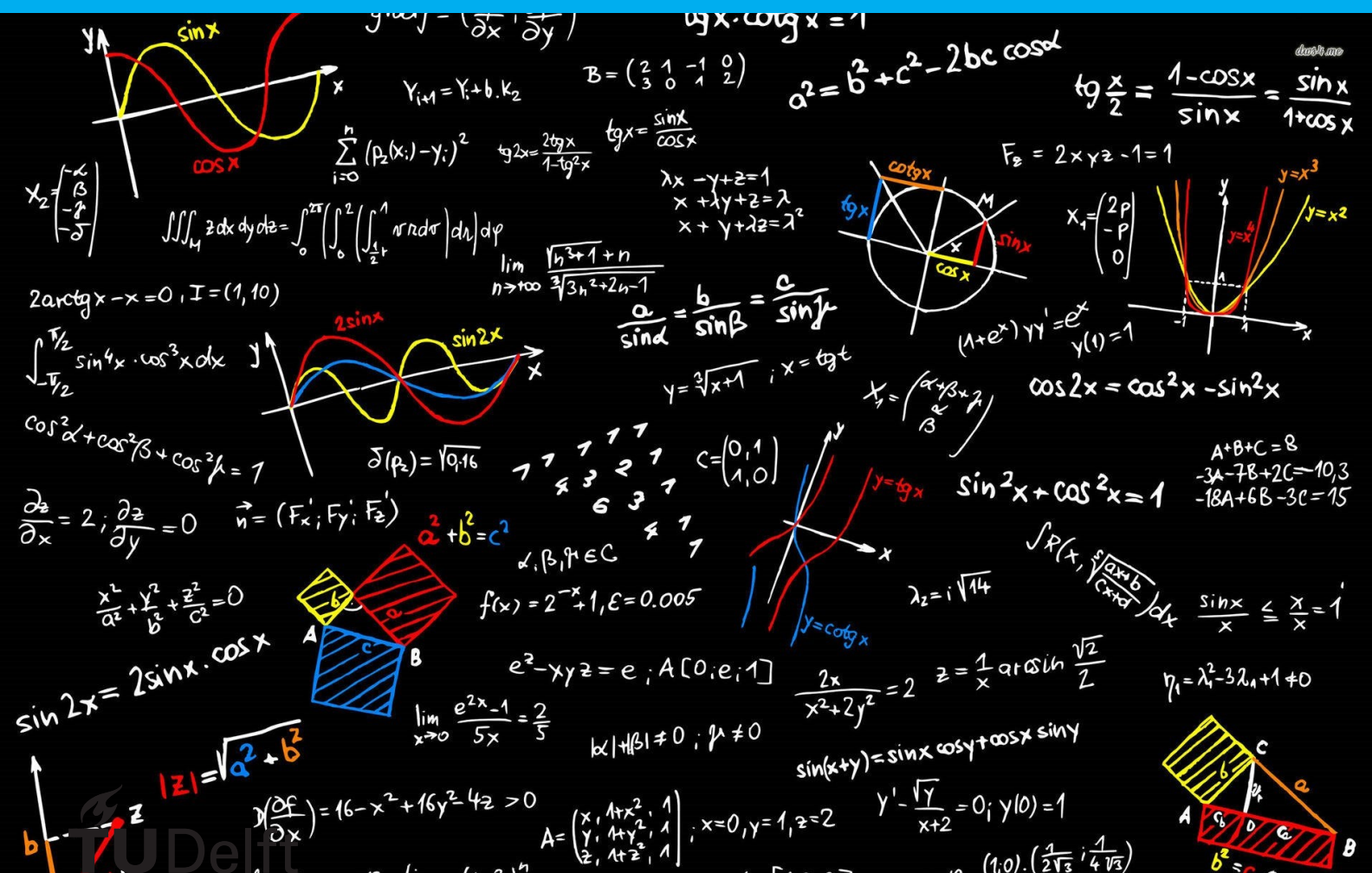


Remediëring van wiskundige vaardigheden bij natuurkunde

Een praktijkonderzoek in de
bovenbouw van het VWO

M.G.M. Claus



Remediëring van wiskundige vaardigheden bij natuurkunde

Een praktijkonderzoek in de bovenbouw van het VWO

by

M.G.M. Claus

ter verkrijging van de graad van Master of Science
aan de Technische Universiteit Delft,

Studenten nummer: 4683331
Project omvang: september, 2025 – oktober, 2026
Thesis begeleiders: Dr. P. Dekkers, TU Delft, Begeleider
Dr. C. F. J. Pols, TU Delft, Tweede begeleider
Dr. P. Visser, TU Delft, Externe Examinator
Dr. H. Van Keulen, TU Delft, Derde Examinator

Een elektronische versie is beschikbaar op <http://repository.tudelft.nl/>.

Bij het schrijven van deze thesis is generatieve AI uitsluitend gebruikt voor het controleren van zinsbouw en spelfouten. Voor het produceren van interviewtranscripten is gebruikgemaakt van de automatische transcriptiefunctie van Microsoft Teams, zoals goedgekeurd door de TU Delft. De verzameling, analyse en verwerking van de data zijn uitsluitend door de onderzoeker uitgevoerd.

Voorwoord

Dit onderzoek is uitgevoerd als een onderdeel van de tweejarige master Science Education and Communication van de Technische Universiteit Delft (TU Delft). Dit Master Eind Project (MEP) dient als de laatste beoordeling voor het afronden van deze master en omvat een studielast van 30 studiepunten.

Het onderzoek is uitgevoerd door Marcel Claus en werd voornamelijk begeleid door Dr. P. Dekkers en Dr. C.F.J. Pols. Naast de begeleiders zijn Dr. H. van Keulen en Dr. P. ook onderdeel van de beoordelingscommissie.

Graag wil ik alle begeleiders die mij tijdens het schrijven van deze thesis hebben ondersteund hartelijk bedanken voor hun tijd, begeleiding en waardevolle inzichten. In het bijzonder wil ik mijn eerste en tweede begeleider bedanken voor hun intensieve betrokkenheid gedurende het gehele traject. Dankzij hun wekelijkse feedback, adviezen en suggesties heb ik mijn onderzoek en thesis steeds verder kunnen verbeteren. Hun kritische blik, deskundigheid en voortdurende ondersteuning hebben een belangrijke bijdrage geleverd aan de totstandkoming van deze thesis. Daarnaast wil ik mijn vriendin bedanken voor haar steun gedurende het gehele proces.

Voor de start van het onderzoek is het voorstel goedgekeurd door de ethische commissie van de TU Delft en het onderzoek voldoet aan alle vereisten voor het MEP zoals geformuleerd door de TU Delft.

*M.G.M. Claus
Delft, Oktober 2026*

Samenvatting

Wiskunde en natuurkunde zijn nauw met elkaar verbonden. In de praktijk blijkt echter dat leerlingen moeite hebben om wiskundige vaardigheden die zij bij wiskunde hebben geleerd, toe te passen bij natuurkunde. Zo blijkt uit eerder onderzoek dat leerlingen moeite hebben met het herschrijven van een formule, het werken met eenheden of het toepassen van goniometrie, terwijl zij deze vaardigheden al zouden moeten beheersen. Dit is een probleem voor de leerling, omdat deze ontbrekende vaardigheden de leerling vaak tegenhouden om te oefenen met de nieuwe natuurkundekennis en vaardigheden. Maar het is ook voor de docent een probleem. Het is vaak moeilijk om op een reguliere toets te onderscheiden of een leerling fouten maakt omwille van ontbrekende basisvaardigheden of de nieuw aangeleerde natuurkundige kennis en vaardigheden. De docent kan dus moeilijker inschatten hoe goed leerlingen bepaalde stof beheersen.

In dit onderzoek kijken we naar een Nederlandse middelbare school waar natuurkundedocenten in 4 tot en met 6 VWO proberen om dit probleem aan te pakken met een onderwijsinterventie. De interventie bestaat uit een diagnostische toets en bijbehorend remediërend materiaal. Leerlingen kunnen met behulp van uitlegvideo's en online oefeningen aan hun deficiënties werken om vervolgens onderdelen van de toets opnieuw te maken. Dit proces van diagnose, remediëring en herkansing wordt herhaald totdat de leerling de toets voldoende heeft afgerond. Het doel van dit onderzoek is om in kaart te brengen wat de kenmerken en opbrengsten van deze interventie zijn. De centrale onderzoeksvraag is daarom: **Wat zijn de kenmerken en opbrengsten van een interventie gericht op remediëring van wiskundige vaardigheden bij natuurkunde in de bovenbouw?**

Om deze vraag te beantwoorden, is een praktijkgericht onderzoek uitgevoerd met een mixed-methodsaanpak. De ontwikkelde materialen (de diagnostische toets, de uitlegvideo's en het online oefenmateriaal) zijn geanalyseerd. Deze materialen zijn vergeleken met richtlijnen uit de literatuur voor effectieve diagnostiek, remediëring en het bevorderen van transfer tussen wiskunde en natuurkunde. Daarnaast zijn de toetsresultaten van de leerlingen geanalyseerd. Hierbij is gekeken naar de resultaten op de diagnostische toets, het aantal benodigde pogingen en de resultaten op reguliere natuurkundetoetsen. Tot slot zijn semigestructureerde interviews gehouden met natuurkundedocenten, wiskundedocenten en leerlingen. Hiermee is onderzocht wat de ontwerpers hopen te bereiken met hun interventie, hoe de interventie wordt uitgevoerd, hoe leerlingen het materiaal gebruiken en hoe alle betrokkenen de interventie ervaren.

Tijdens de interviews gaven de ontwerpers aan dat zij twee soorten doelen hadden voor de interventie: het verbeteren van vaardigheden en de metacognitieve ontwikkeling van de leerlingen. Zo hopen de ontwerpers dat leerlingen gaan inzien dat de getoetste vaardigheden belangrijk zijn, dat ze deze nog onvoldoende beheersen en dat ze aan het werk gaan om dat te verhelpen. Verder geven de ontwerpers aan dat ze algemeen tevreden zijn over de interventie. Zij vinden het prettig dat ze een beter beeld krijgen van het niveau van leerlingen en dat zij leerlingen gericht kunnen verwijzen naar materiaal om hun deficiënties te verbeteren. Ook vinden zij de diagnostische toets relatief eenvoudig in gebruik. Wel zien zij ruimte voor verbetering, vooral bij het oefenmateriaal en de manier waarop dit aan leerlingen wordt gepresenteerd. De docenten zouden graag zien dat meer leerlingen daadwerkelijk met het oefenmateriaal aan de slag gaan.

In vergelijking met de literatuur sluit de diagnostische toets op verschillende punten goed aan bij richtlijnen voor effectieve diagnostiek. Zo heeft de toets een duidelijke diagnostische functie, is er sprake van taakvariatie en is er een directe koppeling met remediëring. Er zijn echter ook punten waarop wordt afgeweken. Zo heeft de toets naast een formatieve functie ook een summatief aspect, omdat leerlingen de toets uiteindelijk voldoende moeten afronden om over te gaan. Daarnaast blijkt het moeilijk om met de huidige toets precies vast te stellen welke vaardigheden een leerling nog niet beheerst. Tijdgebrek tijdens de toets kan bijvoorbeeld verhullen waar het daadwerkelijke probleem

ligt. Leerlingen geven ook zelf aan dat het afronden van een onderdeel niet altijd betekent dat zij dat onderdeel ook beheersen.

Uit de toetsresultaten bleek dat van de 143 onderzochte leerlingen er 3 in slaagden om de diagnostische toets in één poging voldoende af te ronden. Meer dan de helft had drie of meer pogingen nodig. In 5 en 6 VWO hadden alle onderzochte leerlingen de diagnostische toets aanvankelijk onvoldoende gemaakt. Er kan dus worden vastgesteld dat leerlingen de getoetste vaardigheden aan het begin van het schooljaar niet voldoende beheersen. Ook vaardigheden die al in 4 VWO getoetst werden, werden in 5 en 6 VWO opnieuw door een groot aantal leerlingen onvoldoende gemaakt. Dit wijst er mogelijk op dat leerlingen deze vaardigheden niet altijd voldoende opbouwen of moeite hebben met de retentie ervan. Tegelijkertijd lijkt er in hogere leerjaren wel sprake te zijn van verbetering in het toepassen van een aantal terugkerende vaardigheden, aangezien het aantal onvoldoendes op die vaardigheden over de jaren heen afneemt.

Uit de interviews met leerlingen blijkt dat deze goed begrijpen waarom de vaardigheden op de diagnostische toets belangrijk zijn. Bijna alle geïnterviewde leerlingen geven aan dat de getoetste vaardigheden relevant zijn voor natuurkunde en dat een betere beheersing ervan kan helpen bij het maken van natuurkundetoetsen. Toch leidt dit inzicht er meestal niet toe dat leerlingen zelfstandig meer gaan oefenen. Van de 245 leerlingen in 4 tot en met 6 VWO hadden slechts 48 leerlingen in de eerste vier maanden minimaal één online oefening geopend. Leerlingen geven aan dat zij liever gebruikmaken van uitleg van de docent of de uitlegvideo's dan van de online oefeningen. De meeste leerlingen bereiden zich vooral voor om de toets te halen en niet om de onderliggende vaardigheden daadwerkelijk te verbeteren.

Hiermee lijkt de interventie dus een deel van haar metacognitieve doel te bereiken. Leerlingen ontdekken dat zij bepaalde vaardigheden onvoldoende beheersen en begrijpen dat deze vaardigheden belangrijk zijn voor natuurkunde. Zij worden echter onvoldoende gemotiveerd om vervolgens zelfstandig aan deze vaardigheden te werken. Hun motivatie wordt vooral bepaald door externe factoren, zoals het kunnen overgaan naar het volgende leerjaar of het voorkomen dat zij buiten de lestijd een herkansing moeten maken. De interventie stimuleert daarmee vooral het halen van de toets en minder het ontwikkelen van de vaardigheden zelf.

Uit de resultaten komt dus duidelijk naar voren dat de ontwerpers een probleem aanpakken dat speelt bij bijna alle leerlingen in 4 tot en met 6 VWO. Door de schooljaren heen lijkt de omvang van de deficiënties bij leerlingen af te nemen, al kan nog niet worden aangetoond dat dit door de interventie komt. Leerlingen lijken ook in te zien dat de getoetste vaardigheden belangrijk zijn. Een deel van hen beseft ook dat ze deze vaardigheden onvoldoende beheersen. Toch blijft het moeilijk om leerlingen te motiveren om zelfstandig aan deze deficiënties te werken. Hoewel alle leerlingen de interventie uiteindelijk voldoende afronden, lijkt dit niet altijd te leiden tot een duurzame verbetering van de onderliggende vaardigheden.

De onderzoeker ziet dus ruimte voor verdere ontwikkeling van de interventie. Vooral het oefenmateriaal, het zichtbaar maken van vooruitgang en het ondersteunen van leerlingen bij het organiseren van hun eigen remediëringstraject lijken kansen te bieden voor verbetering.

Inhoudsopgave

1	Introductie	1
1.1	Het onderzoek	1
1.1.1	Het doel	1
1.1.2	De uitvoering	2
1.1.3	Het effect	2
1.2	De scope en aanpak	3
2	Theoretisch kader	5
2.1	Wiskundige vaardigheden voor natuurkunde	5
2.2	Kennisoverdracht tussen vakken	6
2.3	Wiskundige vaardigheden remediëren	7
2.3.1	Diagnostische toets	7
2.3.2	Vaardigheden remediëren	7
2.3.3	Leerlingen motiveren	8
3	Methodologie	11
3.1	Onderzoeksopzet	11
3.2	De interventie	12
3.2.1	Diagnostische toets	12
3.2.2	Remediërend materiaal	12
3.3	Analyse van het materiaal	13
3.4	Analyse van de resultaten	14
3.5	Analyse van docent interviews	14
3.6	Analyse van leerling interviews	15
3.7	Ethische overwegingen	16
3.7.1	Geïnformeerde en vrijwillige deelname	16
3.7.2	Anonimiteit en pseudonimisering van gegevens	16
3.7.3	Databaseveiliging en opslag van onderzoeksdata	17
3.7.4	Bescherming van leerlingen tijdens het onderzoek	17
4	Resultaten	19
4.1	Het doel en de motivatie van de ontwerpers	19
4.1.1	Het probleem volgens de ontwerpers	19
4.1.2	Het doel van de ontwerpers	19
4.1.3	De ontwerpkeuzes	20
4.2	De interventie in de praktijk	20
4.2.1	De uitvoering	20
4.2.2	Vergelijking met richtlijnen	23
4.2.3	Aansluiting op wiskunde onderwijs	26
4.2.4	Gebruik door de leerlingen	26
4.3	Het effect van de interventie	27
4.3.1	De toetsresultaten	27
4.3.2	De ervaring van de leerlingen	29
4.3.3	De ervaring van de docenten	32
5	Discussie en Conclusie	33
5.1	Het doel	33
5.2	De uitvoering	33
5.2.1	Beschrijving van de interventie	34
5.2.2	Gebruik door leerlingen en docenten	34
5.2.3	Vergelijking met de literatuur	34

5.3	Het resultaat	36
5.3.1	Wiskundige basisvaardigheden	36
5.3.2	Metacognitieve doelen	36
5.3.3	Affectieve doelen	36
5.4	Beperkingen en verder onderzoek.	37
5.4.1	Beperkingen van het onderzoek	37
5.4.2	Vervolgonderzoek	37
A	Wiskunde vaardigheden	39
A.1	Syllabus Natuurkunde 2026 (College voor Toetsen en Examens, 2024a)	40
A.2	Overlap met wiskunde A en B syllabi	41
B	Interview protocollen	43
B.1	Docent interview protocollen	43
B.2	Leerling interviews	50
C	Statistische analyse	53
C.1	Spreidingsdiagrammen.	53

Introductie

Wiskunde en natuurkunde worden gezien als nauw verwante schoolvakken. Toch blijken leerlingen moeite te hebben om wiskundige vaardigheden toe te passen in een natuurkundige context (Turşucu, 2022a). Ook anekdotisch bewijs uit eigen ondervinding en gesprekken met collega's in het onderwijs geeft aan dat docenten in Nederlandse scholen merken dat leerlingen bij het vak natuurkunde vaak struikelen over wiskundige vaardigheden die bekend worden geacht. Deze hiaten in de vaardigheden van leerlingen zou kunnen leiden tot slechtere resultaten bij het vak natuurkunde.

Grootschalig onderzoek op vervolgonderwijs toont aan dat remediëring voor wiskundeachterstand succes kan hebben wanneer deze gelijktijdig wordt aangeboden met vraagstukken waarvoor deze kennis nodig is (Ran en Lee, 2024). De remediëring uit dit voorgaande onderzoek is echter arbeidsintensief. Deze vereist veel extra begeleiding door docenten. De personeelstekorten in het Nederlandse onderwijs maken dit dus geen vanzelfsprekende oplossing (Centerdata NL, 2024). Daarnaast blijkt uit onderzoek van het Programme for International Student Assessment (PISA) dat de verslechterende wiskundige vaardigheden zich al eerder in het middelbare onderwijs voordoen (OECD, 2000; OECD, 2007; OECD, 2010; OECD, 2013; OECD, 2016; OECD, 2023). Om deze reden is het ook interessant om te kijken of er methodes zijn die eerder in het onderwijs kunnen worden toegepast die mogelijk ook minder extra begeleiding vereisen.

1.1. Het onderzoek

Op een niet nader te benoemen school in Nederland gebruiken de natuurkundedocenten diagnostische toetsen om wiskundedeficiënties op te sporen bij leerlingen. Hun doel is om deze efficiënties te remediëren, zodat dit de natuurkundige capaciteiten zou verbeteren. Het doel van dit masteronderzoek is om in kaart te brengen hoe de ontwikkelde diagnostische toets en bijbehorende onderwijsinterventie worden toegepast en wat het effect daarvan is. Door deze resultaten te vergelijken met de literatuur kunnen mogelijk lessen geleerd worden over hoe deze methode toepasbaar is in andere onderwijspraktijken. De onderzoeksvraag luidt als volgt:

Wat zijn de kenmerken en opbrengsten van een interventie gericht op remediëring van wiskundige vaardigheden bij natuurkunde in de bovenbouw?

1.1.1. Het doel

Om de onderzoeksvraag te beantwoorden, wordt de vraag opgesplitst in 3 onderdelen die elk een deel van de vraag beantwoorden. Het eerste belangrijke deel van deze vraag gaat over het doel. Om te kunnen bepalen welke kenmerken van belang zijn en hoe het effect van de interventie kan worden geëvalueerd, is het belangrijk om eerst helder te krijgen wat de interventie beoogt te bereiken. Welke veranderingen of resultaten hopen docenten te realiseren op het gebied van kennis, begrip, vaardigheden, metacognitieve en affectieve doelen?

Welke doelen worden door de betrokkenen bij de onderzochte interventie nagestreefd?

Deze vraag kan vervolgens verder worden uitgesplitst in:

1. Welke doelen hopen de docenten te bereiken met de interventie? Dit gaat over doelen voor de leerlingen (kennis, begrip, vaardigheden, metacognitieve en affectieve doelen) en voor de docenten.
2. Welke keuzes hebben de docenten gemaakt en hoe denken ze dat deze zullen leiden tot de beoogde doelen?
3. Welke strategieën beschrijft de literatuur om zulke doelen te behalen?
4. Welke doelen hebben leerlingen voor dit materiaal?

1.1.2. De uitvoering

Het volgende aspect van de hoofdvraag gaat over de uitvoering. Hierbij gaat het niet over wat de docenten willen en hopen, maar over wat er daadwerkelijk gedaan wordt. Het gaat om de kenmerken van de interventie en hoe deze door docenten en leerlingen gebruikt worden. De volgende deelvraag luidt als volgt:

Welke aanpak volgen betrokkenen in de onderzochte interventie om die doelen te bereiken?

Deze vraag kan vervolgens verder worden uitgesplitst in:

1. Wat zijn volgens de ontwerpers de kenmerken van de interventie en zien we die ook terug in het ontwikkelde materiaal?
2. In hoeverre komt deze aanpak overeen met bekende strategieën zoals beschreven in deelvraag 1.3?
3. Hoe ervaren gebruikers het materiaal?
 - (a) Hoe geven de docenten aan het materiaal te gebruiken en hoe ervaren ze dat?
 - (b) Hoe geven leerlingen aan het materiaal te gebruiken en hoe ervaren ze dat?

1.1.3. Het effect

Tot slot is er het effect van de interventie. Hoe zijn de kennis, het begrip, de vaardigheden en de metacognitieve en affectieve ontwikkeling van de leerlingen veranderd? Komt deze verandering overeen met wat de docenten verwachten en kunnen zij deze verandering verklaren? Is het vervolgens ook mogelijk om verbeteringen voor de aanpak te formuleren? De laatste deelvraag luidt als volgt:

Wat zijn de resultaten van de interventie?

Deze vraag kan vervolgens verder worden uitgesplitst in:

1. Is er een meetbaar effect op de kennis, het begrip en de vaardigheden van de leerlingen?
2. Geven leerlingen aan dat er metacognitieve en affectieve verschillen zijn in hun omgang met wiskundige vaardigheden bij natuurkunde?
3. Komen deze effecten overeen met de verwachtingen en doelen van de docenten?
4. In hoeverre hebben de docenten verklaringen voor deze effecten?
5. Hebben de docenten naar aanleiding van dit onderzoek aanpassingen voor hun interventie bedacht?

1.2. De scope en aanpak

Het onderzoek wordt uitgevoerd op een Nederlandse school in de regio Midden in de bovenbouw. Om de onderzoeksvragen te beantwoorden wordt gebruikgemaakt van interviews, analyse van toetsresultaten en analyse van ontwikkelde materialen. Docenten worden geïnterviewd over hun ontwerpproces, de uitvoering van de onderwijsinterventie en hun verklaring van de bevindingen uit het onderzoek. Interviews met de leerlingen dienen om inzicht te krijgen in hoe zij het materiaal gebruiken en hoe zij dit ervaren. Tot slot worden ook de resultaten en ontwikkelde materialen geanalyseerd om het effect op hun kennis en vaardigheden te evalueren.

2

Theoretisch kader

Dit onderzoek gaat voornamelijk over de volgende drie thema's binnen onderwijskundig en didactisch onderzoek:

1. Wiskundige vaardigheden om te gebruiken bij het vak natuurkunde
2. Kennisoverdracht tussen wiskunde en natuurkunde
3. Wiskunde remediëring strategieën

2.1. Wiskundige vaardigheden voor natuurkunde

Wiskunde is belangrijk voor andere bètavakken, waaronder natuurkunde. Zo blijkt uit onderzoek dat de kwaliteit van het middelbare wiskundeonderwijs van een student een sterke voorspellende waarde heeft voor zijn of haar succes in een bèta vervolgopleiding (Morán-Soto, Ulloa en Peña, 2026). Ook draagt de wiskundevoorbereiding sterk bij aan de beslissing van de student om eventueel een bèta vervolgopleiding te volgen (Chang e.a., 2023). Echter, in Nederland en buurlanden wordt sinds 2000 een daling in wiskundige en natuurwetenschappelijke vaardigheden waargenomen (OECD, 2000; OECD, 2007; OECD, 2010; OECD, 2013; OECD, 2016; OECD, 2023). Sinds de coronapandemie is deze daling alleen maar sterker toegenomen.

Daarnaast vormen wiskundige en rekenkundige vaardigheden een belangrijke basis van de eenentwintigste-eeuwse vaardigheden (Voogt en Pareja Roblin, 2010). Het is dus voor zowel middelbare als voortge-zette onderwijsinstellingen belangrijk om te begrijpen hoe zij hun leerlingen kunnen helpen om wiskundige vaardigheden te verbeteren. Zo zijn ze beter voorbereid om vervolgonderwijs in de bèta-richting af te ronden en hebben ze een betere basis voor het ontwikkelen van de nodige vaardigheden voor een steeds complexer eenentwintigste-eeuws leven.

In het examenprogramma natuurkunde VWO 2026 wordt expliciet verwezen naar het belang van “natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden (bètaprofielniveau)” (College voor Toetsen en Examens, 2024b). Daarnaast zijn er pogingen gedaan om wiskunde- en natuurkunde-examens samen te voegen (Van Stiphout e.a., 2025). Ook is er veel onderwijsmateriaal ontwikkeld dat probeert om de link te leggen tussen wiskunde en andere bèta-vakken, zoals natuurkunde. Zo zijn er bijvoorbeeld het materiaal van Kees Hooyman (Vakoverstijgend Rekenen, 2025) en het SALVO-materiaal van het Freudenthal Instituut (Freudenthal Instituut, 2025).

De ontwerpers van het natuurkundecurriculum zien dat ook en stellen wettelijk een lijst van wiskundige en rekenkundige vaardigheden vast die vereist zijn voor het vak natuurkunde. Deze zijn opgesomd in bijlage A, figuur A.1. In tabel A.1 wordt voor elk van deze vaardigheden nagegaan of ze voorkomen in de wiskunde A en B syllabi.

Uit deze vergelijking blijkt dat de meeste vaardigheden voor het vak natuurkunde wel behandeld worden in de voorgeschreven stof voor wiskunde B, maar deze vaardigheden zijn minder afgedekt door de syllabus van wiskunde A. Het is dus niet zo dat elke wiskundige vaardigheid die gekend wordt voor het vak natuurkunde al aangeleerd wordt tijdens de wiskundeles, ongeacht of deze leerling nu wiskunde A of B volgt. Het is belangrijk om in gedachten te houden dat deze syllabi niet voorschrijven wanneer leerlingen deze vaardigheden horen te leren, enkel dat ze deze moeten beheersen aan het einde van hun opleiding. Dus ook al wordt een vaardigheid behandeld in de syllabus, wil dat nog niet zeggen dat leerlingen deze beheersen wanneer deze van belang is bij het vak natuurkunde. Het is belangrijk om tijdens dit onderzoek in kaart te brengen wanneer bepaalde wiskundige vaardigheden op de onderzochte school onderwezen worden.

Internationaal wordt onderzoek gedaan naar het niveau van vaardigheden bij leerlingen. PISA onderzoekt elke 3 jaar het niveau van leerlingen rond de leeftijd van 15 jaar over de hele wereld op het gebied van wiskunde -, taal- en natuurwetenschappelijke vaardigheden. Hier worden wiskundige vaardigheden opgesplitst in 4 onderdelen (Meelissen e.a., 2023):

1. Ruimte en vorm - meetkunde
2. Verandering en relaties - algebra
3. Hoeveelheden - rekenkunde
4. Onzekerheid en gegevens - kansberekening en statistiek

Kansberekening en statistiek is niet opgenomen in de natuurkundesyllabus als een wiskundige vaardigheid (College voor Toetsen en Examens, 2024a). Het komt wel terug in begrippen zoals onzekerheid, waarschijnlijkheid, meetfouten, significantie van meetwaarden en interpretatie van meetgegevens en grafieken, maar wordt dus niet expliciet als een wiskundige vaardigheid benoemd.

2.2. Kennisoverdracht tussen vakken

Zoals beschreven in paragraaf 2.1 is het niet vanzelfsprekend dat leerlingen alle wiskundige vaardigheden die voor natuurkunde relevant zijn al hebben gezien tijdens de wiskundelessen. Maar zelfs als een leerling deze vaardigheden beheerst, is het voor de leerling nog steeds niet vanzelfsprekend om deze wiskundige vaardigheden toe te passen in de nieuwe natuurkundecontext. Deze paragraaf gaat over waarom dit zo'n uitdagend proces is voor veel leerlingen.

Voor een docent kan het vanzelfsprekend zijn dat als een leerling bij wiskunde $y = bx^2$ kan omschrijven tot $x = \sqrt{\frac{y}{b}}$, dat die leerling hetzelfde kan doen voor de natuurkundige formule $s = \frac{1}{2}at^2$. Hiervoor gelden namelijk precies dezelfde regels en zijn dezelfde vaardigheden nodig. Toch blijkt dat dit voor leerlingen niet altijd vanzelfsprekend is (Turşucu, 2022b). Turşucu noemt 4 redenen waardoor het voor leerlingen moeilijk blijkt:

1. Hokjesdenken
Dit is het idee bij leerlingen dat wiskunde en bijvoorbeeld natuurkunde twee niet samenhangende vakken zijn. Zo denkt een leerling dat wat deze bij het vak wiskunde leert niet kan of mag worden toegepast bij natuurkunde.
2. Verschillen in didactische benaderingen in lesmateriaal voor natuurkunde en wiskunde
De manier van onderwijzen van de docent kan transfer ook moeilijk maken. Zo kan een natuurkundemethode leerlingen leren om simpele formules om te vormen met de formule driehoek of andere 'trucjes' terwijl de wiskundemethode juist meer stuurt op inzicht, of andersom. Het verschil in benadering van de methode maakt de gelijkenis voor de leerling minder transparant.

3. Algebraïsche expertise

Algebraïsche expertise duidt op het inzicht in de betekenis van formules en verhoudingen. Vaak worden leerlingen vooral beoordeeld op algebraïsche basisvaardigheden zoals het correct kwadrateren van termen, maar voor transfer is vaak een dieper inzicht of 'symbol sense behavior' (Drijvers, 2011) nodig om in te zien welke scenario's gelijkaardig zijn en wanneer dezelfde vaardigheden toepasbaar zijn.

4. Docentopvattingen

Denkbeelden van de docent kunnen ook de transfer belemmeren. Zo kan een wiskundedocent denken dat enkel geoefend moet worden met vaardigheden in een pure wiskundige context, waardoor een leerling nooit leert dat deze vaardigheden ook elders toepasbaar zijn. Turşucu beschrijft verschillende misvattingen van docenten die de transfer bij studenten kunnen belemmeren (Turşucu en Technology, 2019). Zo merkt hij dat veel natuurkundedocenten geloven dat leerlingen simpelweg meer moeten oefenen, maar uit zijn eigen experimenten blijkt dat de ontwikkeling van symbol sense, het aanwijzen van de brug tussen wiskunde en natuurkunde en het activeren van wiskundige voorkennis bij natuurkunde vaak beter werken. In de analyse van het materiaal zal worden gekeken naar de aanwezigheid van deze aspecten (zie ook de ontwerpcriteria onderaan paragraaf 2.3.3).

2.3. Wiskundige vaardigheden remediëren

Om het door de docenten ontwikkelde materiaal te evalueren, wordt beschreven wat volgens de literatuur belangrijke elementen zijn om wiskundige vaardigheden effectief te remediëren.

2.3.1. Diagnostische toets

Op basis van een aantal literatuuroverzichten (Alfageh e.a., 2024; Svane e.a., 2023; Töllner, Kuhl en Besser, 2025) is een lijst van belangrijke elementen voor effectief diagnostisch toetsen geformuleerd die ook gebruikt zal worden om de diagnostische toets uit de interventie te analyseren:

1. Diagnostische functie
2. Taakvariatie
3. Probleemvaststelling
4. Koppeling aan remediëring
5. Formatief

Een diagnostische toets is bedoeld om te achterhalen tot op welk niveau leerlingen iets beheersen. Het doel is dus niet om een totaalcijfer te formuleren, maar om per onderwerp op de toets een duidelijk beeld te krijgen of de leerling dit onderwerp voldoende beheerst. Om hierachter te komen, is het belangrijk dat elk onderwerp op voldoende manieren en niveaus wordt getoetst om te achterhalen waar de leerling precies moeite mee heeft. Zo wordt duidelijk welke hulp een leerling nodig heeft. Voor elk onderdeel moet dan ook duidelijk zijn wat de leerling moet doen als deze hierin tekortschiet. Er moet dus remediëring voor elk onderwerp klaarstaan. Tot slot wijst onderzoek uit dat diagnostiek het best enkel formatief wordt uitgevoerd, omdat summatieve beoordeling de prestaties van leerlingen kan vertekenen door mogelijke prestatiedruk. Met formatief toetsen wordt dus bedoeld dat informatie enkel verzameld wordt om vervolgonderwijs van de leerling te informeren (Black en William, 2009).

2.3.2. Vaardigheden remediëren

Als duidelijk is met welke vaardigheden de leerlingen problemen hebben, is het de vraag hoe je leerlingen hiermee moet helpen. Turşucu beschrijft een aantal oplossingen (Turşucu, 2022b). Zo is samenhangend bèta-onderwijs waarbij verschillende bèta-vakken samen onderwijs afstemmen, zodat zaken

zoals notatie, curriculum en werkwijzen nauw aan elkaar aansluiten een bewezen techniek die transfer bij leerlingen verbetert. Dit is echter een arbeidsintensieve oplossing die veel samenwerking met collega docenten en directie vraagt.

Een andere oplossing is om bij de problematische wiskundige vaardigheden expliciet de brug tussen het vak natuurkunde en wiskunde te benoemen. Als voorbeeld zal ik opnieuw de vergelijking $s = \frac{1}{2}at^2$ gebruiken uit paragraaf 2.2. Door de voorkennis van de leerling te activeren en deze erop te wijzen dat dit een vergelijkbare situatie is als de wiskundige vergelijking $y = bx^2$, bleken de leerlingen veel beter te begrijpen waarom ze bepaalde stappen moesten uitvoeren.

2.3.3. Leerlingen motiveren

Tot slot is er de vraag hoe je leerlingen moet motiveren om daadwerkelijk aan de slag te gaan met remediërend materiaal. Ook hier is veel onderzoek naar gedaan. Literatuuroverzichten geven aan dat goed remediërend onderwijs effectief is als het bestaat uit *begeleid oefenen*, *mentorschap* en *nauw aansluit bij de relevante stof voor de opleiding van de leerlingen* (Ashley e.a., 2017). Om deze lijst met eisen voor effectief remediërend materiaal toepasbaar te maken op het onderzochte materiaal, wordt in de volgende paragrafen het theoretische kader rond leerlingmotivatie verder uitgewerkt.

Zelfdeterminatietheorie (Selfdetermination theorie in het Engels, afgekort SDT) beschrijft wat leerlingen motiveert (Deci en Ryan, 2018). SDT beschrijft 4 niveaus van motivatie. *Intrinsieke motivatie* beschrijft de motivatie die een leerling voelt om dingen te doen die hij of zij uit zichzelf wil doen. Bij *geïdentificeerde regulatie* doet een leerling iets omdat de leerling het zinvol vindt, ook als de leerling daar op dat moment geen zin in heeft. *Gecontroleerde motivatie* dwingt een leerling om iets te doen door middel van druk zoals door de angst voor slechte cijfers of straf, maar ook externe beloningen zoals snoep. En tot slot is er dan *a-motivatie* waarbij de leerling niet inziet waarom iets gedaan zou moeten worden. Bij het toepassen van SDT is het doel vaak om leerlingen motivatie van het gecontroleerde motivatieniveau naar het geïdentificeerde regulatieniveau te brengen. SDT schrijft voor dat hiervoor drie psychologische basisbehoeften vervuld moeten worden.

SDT stelt dat autonomie belangrijk is voor het onderhouden van *geïdentificeerde regulatie*. In deze context wordt met autonomie bedoeld dat de leerling het gevoel heeft dat deze zelf kan kiezen wat of hoe die iets gaat doen. Hierbij is dus niet perse belangrijk dat er veel verschillende keuzeopties zijn maar vooral dat de leerling zelf kan bepalen welke optie het beste voor hem of haar past. In de context van dit masteronderzoek is het dus belangrijk om te achterhalen of leerlingen meekrijgen waarom de geoefende vaardigheden belangrijk zijn en wat hen motiveert om te participeren in de interventie.

Als tweede stelt SDT dat een gevoel van competentie cruciaal is voor het onderhouden van motivatie. Hiervoor is het belangrijk dat deze succes ervaart. De leerling wilt zien dat zijn of haar inspanningen effect hebben. Dit betekent niet dat alles zo makkelijk moet zijn dat de leerling nooit fouten maakt. Het moet echter wel duidelijk zijn dat de moeite van een leerling een zinvolle opbrengst heeft en wat de oorzaken zijn van mogelijk gemaakte fouten.

Tot slot is verbondenheid belangrijk volgens SDT. Binnen SDT verwijst verbondenheid naar de fundamentele behoefte om zich door anderen geaccepteerd, gewaardeerd en gerespecteerd te voelen en dit ook naar anderen uit te dragen. Een leerling moet zich vrij voelen om fouten te maken. De docent moet dus ruimte voorzien voor het maken van fouten en de leerling moet aanvoelen dat de docent de leerling wil helpen om van zijn of haar fouten te leren. Het kan hierbij ook helpen om te zien dat anderen ook moeite hebben met vergelijkbare problemen waardoor leerlingen elkaar hiermee willen helpen.

SDT beschrijft goed hoe leerlingen op lange termijn gemotiveerd kunnen blijven. Het mist echter methoden die een gevoel van urgentie kunnen aanwakkeren. Het Octalysis-framework is een ontwerpmodel voor motivatie en engagement, vooral gebruikt in gamification (Chou, 2015). Het stelt dat menselijk gedrag wordt aangedreven door acht kernmotivaties. Een deel van deze kernmotivaties sluit nauw aan bij SDT, deze worden in het Octalis-framework beschreven als 'white hat drives'. Daarnaast beschrijft dit framework echter ook 'black hat drives' die vaak meer urgentie opwekken, al kunnen deze

wel minder effectief blijken op de lange termijn. De acht kernmotivaties zijn de volgende:

1. Epic Meaning and Calling
Het gevoel dat wat je doet belangrijk is. Bijvoorbeeld studenten die onbetaald werken voor ontwerpwedstrijden, omdat ze denken dat deze ontwikkeling belangrijk is voor de energietransitie.
2. Development and Accomplishment
Het gevoel dat je jezelf verbetert of een doel bereikt. Bijvoorbeeld een sporter die saaie drill oefeningen doet, omdat hij weet dat deze zijn prestaties tijdens de wedstrijd zullen verbeteren.
3. Empowerment of Creativity and Feedback
De mogelijkheid om te proberen en zien wat er gebeurt. Bijvoorbeeld een leerling die aan het einde van een practicum zelf nog een eigen proefje uitvoert met het materiaal, puur uit nieuwsgierigheid.
4. Ownership and Possession
Het gevoel dat iets van jouw is, denk aan punten of kennis. Bijvoorbeeld een leerling die zijn huiswerk maakt, omdat hij dan een sticker van de docent krijgt.
5. Social Influence and Relatedness
Het gevoel dat je er niet alleen voor staat. Bijvoorbeeld een leerling die aan de slag gaat, omdat al de andere leerlingen ook aan het werk zijn.
6. Scarcity and Impatience
Het gevoel dat je nu moet handelen. Bijvoorbeeld mensen die wc-papier kopen, omdat ze bang zijn dat er straks geen wc-papier meer is.
7. Unpredictability and Curiosity
Dat je wil weten wat er gebeurt. Bijvoorbeeld iemand die op een knop drukt, ook al staat er expliciet op dat je er niet op mag drukken.
8. Loss and Avoidance
De angst om iets te missen. Bijvoorbeeld iemand die elke dag inlogt op een app omdat hij anders zijn "streak" verliest.

Al deze items kunnen een sterke motivatie zijn om te handelen voor leerlingen. Toch moet er een onderscheid worden gemaakt tussen deze *drives*. Waar de eerste drie doorgaans leiden tot een positieve en duurzame ontwikkeling van interesse, kunnen de laatste vijf juist schadelijk zijn voor de leerling. Bij deze manieren van motivatie moet dus zorgvuldig en ethisch worden omgegaan (Chou beschrijft dit onderscheid als "white hat and black hat core drives").

Op basis van deze theorieën zijn onderstaande ontwerprichtlijnen geformuleerd om het ontworpen materiaal mee te vergelijken. Dit kader is niet bedoeld om het materiaal te beoordelen, maar om mogelijke resultaten te interpreteren en mogelijke verbeteringen te suggereren. Deze richtlijnen zijn gebaseerd op de overkoepelende principes die de onderzoekers terugvinden in de hierboven beschreven theorieën, niet op empirisch geteste modellen.

Ontwerprichtlijnen

1. Vooruitgang benoemen:
Het moet voor de leerling duidelijk zijn wat deze goed en fout doet. De leerling moet zien dat zijn inspanning verbetering oplevert. De feedback op fouten moet duidelijk maken wat de leerling moet doen om deze te verhelpen. Deze vereiste wordt voorgeschreven door zowel SDT (Deci en Ryan, 2018) en kernmotivaties 2, 3 en 4 (Chou, 2015) en sluit aan op de eerder gestelde ontwerpcriteria voor diagnostisch toetsen.
2. Betekenis geven:
Het moet voor de leerling duidelijk zijn waarom dit belangrijk is om te leren. Wat levert het de leerling op om hieraan te werken? Dit sluit aan bij kernmotivaties 1, 2 en 8 (Chou, 2015) en verbeterd geïdentificeerde regulatie (Deci en Ryan, 2018). In het geval van deze interventie is het

ook belangrijk om te laten zien dat de vaardigheden uit de wiskundelessen ook hier toepasbaar zijn (Turşucu, 2022a).

3. Gezamenlijk leren:

De leerling moet om hulp kunnen vragen. De leerling moet de ruimte voelen om fouten te mogen maken. Het kan de leerling helpen als anderen begrip tonen voor de problemen waar de leerling tegenaan loopt. Ook kan het voor de leerling helpen om te zien dat deze niet de enige is die hiermee worstelt. Dit is een belangrijk element voor kernmotivatie 5 (Chou, 2015).

4. Vrij leren:

Als de wens is om leerlingen uit zichzelf te laten leren, is het belangrijk dat zij zich vrij voelen om binnen een duidelijk kader hun eigen aanpak en timing te kiezen. Sterke verplichting of tijdsdruk kan hier ook tegenwerken. Dit wordt door SDT beschreven als autonomie (Deci en Ryan, 2018).

3

Methodologie

3.1. Onderzoeksopzet

Het doel van dit onderzoek is om inzicht te krijgen in de kenmerken en opbrengsten van een ontwikkelde onderwijsinterventie op één middelbare school. Omdat de interventie reeds is ontwikkeld en wordt toegepast binnen een bestaande onderwijscontext, is gekozen voor een praktijkgericht evaluatief onderzoek.

Het onderzoek volgt een mixed-methods benadering, waarbij zowel kwantitatieve als kwalitatieve data worden verzameld en geanalyseerd. Deze combinatie maakt het mogelijk om zowel het effect van de interventie op leerlingprestaties te onderzoeken als inzicht te verkrijgen in de ervaringen, doelen en interpretaties van betrokkenen. Door deze verschillende databronnen te combineren ontstaat een rijker beeld van zowel de uitvoering als de opbrengsten van de interventie.

Het onderzoek richt zich op drie aspecten van de interventie, die overeenkomen met de deelvragen uit paragraaf 1.1:

- Het doel van de interventie
- De uitvoering van de interventie
- Het effect van de interventie

Om deze drie aspecten te onderzoeken worden drie typen onderzoeksactiviteiten uitgevoerd:

1. Analyse van het ontwikkelde materiaal

Het ontwikkelde lesmateriaal, waaronder de diagnostische toets, instructievideo's en online oefenmateriaal, wordt geanalyseerd en vergeleken met ontwerpprincipes en remediëringsstrategieën uit de literatuur. Deze analyse helpt om de kenmerken van de interventie systematisch in kaart te brengen.

2. Analyse van leerlingresultaten

Resultaten van leerlingen op de diagnostische toets en reguliere natuurkundetoetsen worden geanalyseerd om inzicht te krijgen in de mate waarin leerlingen de getoetste vaardigheden beheersen en hoe deze zich ontwikkelen in de loop van het schooljaar. Deze analyse biedt een kwantitatieve indicatie van de mogelijke effecten van de interventie.

3. Interviews met betrokkenen

Semigestructureerde interviews worden afgenomen met natuurkundeleraars, wiskundeleraars en leerlingen. Deze interviews dienen om inzicht te krijgen in:

- (a) de doelen en ontwerpkeuzes van docenten;

- (b) de manier waarop de interventie in de praktijk wordt gebruikt;
- (c) de ervaringen van leerlingen met het materiaal;
- (d) mogelijke verklaringen voor de gevonden resultaten.

Het onderzoek werd uitgevoerd op een Nederlandse middelbare school in de regio Midden. In de onderzochte klassen zitten in totaal 245 leerlingen. In dit onderzoek is gekeken naar de resultaten van 143 van deze leerlingen, omdat zij hiervoor toestemming gaven en de school over data van deze leerlingen van de afgelopen twee jaar beschikte. De leerlingen zitten in 4 VWO (38 leerlingen), 5 VWO (58 leerlingen) en 6 VWO (47 leerlingen) en volgen een atheneum- of gymnasiumopleiding. Zij volgen wiskunde A (40 leerlingen) of wiskunde B (103 leerlingen). Daarnaast volgt een deel van de leerlingen tweetalig onderwijs (Nederlands en Engels). Tijdens dit onderzoek wordt niet gekeken naar de effecten van geslacht, economische achtergrond, sociale achtergrond, migratieachtergrond en opleidingsniveau van ouders.

3.2. De interventie

Aangezien de interventie een belangrijk onderdeel van het onderzoek is, wordt deze eerst beschreven. Docenten natuurkunde ervoeren dat leerlingen veel moeite hadden met het toepassen van wiskundige vaardigheden. Zij ontwikkelden een diagnostische toets en bijbehorend remediërend materiaal om dit probleem systematisch aan te pakken. De interventie wordt toegepast in 4, 5 en 6 VWO en bestaat globaal uit een cyclisch proces van diagnose, remediëring en herkansing. Per leerling wordt vastgesteld welke vaardigheden voldoende worden beheerst en welke nog aandacht vereisen. Op basis daarvan worden leerlingen verwezen naar remediërend materiaal. Vervolgens krijgen zij de mogelijkheid om deze onderdelen opnieuw te laten toetsen. Leerlingen kunnen op afspraak onderdelen van de toets herkansen totdat zij een voldoende behalen. De diagnostische toets is een verplicht handelingsdeel binnen het Programma van Toetsing en Afsluiting (PTA).

3.2.1. Diagnostische toets

In de eerste week van elk schooljaar gedurende een reguliere les maken alle leerlingen een diagnostische toets waarin een aantal wiskundige vaardigheden wordt getoetst. Deze is bedoeld om inzicht te krijgen in de mate waarin leerlingen beschikken over deze vaardigheden. De getoetste vaardigheden omvatten onder andere het werken met eenheden, het herleiden en combineren van formules, rekenen met breuken en machten, het gebruik van significante cijfers en het toepassen van meetkundige en goniometrische relaties. Een lijst van alle onderwerpen is te vinden in hoofdstuk 4, tabel 4.1.

De diagnostische toets is voor elk jaar grotendeels vergelijkbaar. In de hogere leerjaren worden echter enkele aanvullende vaardigheden getoetst, die aansluiten bij de inhoud van het natuurkunde-programma. De toetsen worden handmatig nagekeken door de natuurkundeleraars en vervolgens individueel met leerlingen besproken. Op deze manier wordt duidelijk welke vaardigheden zij nog verder moeten ontwikkelen.

3.2.2. Remediërend materiaal

Het remediërend materiaal bestaat uit uitlegvideo's en online oefeningen die beschikbaar zijn via de digitale leeromgeving van de school. In de video's wordt stap voor stap uitgelegd hoe bepaalde wiskundige bewerkingen worden toegepast in natuurkundige contexten. In de video's schrijft een docent een aantal voorbeelden uit op een doorzichtig bord. Zowel de docent als de uitwerkingen zijn gelijktijdig zichtbaar. Tijdens het maken van de oefeningen krijgen leerlingen direct te zien of hun antwoord correct is, maar er wordt geen uitgebreide feedback gegeven over mogelijke fouten. De oefeningen zijn gelijkaardig aan de vragen op de toets. In tabel 3.1 is een aantal voorbeelden weergegeven.

Hoewel het gebruik van remediërend materiaal niet verplicht is, worden leerlingen na de diagnostische toets en tijdens de les verwezen naar deze en andere bronnen. Daarnaast kunnen zij tijdens de les gebruikmaken van de uitleg van de docenten en hulp van medeleerlingen.

Tabel 3.1: Voorbeelden van vaardigheidsoefeningen

Vraag	Antwoord (uitwerking)
Schrijf volgende meetwaarde om naar de gegeven eenheid: 20 km/h = ... m/s	$20 \text{ km/h} = \frac{20}{3,6} = 5,56 \text{ m/s}$ Antwoord: 5,6 m/s
Een cirkel heeft een straal van 10 cm. Bereken de omtrek van de cirkel.	$O = 2\pi r = 2\pi \cdot 10$ $O = 62,8 \text{ cm}$ Antwoord: 63 cm
Herleid de formule naar de gewenste grootheid. Als $F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$ dan is $v = \dots$	$F_{mpz} = \frac{mv^2}{r} \Rightarrow F_{mpz} \cdot r = mv^2 \Rightarrow v^2 = \frac{F_{mpz}r}{m} \Rightarrow v = \sqrt{\frac{F_{mpz}r}{m}}$ Antwoord: $v = \sqrt{\frac{F_{mpz}r}{m}}$

3.3. Analyse van het materiaal

De drie typen materialen zijn elk geanalyseerd door de onderzoeker aan de hand van onderstaande vragen.

- De diagnostische toets
 1. Welke vaardigheden worden tot op welk niveau getoetst op deze diagnostische toetsen?
 2. Hoe sluiten deze aan op de wiskundige vaardigheden zoals beschreven in de natuurkunde-syllabus, te vinden in bijlage A.1?
 3. Voldoet deze test aan de normen voor effectieve diagnostische toetsen beschreven in paragraaf 2.3?
- De uitlegvideo's
 1. Welke vaardigheden worden tot op welk niveau uitgelegd?
 2. Hoe sluiten deze aan op de wiskundige vaardigheden zoals beschreven in de natuurkunde-syllabus A.1 en de vaardigheden die worden getoetst op de diagnostische toets?
 3. Voldoen de video's aan normen die worden voorgelegd in de literatuur voor effectief helpen bij de transfer van vaardigheden tussen wiskunde en natuurkunde (paragraaf 2.3.2)?
- De online oefeningen
 1. Welke vaardigheden kunnen tot op welk niveau worden beoefend?
 2. Hoe sluiten deze aan op de wiskundige vaardigheden die worden getoetst op de diagnostische toets?
 3. Voldoet deze vorm van oefenen aan de normen die worden beschreven in paragraaf 2.3.3?

Deze onderzoeksactiviteiten dienen voornamelijk om te achterhalen welke onderwerpen in de onderwijsinterventie worden behandeld, op welke manier deze worden behandeld en in hoeverre deze aanpak afwijkt van de aanbevelingen uit de literatuur.

3.4. Analyse van de resultaten

De onderstaande resultaten zullen worden geanalyseerd en met elkaar worden vergeleken om te achterhalen wat het effect van de interventie is op de leerlingen. Hierbij wordt voor alle onderdelen specifiek gekeken naar verschillen tussen leerlingen uit klas 4, 5 en 6 VWO en tussen leerlingen die wiskunde A of B volgen. Er wordt gekeken naar data van de afgelopen twee schooljaren.

- Resultaten op de diagnostische toets
 1. Hoeveel leerlingen halen een onvoldoende bij de eerste diagnostische toets van het jaar? Dit is een indicator van de omvang van het probleem.
 2. Hoeveel pogingen hebben deze leerlingen gemiddeld nodig om een voldoende te halen? Dit is een indicator van het effect van het remediërend materiaal en de bijbehorende onderwijsmethode.
 3. Welke vaardigheden zorgen bij de eerste toets voor de meeste onvoldoendes en welke juist niet? Dit is een indicator voor welke vaardigheden leerlingen moeite mee hebben.
 4. Hebben leerlingen een jaar later opnieuw problemen met het halen van de toets als ze dat in het eerste jaar ook hadden? Dit is een indicator voor de retentie bij leerlingen.
- Resultaten op reguliere natuurkundetoetsen
 1. Is er een correlatie tussen de resultaten van leerlingen op de diagnostische toets en hun cijfer voor natuurkunde? Deze relatie is een indicator voor de relevantie van de stof op de diagnostische toets voor het vak natuurkunde.

3.5. Analyse van docent interviews

Voor dit deel van het onderzoek zullen verschillende interviews met verschillende docenten worden afgenomen. Hieronder wordt beschreven welke interviews worden afgenomen, hoe deze worden afgenomen en welke informatie deze zullen leveren voor het beantwoorden van de onderzoeksvragen.

Het eerste interview met de ontwerpers

De twee docenten die het materiaal hebben ontworpen en momenteel gebruiken in hun onderwijspraktijk zullen worden geïnterviewd over hun onderwijsinterventie. Het doel van dit interview is om te achterhalen wat hun doel is (onderzoeksvraag 1.1); welke keuzes ze hebben gemaakt en hoe ze denken dat deze bijdragen aan hun doel (onderzoeksvraag 1.2); wat de kenmerken zijn van de ontwikkelde interventie (onderzoeksvraag 2.1) en hoe ze die gebruiken (onderzoeksvraag 2.3).

Omdat de mening, denkbeelden en perceptie van de docenten een belangrijke rol spelen in dit interview, is het belangrijk dat zij de ruimte krijgen om deze zo vrij en gedetailleerd mogelijk te beschrijven. Toch is het voor het onderzoek belangrijk dat een aantal aspecten expliciet aan bod komen. Daarom is gekozen voor een semi-gestructureerd interview. Dit biedt de vrijheid voor de docenten om uit te weiden over onderwerpen die zij belangrijk vinden, terwijl de interviewer toch nog genoeg controle heeft om het gesprek in een bepaalde richting te sturen. Op basis van deze keuze en de vragen uit de vorige alinea is een interviewprotocol tot stand gekomen. Deze is te vinden in bijlage B.1.

Een interview met wiskundedocenten

Voor dit deel van het onderzoek wordt achterhaald welke vaardigheden leerlingen op welk moment aanleren tijdens de wiskundeles. Deze informatie helpt de onderzoekers om mogelijke aannames van de natuurkundedocenten (onderzoeksvraag 1.2) over dit onderwerp te evalueren. Daarnaast zijn wiskundedocenten goed gepositioneerd om deficiënties en moeite met de transfer van wiskundige

vaardigheden te analyseren en verklaren (onderzoeksvraag 3.4) en hiervoor oplossingen te formuleren (onderzoeksvraag 3.5). Daarom is er gekozen om twee wiskundedocenten te interviewen over dit onderwerp. Om dezelfde overwegingen als bij het interview met de natuurkundedocenten is ook hier gekozen voor een semi-gestructureerd interview. Ook voor dit interview is een interviewprotocol geformuleerd. Deze is te vinden in bijlage B.1.

Het afrondende interview met de ontwerpers

De resultaten van dit onderzoek zijn interessant voor de ontwerpers van de interventie. Daarnaast kunnen hun expertise en ervaring op het gebied van dit onderzoek waardevol zijn voor het duiden en verklaren van bepaalde opvallende resultaten. Om deze informatie vast te leggen in het onderzoek worden de ontwerpers aan het einde van het onderzoek nogmaals geïnterviewd. Hierin wordt gevraagd naar hun initiële reactie op bepaalde bevindingen uit het onderzoek (onderzoeksvraag 3.3), wat volgens hen hiervoor de verklaring is (onderzoeksvraag 3.4) en hoe de ontwerpers hun methode zouden aanpassen naar aanleiding van het onderzoek (onderzoeksvraag 3.5). Om dezelfde overwegingen als bij het eerste interview met de natuurkundedocenten is ook hier gekozen voor een semi-gestructureerd interview. Voor dit interview is een interviewprotocol geformuleerd dat te vinden is in bijlage B.1.

De interviews worden opgenomen via Microsoft Teams en automatisch getranscribeerd, waarna de transcripties handmatig worden gecontroleerd en gecorrigeerd aan de hand van audio-opnames. De analyse wordt vervolgens handmatig uitgevoerd in Microsoft Word. Door het relatief kleine aantal interviews worden de antwoorden van docenten in de vorm van quotes rechtstreeks gekoppeld aan de onderzoeksvragen zonder codering.

3.6. Analyse van leerling interviews

Het perspectief van de leerlingen in deze interventie speelt een belangrijke rol in dit onderzoek. Analyse van toetsresultaten geeft inzicht in de evolutie van hun vaardigheden, maar zegt weinig over de metacognitieve en affectieve doelen die docenten hopen te bereiken bij leerlingen (onderzoeksvraag 3.2). Daarnaast is het ook belangrijk om te achterhalen hoe zij de methode ervaren en gebruiken (onderzoeksvraag 2.3) en of ze misschien ook ander materiaal gebruiken dan het materiaal dat door de docenten wordt aangeboden.

Omdat deze aspecten allemaal gaan over de mening en ervaring van de leerlingen, is ook hier gekozen voor een semi-gestructureerd interview. Om efficiënt een beeld te krijgen van de ervaringen van de leerlingen is gekozen voor een steekproef van enkele groepsinterviews met telkens twee tot drie leerlingen. Er is gekozen voor groepsinterviews omwille van sociale veiligheid en voor betere datacollectie. Een interview in groep kan bevorderend zijn voor de antwoorden van leerlingen, omdat zij op elkaars antwoorden reageren, waardoor de interviewer vaak grondigere en genuanceerdere antwoorden verkrijgt. Bovendien voelen leerlingen zich in een groep vaak meer op hun gemak dan tijdens een individueel interview (Guest e.a., 2017). Er zijn drie grotendeels gelijkaardige interviews opgesteld voor de verschillende groepen die geïnterviewd zullen worden. Deze zijn te vinden in bijlage B.2.

De groepen zijn gekozen op basis van hun resultaten op de diagnostische toets. Zo wordt een groep leerlingen geïnterviewd die de diagnostische toets bij de eerste poging of na één inhaalpoging voldoende heeft afgerond (categorie 1); een andere groep leerlingen die na één inhaalpoging nog geen voldoende resultaat behaalden, maar de toets intussen wel voldoende hebben afgelegd (categorie 2); en een laatste groep leerlingen die op het moment van het interview de toets nog steeds niet voldoende heeft afgerond (categorie 3). Leerlingen worden uitsluitend met klasgenoten geïnterviewd. Daarbij worden leerlingen uit alle jaarlagen (4, 5 en 6 VWO) geïnterviewd.

De interviews met leerlingen worden geanalyseerd met behulp van een thematische analyse (Braun en Clarke, 2006). De codering van de interviews vindt in eerste instantie deductief plaats, waarbij de structuur van het interviewprotocol wordt gevolgd. Fragmenten uit de transcripties worden gekoppeld aan de bijbehorende interviewvragen en bijbehorende hoofdthema's. Binnen deze thematische inde-

ling worden vervolgens subcodes ontwikkeld, gebaseerd op terugkerende patronen in de data (inductieve codering). Voorbeelden van dergelijke subcodes zijn verschillende vormen van materiaalgebruik, zoals het gebruik van uitleg, video's, online oefeningen en externe hulp, evenals percepties van het nut van de opdrachten en uitspraken over het zelfvertrouwen in wiskundige vaardigheden binnen het vak natuurkunde.

De transcripties van de interviews worden automatisch gegenereerd via Microsoft Teams en vervolgens handmatig gecontroleerd en gecorrigeerd aan de hand van audio-opnames. De gecorrigeerde transcripties worden daarna handmatig gecodeerd in Microsoft Word, waarna de audio opnames vernietigd worden. Tijdens het coderingsproces worden codes waar nodig verfijnd of verder gespecificeerd op basis van nieuwe inzichten uit de data.

De analyse resulteert in een overzicht van terugkerende thema's en patronen in de uitspraken van de leerlingen. Ter onderbouwing van deze thema's worden representatieve citaten geselecteerd. De codering wordt uitgevoerd door de onderzoeker, die tevens de interviewer is.

3.7. Ethische overwegingen

Aangezien dit onderzoek wordt uitgevoerd binnen een onderwijscontext en gebruikmaakt van gegevens van docenten en minderjarige leerlingen, zijn verschillende maatregelen getroffen om de privacy en het welzijn van de deelnemers te waarborgen. Daarbij is rekening gehouden met de ethische richtlijnen voor onderwijsonderzoek en met de geldende privacywetgeving van de TU Delft met betrekking tot de omgang met persoonsgegevens.

3.7.1. Geïnformeerde en vrijwillige deelname

Voorafgaand aan het onderzoek is toestemming gevraagd aan de schoolleiding voor het uitvoeren van het onderzoek binnen de schoolcontext. De directie is geïnformeerd over de doelstelling van het onderzoek, de aard van de dataverzameling en de betrokkenheid van leerlingen en medewerkers. Op basis daarvan heeft de school toestemming verleend voor de uitvoering van het onderzoek.

Daarnaast is aan alle individuele deelnemers geïnformeerde toestemming gevraagd voor deelname aan interviews en voor het gebruik van relevante onderzoeksgegevens. Voor leerlingen van 16 jaar en ouder is deze toestemming rechtstreeks door de leerlingen zelf gegeven. Voor leerlingen jonger dan 16 jaar is toestemming gevraagd aan hun ouders of wettelijke voogden.

Deelnemers zijn vooraf geïnformeerd over:

- Het doel van het onderzoek.
- De manier waarop de gegevens worden verzameld en gebruikt.
- Hun recht om deelname te weigeren.
- Hun recht om zich op elk moment zonder gevolgen terug te trekken uit het onderzoek.

3.7.2. Anonimiteit en pseudonimisering van gegevens

In dit onderzoek wordt gebruikgemaakt van toetsresultaten van leerlingen. Om de privacy van deelnemers te beschermen, zijn deze gegevens gepseudonimiseerd voordat ze door de onderzoeker zijn geanalyseerd.

De toetsresultaten van leerlingen zijn gedeeld met pseudonieme identificatiecodes. Hierdoor had de onderzoeker enkel toegang tot de relevante onderzoeksvariabelen, zoals leerjaar, wiskundeprofiel en toetsresultaten. De sleutel waarmee deze codes aan individuele leerlingen gekoppeld kunnen worden is door de school beheerd en niet gedeeld met de onderzoeker.

Op basis van de geanalyseerde data heeft de onderzoeker een selectie gemaakt van groepen leerlingen die voor een interview benaderd konden worden. De daadwerkelijke selectie en benadering van leerlingen voor de interviews werden uitgevoerd door de docenten van de school, zodat de identiteit van de leerlingen voor de onderzoeker zo lang mogelijk anoniem bleef.

In het onderzoeksverslag worden geen namen of andere direct identificeerbare gegevens van deelnemers opgenomen. Eventuele citaten uit interviews worden geanonimiseerd weergegeven.

3.7.3. Databeveiliging en opslag van onderzoeksdata

Alle verzamelde onderzoeksgegevens zijn opgeslagen op de beveiligde digitale werkomgeving van de TU Delft. Alleen de onderzoeker had toegang tot deze bestanden.

Interviews met leerlingen en docenten zijn opgenomen om een nauwkeurige transcriptie mogelijk te maken. Er is uitsluitend audio opgenomen; er is geen beeldmateriaal geproduceerd. De audio-opnamen zijn gebruikt om de transcripties te controleren en waar nodig te verbeteren, waarna de opnamen zijn verwijderd.

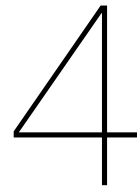
De transcripties zijn gebruikt voor analyse en voor het selecteren van geanonimiseerde citaten voor het onderzoeksverslag. Omdat volledige anonimisatie van de transcripties niet mogelijk is zonder relevante context te verliezen, worden deze transcripties niet openbaar gemaakt. De transcripties worden na afronding van het onderzoek vernietigd.

Het uiteindelijke onderzoeksverslag wordt opgeslagen in de repository van de TU Delft en daar gedurende tien jaar bewaard, conform de richtlijnen voor masteronderzoek.

3.7.4. Bescherming van leerlingen tijdens het onderzoek

Omdat een deel van de deelnemers minderjarig is, zijn aanvullende maatregelen getroffen om hun veiligheid en welzijn te waarborgen. De onderzoeker heeft een geldige Verklaring Omtrent het Gedrag (VOG) overhandigd aan de school.

De interviews met leerlingen vonden uitsluitend plaats op school, tijdens reguliere schooluren. Leerlingen namen deel in kleine groepen met klasgenoten, zodat zij zich in een vertrouwde omgeving konden uitspreken. Leerlingen konden op elk moment besluiten om niet deel te nemen of het interview voortijdig te beëindigen.



Resultaten

De resultaten van dit onderzoek worden beschreven in de volgorde van de onderzoeksvragen zoals geformuleerd in de introductie in hoofdstuk 1.

4.1. Het doel en de motivatie van de ontwerpers

Aan de hand van een interview werd achterhaald wat de ontwerpers zagen als de aanzet voor hun interventie. Ook is tijdens dit interview gekeken naar hun doelen die de ontwerpers bij deze interventie beoogden en de keuzes die ze daarvoor gemaakt hebben. Dit leverde de onderstaande resultaten op.

4.1.1. Het probleem volgens de ontwerpers

Tijdens het interview gaven de ontwerpers aan dat leerlingen veel moeite hadden met relatief eenvoudige vaardigheden, zoals oppervlaktes berekenen of formules omschrijven. Leerlingen zouden deze vaardigheden reeds moeten beheersen, maar in de praktijk bleek dit niet het geval. Dit leidde tot problemen voor zowel leerlingen als docenten:

Docent A [Over probleem dat hem motiveerde om de interventie te ontwikkelen]: Wat mij heel erg opviel, was dat leerlingen bij toetsen zoveel fouten maakten met vaardigheden [de vaardigheden op de diagnostische toets] waar ik eigenlijk geen les over gegeven had, dat ik soms het gevoel had dat ik een toets aan het nakijken was op iets wat ik gedurende de periode niet had behandeld.

De ontwerpers zagen het dus niet alleen als een probleem voor de leerlingen, maar ook als iets dat hun werk als docent belemmerde. Bovengenoemd probleem maakte het voor hen moeilijker om te beoordelen hoe goed leerlingen de nieuwe stof begrepen en of hun onderwijs effect had op de leerlingen.

Daarnaast gaven de ontwerpers ook aan dat ze niet tevreden waren met hoe leerlingen omgingen met slechte cijfers. Leerlingen probeerden volgens hen niet te leren van fouten uit eerdere toetsen. Zij vonden dat het reguliere onderwijs leerlingen ook weinig reden gaf om dat te doen.

Docent A: Mijn doel was ook dat leerlingen ontdekten dat ... Bij heel veel toetsen lukt het niet. En dan denken ze: "Ja, maar dan kan ik dit onderdeel gewoon niet." En dat is dan prima, dan doe ik het gewoon niet meer. Dan kan ik dat stuk niet, maar dan kan ik nog steeds een 9 halen, dus dat is prima. Zoals we de opzet van deze interventie hebben gedaan, kunnen leerlingen daar eigenlijk gewoon niet onderuit komen.

Ze [de leerlingen] moeten er [de vaardigheden op de toets] echt mee aan de slag en ze kunnen wel zeggen: "Ik kan het niet". Maar alles moet voldoende zijn.

4.1.2. Het doel van de ontwerpers

De ontwerpers beschreven hun doel voor de interventie als volgt:

Docent A: Ja, het doel van de interventie is eigenlijk twee dingen. Dat leerlingen ontdekken wat ze nog niet goed kunnen en vooral dat op het moment dat ze het nog niet kunnen dat ze er ook echt mee aan de slag kunnen om dat te verbeteren...

De ontwerpers hadden dus twee soorten doelen. Enerzijds wilden zij dat leerlingen kennis en vaardigheden opdeden die volgens hen belangrijk zijn voor natuurkunde. Anderzijds beoogden zij veranderingen in het metacognitieve bewustzijn en het gedrag van leerlingen:

1. Leerlingen herkennen dat zij bepaalde basisvaardigheden nog onvoldoende beheersen.
2. Leerlingen begrijpen waarom deze vaardigheden belangrijk zijn voor hun natuurkundeonderwijs.
3. Leerlingen zijn gemotiveerd om deze vaardigheden verder te ontwikkelen.
4. Leerlingen gaan daadwerkelijk aan de slag om deze vaardigheden verder te ontwikkelen.

4.1.3. De ontwerpkeuzes

Een volledige beschrijving van de interventie is te vinden in paragraaf 3.2. Tijdens het interview besloten de ontwerpers om verder in te gaan op de volgende aspecten van hun interventie.

De ontwerpers gaven aan dat ze het belangrijk vonden dat leerlingen gedwongen worden om geen genoegen te nemen met een onvoldoende. Daarom hebben ze gekozen om de toets op te nemen in het PTA. Zo zijn leerlingen verplicht om dit onderdeel voldoende af te ronden aan het einde van het schooljaar. Ze hopen hiermee niet alleen dat leerlingen deze vaardigheden beter beheersen, maar ook dat leerlingen inzien dat eerder behandelde stof vaak terugkeert en dat het dus in hun eigen belang is om te leren van gemaakte fouten uit voorgaande toetsen.

De ontwerpers vinden dat leerlingen zelf verantwoordelijkheid moeten nemen voor hun onvoldoendes. Daarom moeten ze zelf een moment plannen om de toets in te halen (na de eerste herkansing) en zelf besluiten om het oefenmateriaal te gebruiken.

4.2. De interventie in de praktijk

Om na te gaan hoe de ontwerpers hun doelen voor deze interventie proberen te bereiken, wordt onderzocht hoe de interventie in de praktijk wordt toegepast. Dit wordt gedaan aan de hand van interviews met docenten en leerlingen en door het ontwikkelde materiaal te analyseren. De uitvoering van de interventie wordt vergeleken met voorschriften uit de literatuur en voorgaand onderwijs van de leerlingen om context te bieden voor ontwerpkeuzes en observaties.

4.2.1. De uitvoering

De interventie is voor dit onderzoek opgesplitst in de volgende elementen:

- A. De introductie van de interventie aan de leerlingen.
- B. De centrale diagnostische toets.
- C. De ontwikkelde oefenmaterialen en feedback die leerlingen horen te helpen tijdens het remediëren.

Punt A wordt voornamelijk in kaart gebracht via interviews met leerlingen en docenten. Punt B en C worden ook aangevuld door een analyse van de diagnostische toets en ontwikkelde materialen uitgevoerd door de onderzoeker.

A. De introductie: De interventie wordt geïntroduceerd in de eerste week van het schooljaar. Leerlingen wordt verteld dat zij een toets gaan maken die een onderdeel is van hun PTA, wat betekent dat ze deze voldoende moeten afronden om over te kunnen gaan naar het volgende jaar. Leerlingen weten dat ze zich bij de eerste keer niet hoeven voor te bereiden en dat ze meerdere kansen krijgen om elk onderdeel van de toets te herkansen. Er wordt aan de leerlingen verteld dat deze toets niet

bedoeld is om hen te beoordelen of een cijfer te geven, maar om voor hen duidelijk te maken welke vaardigheden ze nog niet beheersen en om hen daarna te motiveren om dit te verhelpen. Leerlingen worden voor de eerste toets nog niet doorverwezen naar het oefenmateriaal, maar kunnen daar wel al bij. De verantwoordelijkheid voor wanneer en hoe de leerling gaat remediëren wordt vanaf het begin bij de leerlingen zelf gelegd. Deze beschrijving volgt uit interviews met de ontwerpers en wordt ook bevestigd door leerlingen.

B. De diagnostische toets: Op de diagnostische toets worden zeven overkoepelende vaardigheden getoetst: eenheden omschrijven, formules herleiden, werken met significantie, formules gebruiken met een rekenmachine, meetkunde, goniometrie en eenheden afleiden. Vaardigheden 1 en 2 zijn elk onderverdeeld in vier sub-vaardigheden en vaardigheid 3 in drie sub-vaardigheden. In totaal worden over de 3 leerjaren 15 vaardigheden en sub-vaardigheden getoetst.

Per leerjaar worden uit deze 15 vaardigheden 11 geselecteerd, afgestemd op de kennis en vaardigheden die in dat leerjaar van leerlingen worden verwacht. In tabel 4.1 wordt per vaardigheid toegelicht wat deze inhoudt en in welk leerjaar deze wordt getoetst. Elke vaardigheid wordt beoordeeld met een specifieke categorie vragen, waarvan in de tabel een voorbeeld is opgenomen. Daarnaast staat vermeld hoeveel vragen per vaardigheid op de toets voorkomen en hoeveel daarvan correct beantwoord moeten worden om de vaardigheid voldoende af te ronden.

Nummer	Beschrijving vaardigheid	Voorbeeldvraag	Getoetst in leerjaar	# vragen	Benodigd # vragen
1a	Lengtematen omrekenen	15 m = ... mm	4, 5 en 6	4	3
1b	Overige maten omrekenen	3,6 km/h = ... m/s of 2 bar = ... Pa	4, 5 en 6	4	3
1c	Oppervlaktematen omrekenen	15 mm ² = ... cm ²	4, 5 en 6	3	2
1d	Volumematen omrekenen	2 L = ... m ³ of 13 mm ³ = ... dm ³	4, 5 en 6	3	2
2a	Formules met vermenigvuldiging en deling herleiden	$v = \frac{x}{t}$, bepaal $x = \dots$	4	3	3
2b	Formules met optellen en aftrekken herleiden	$\Delta t = t_2 - t_1$, bepaal $t_1 = \dots$	4	3	2
2c	Formules met andere vormen herleiden	$s = \frac{1}{2}at^2$, bepaal $t = \dots$	4 en 5	3	1 voor 4vwo en 2 voor 5vwo
2d	Formules met substitutie herleiden	$\frac{1}{2}\lambda = \Delta h$ en $v = f\lambda$, schrijf v in termen van Δh en f	6	3	2
3a	Getallen noteren in een aantal significante cijfers	Schrijf 0,123456 in 4 significante cijfers	5 en 6	4	4
3b	Bij een berekening bepalen wat het juiste aantal significante cijfers is	$0,032 \times 15 = \dots$, geef het correcte aantal significante cijfers van het antwoord	5 en 6	4	3
3c	Getallen noteren met een aantal cijfers achter de komma	Schrijf 0,123456 met 5 cijfers achter de komma	4	4	4
4	Met behulp van een formule, getalwaarden en een rekenmachine een berekening uitvoeren	$I = \frac{U}{R}$, met $U = 230 \text{ V}$ en $R = 32 \Omega$, bepaal $I = \dots \text{ A}$	4, 5 en 6	4	3
5	Oppervlakte, straal, omtrek en volume van meetkundige figuren berekenen	Een cirkel heeft een straal van 10 cm, bereken de omtrek = ... cm	4, 5 en 6	4	3
6	Pythagoras en SOS CAS TOA toepassen in een driehoek	De twee zijden die grenzen aan de rechte hoek van een driehoek hebben een lengte van 3 en 4 m. Bereken de lengte van de derde zijde.	4, 5 en 6	4	3
7	Met een formule de eenheid van een onbekende afleiden	$F_{wl} = \frac{1}{2}C_w\rho A v^2$, waarbij F_{wl} de luchtweerstandskracht is, ρ de luchtdichtheid, A het frontaal oppervlak en v de snelheid. Wat is de eenheid van C_w ?	5 en 6	4	2

Tabel 4.1: Overzicht van vaardigheden die getoetst worden op de diagnostische toets. Met voorbeeldvragen, in welk jaar de vaardigheden behandeld worden op de toets en hoeveel leerlingen moeten scoren voor een voldoende voor die vaardigheid.

In tabel 4.1, kolom 4, is te zien dat de toets voor elk leerjaar verschillend is, maar dat veel onderde-

len elk jaar terugkomen. Zo komt de vaardigheid eenheden omschrijven, overkoepelende vaardigheid 1, elk jaar terug. Er kunnen soms kleine verschillen zijn tussen jaren. Zo moeten leerlingen in 5 en 6 VWO hun antwoord bij het omrekenen van eenheden noteren in wetenschappelijke notatie, terwijl dat in 4 VWO nog niet wordt getoetst. Met uitzondering van subvaardigheid 2c is de minimale eis voor het beheersen van een vaardigheid ook hetzelfde voor alle jaren.

Als de getoetste vaardigheden worden vergeleken met de rekenkundige en wiskundige vaardigheden die vereist worden door de natuurkundesyllabus (College voor Toetsen en Examens, 2024a), valt op dat slechts een deel van deze vaardigheden wordt getoetst. Uit de lijst in bijlage A, figuur A.1, wordt een selectie van vaardigheden getoetst. Er wordt op de diagnostische toets voornamelijk gekeken naar rekenkundige basisvaardigheden (1.a tot en met 1.e in figuur A.1). De wiskundige technieken die worden getoetst zijn het herleiden en substitueren van formules (2.a in figuur A.1) en het toepassen van de stelling van Pythagoras en goniometrie in rechthoekige driehoeken (2.f in figuur A.1).

C. Het oefenmateriaal en de feedback: Het oefenmateriaal is reeds beschreven in paragraaf 3.2. Uit de analyse van dit materiaal blijkt dat de opdrachten in de voorbeeldvideo's en online oefeningen goed aansluiten op die van de diagnostische toets. De onlineomgeving voor oefenopdrachten geeft alleen aan of een opdracht goed of fout is. Er wordt geen verdere informatie gegeven over de aard of inhoud van mogelijke fouten. Zowel de ontwerpers als de leerlingen zeggen dat ze de toets met elkaar bespreken. De leerlingen geven aan dat deze feedback hen ook helpt om de toets beter te maken, zoals te zien in onderstaande quote uit een interview.

Leerling: Ja, een beetje hetzelfde [als wat een andere leerling aangaf], en wat je met je docent besproken hebt dan. Toen had hij gewoon een beetje uitgelegd wat je hier dan wel moest doen. En toen lukte het de tweede keer eigenlijk wel.

Interviewer: Dus de uitleg van de docent heb je vooral gebruikt?

Leerling: Ja, want ik wist eerst eigenlijk niet wat hier nu precies de bedoeling was, maar uiteindelijk had hij dat wel uitgelegd en toen ging het wel beter.

4.2.2. Vergelijking met richtlijnen

In paragraaf 2.3 zijn richtlijnen voor goede diagnostiek en remediëring beschreven. Deze worden nu vergeleken met de uitvoering van de interventie.

A. Diagnostiek:

1. Diagnostische functie

De toetsvragen zijn zo geformuleerd dat zoveel mogelijk één vaardigheid wordt getoetst. Zo staat bij vaardigheid 4 de formule al in de juiste vorm, zodat leerlingen hier niet in de fout kunnen gaan met het omschrijven van de formule. Ook staan alle getalwaarden al in de SI-eenheid en is de eenheid van het eindantwoord ook al gegeven. Er wordt zo dus enkel getoetst op het correct invullen van de vergelijking. Toch zijn er ook vaardigheden waarbij dit anders is. Zo moeten de leerlingen in het vijfde en zesde leerjaar bij het omrekenen van eenheden ook de wetenschappelijke notatie gebruiken en dus eigenlijk ook al nadenken over het aantal significante cijfers. Hier moet de leerling meerdere vaardigheden integraal toepassen. Bij een fout is dus niet meteen duidelijk welke vaardigheid de leerling beter moet oefenen.

2. Taakvariatie

Elke vaardigheid uit tabel 4.1 wordt met meerdere vragen getoetst die verschillende situaties toetsen. Zo wordt bij het invullen van formules getoetst met formules van variërende complexiteit. Denk hierbij aan het verschil tussen een simpele verhouding met drie variabelen zoals $F = m \cdot a$ en een kwadratische verhouding zoals $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$. Dit soort variatie is terug te vinden in de

meeste onderdelen. Toch zijn er ook onderdelen waar de variatie minder groot is. Zo wordt bij onderdeel 2c bijvoorbeeld gevraagd om l vrij te maken uit $F = B \cdot I \cdot l$. Zo'n vraag hoort wellicht eerder thuis in 2a.

Daarnaast is elke vraag gelabeld. Een onderdeel van de toets wordt bijvoorbeeld aangeduid als 'eenheden omschrijven'. Een leerling hoeft dus niet zelf te bepalen welke vaardigheid bij een opdracht toegepast moet worden. Dit betekent dat dit onderdeel van de vaardigheid in mindere mate getoetst wordt. Moest dit wel zo zijn dan, dan is het wel weer moeilijker om te identificeren of een leerling nu moeite heeft met het toepassen van de vaardigheid of identificeren wanneer de vaardigheid toegepast moet worden. Dit is een tweestrijd tussen taakvariatie en diagnostische functie die niet eenvoudig te omzeilen is.

3. Probleem vaststelling

Dit aspect sluit deels aan bij de diagnostische functie en de taakvariatie van de toets, omdat een goede uitsplitsing van de vaardigheden en de benadering van de vaardigheid in verschillende situaties al veel kan helpen bij het vaststellen waar de leerling precies moeite mee heeft. Toch speelt de feedback van de docent hier ook een grote rol. De probleemvaststelling hangt dus af van hoe nauwkeurig de docent identificeert waar de leerling precies fout gaat en hoe de docent dit vervolgens aan de leerling communiceert.

De ontwerpers maken impliciet de aanname dat een leerling een vaardigheid beheerst nadat deze dat onderdeel voldoende heeft afgerond. Zowel de ontwerpers als de leerlingen zelf benoemen dat dit niet altijd klopt, zoals blijkt uit deze quote.

Leerling [Over of de interventie hem helpt]: Ik had dus wel geleerd voor die significante cijfers op een gegeven moment, omdat de derde keer nog steeds geen voldoende had. Maar dat weet ik nu nog steeds niet. Dus hoeveel zin het dan heeft gehad, is meer de vraag.

Voor deze leerling is de interventie dus niet volledig in staat om ook de ontwikkeling van de leerling in kaart te brengen of deze zichtbaar te maken voor de leerling. Dit is wel een belangrijk onderdeel van diagnostiek zoals gedefinieerd in paragraaf 2.3.

De ontwerpers geven tijdens interviews aan dat leerlingen bij de eerste diagnostische toets vaak tijdsnood hebben. Volgens hen komt dat doordat leerlingen te lang nodig hebben om bepaalde vaardigheden correct toe te passen en niet omdat de toets te lang is. De ontwerpers zien de snelheid waarmee een vaardigheid toegepast kan worden als onderdeel van die vaardigheid. Maar als leerlingen daadwerkelijk tijdsnood hebben bij het maken van de toets, is het voor de ontwerpers minder duidelijk of een leerling een bepaalde vaardigheid niet kan toepassen of dat de leerling geen tijd meer had voor die vaardigheid omdat deze te veel tijd heeft besteed aan een andere opdracht.

4. Koppeling van de toets aan remediëring

De docenten hebben uitlegvideo's en online oefenopgaven voor elk getoetst onderdeel. Daarnaast geven docenten ook aan dat zij vaak één-op-één met leerlingen bepaalde onderdelen bespreken. Verder krijgen leerlingen na de toets een geautomatiseerde e-mail met de onderdelen waar ze nog mee moeten oefenen en welk oefenmateriaal ze daarvoor kunnen gebruiken. Leerlingen geven ook aan op de hoogte te zijn van het oefenmateriaal. Er kan dus gesteld worden dat duidelijk is voor de leerlingen welke oefeningen aansluiten op hun deficiënties.

5. Formatief

Voor formatief toetsen moeten de resultaten van de toets gebruikt worden door de docent om zich te informeren voor vervolgonderwijs van de leerling. Docenten stemmen hun advies aan de leerlingen af op de toets, dus de toets is zeker formatief. De richtlijnen uit de literatuur schrijven ook voor dat een diagnostische toets best niet summatief is, omdat de stress die daarmee gepaard gaat het resultaat van de toets kan beïnvloeden. Aangezien de toets uiteindelijk gebruikt

wordt om de leerling te beoordelen is de toets niet uitsluitend formatief.

Het negatieve effect van deze stress lijkt wel deels verholpen te zijn door de manier waarop de toets mee telt. Aan het begin van het schooljaar is er relatief weinig druk op de leerlingen in deze formulering van de diagnostische toets. Zo geven leerlingen aan dat ze de eerste toets ingaan met de verwachting dat ze deze niet in de eerste keer zullen halen en dat heel normaal is. Enkel als een leerling de toets lang laat aanslepen kan er een druk op de leerling ontstaan door vergelijking met anderen of in extreme gevallen wanneer het einde van het schooljaar nadert. Het feit dat de beoordeling van de toets doorslaggevend is voor hun overgang maakt wel dat dit, en niet bijvoorbeeld het verlangen naar zelfontwikkeling, de voornaamste drijfveer is voor leerlingen om deze toets goed te maken.

B. Remediëren:

1. Vooruitgang benoemen:

Door aan leerlingen te laten zien dat ze steeds minder onderdelen hoeven te herkansen, zien leerlingen duidelijk dat ze vorderen in het systeem. Uit gesprekken met leerlingen en ontwerpers blijkt echter dat zij beiden inzien dat dit niet per se betekent dat de leerling op de lange termijn daadwerkelijk beter is geworden in deze vaardigheid. Het is dus niet echt duidelijk voor de leerling of deze ook daadwerkelijk een vaardigheid ontwikkelt.

2. Betekenis geven:

Gesprekken met leerlingen laten zien dat het voor de leerlingen duidelijk is dat deze vaardigheden kunnen helpen om beter te scoren op andere toetsen. Ook beschrijven ze deze vaardigheden als een basis voor natuurkunde. Daarnaast geven de ontwerpers aan dat zij hier nadruk op leggen bij de introductie en bij de feedback tijdens de interventie. Analyse van het oefenmateriaal en gesprekken met de leerlingen laten zien dat de connectie met wiskunde nog niet helemaal helder is voor de leerlingen, zoals blijkt uit onderstaande quote.

Interviewer [Over welke vaardigheden leerlingen vanuit wiskunde kennen]: Oké, dus de balansmethode, dat is echt iets wat je meer bij natuurkunde gebruikt?

Leerling 1: Nou, vorig jaar heb ik het zelf ook bij wiskunde gebruikt. En nu ook wel nog veel bij natuurkunde. Maar ik weet niet echt precies wanneer we dat hebben gebruikt of hoe we dat kunnen.

Leerling 2: Ja, balansmethode was meer met letters en zo. Dat je dan de ene naar links en de andere naar rechts mocht en dat soort dingen. Maar niet echt per se met formules omschrijven. Balansmethode dat is dit jaar er echt bijgekomen.

Leerling 2 laat hier zien op de hoogte te zijn van de balansmethode en dat deze methode ook bij wiskunde gebruikt wordt. Echter is voor deze leerling de balansmethode die bij natuurkunde gebruikt wordt toch iets anders. Dit soort verwarring komt naar voren in de meerderheid van de interviews met de leerlingen. Gesprekken met de wiskundeleraars tonen ook aan dat deze methode bij wiskunde al in de onderbouw aangeleerd wordt.

3. Gezamenlijk leren:

De leerlingen geven aan dat zij zich vrij voelen om vragen te stellen over deze vaardigheden en dat hun docenten bereid zijn hen daarbij te helpen. Ook lijken leerlingen het niet erg te vinden om de diagnostische toets enkele keren te moeten herkansen. Toch is het te voorbarig om te veronderstellen dat de leerlingen zich hier helemaal vrij in voelen. Zo bleek dat een groot deel van de leerlingen tijdens de interviews aangaf minder pogingen voor een voldoende nodig te hebben dan zij volgens de toetsdata daadwerkelijk nodig hadden. Dit wijst mogelijk op een zekere schaamte. Al is het ook mogelijk dat zij dit verkeerd herinneren of denken dat dit een sociaal wenselijker antwoord is.

Ook is het remediëren in deze interventie grotendeels een individueel proces voor de leerlingen. Sommige leerlingen geven aan hulp te vragen aan hun medeleerlingen, maar dit wordt niet expliciet gestimuleerd door de interventie. Verder is het voor leerlingen ook niet duidelijk hoeveel anderen nog bezig zijn met remediëren. Mogelijkheden voor gezamenlijk leren worden dus nog niet optimaal benut.

4. Vrij leren:

Na de eerste herkansing is het volledig aan de leerlingen om te beslissen wanneer zij hun diagnostische toets willen herkansen. Ze worden ook niet verplicht om bepaalde materialen te gebruiken. Ze zijn dus zeker vrij in hun aanpak. Buiten de mogelijke feedback van docenten worden leerlingen niet echt begeleid bij hoe zij hun remediëring zouden kunnen aanpakken.

4.2.3. Aansluiting op wiskunde onderwijs

Om na te gaan in welke mate de vaardigheden op de diagnostische toets aansluiten op het wiskundeonderwijs op de school, zijn wiskundedocenten geïnterviewd. Zij geven aan dat de meeste vaardigheden op de toets geen wiskundige maar rekenkundige vaardigheden zijn. Deze vaardigheden sluiten niet altijd even scherp aan bij wat de leerlingen momenteel in de bovenbouw bij wiskunde doen, maar bijna alle vaardigheden zijn onderwezen in de onderbouw tijdens de wiskunde les. Werken met significante cijfers en eenheden afleiden (vaardigheden 3 en 7 respectievelijk uit tabel 4.1) zijn de enige vaardigheden die nagenoeg niet bij wiskunde in de onderbouw behandeld worden.

Vaardigheid 1 over het omschrijven van eenheden is een vaardigheid die bij wiskunde vroeg aangeleerd wordt volgens de docenten, maar momenteel veel minder aandacht krijgt omdat de opdrachten bij wiskunde in de bovenbouw vaak veel abstracter zijn. Het manipuleren van vergelijkingen (vaardigheid 2) gebeurt bij wiskunde op een hoger niveau dan op de diagnostische toets. De docenten noemen bijvoorbeeld het werken met logaritmen als een extra complexiteit bij wiskunde B in de bovenbouw. Vaardigheden 4, 5 en 6 komen volgens docenten voor in de vroege onderbouw van wiskunde, maar niet meer in de bovenbouw. Voor alle vaardigheden behalve 3 en 7 klopt het dus dat leerlingen deze al eerder hebben geleerd, maar het is voor sommige vaardigheden dus wel al een tijdje geleden.

4.2.4. Gebruik door de leerlingen

Een doel van de docenten is om leerlingen te laten werken aan vaardigheden die ze onvoldoende beheersen. Om in kaart te brengen wat het effect van deze sturing op de leerlingen in de praktijk is, wordt gekeken naar logboeken van online oefenmateriaal en gerapporteerd gebruik door leerlingen zelf tijdens interviews.

Voor de onlineopgaven wordt bijgehouden hoeveel leerlingen deze gebruiken. Uit deze data blijkt dat 48 van de 245 leerlingen het materiaal gebruikt hebben in de eerste 4 maanden van het schooljaar. Aangezien in schooljaar 2025–2026 slechts drie leerlingen bij de eerste diagnostische toets een voldoende halen, gebruikt dus ongeveer 80 procent van de leerlingen het aangeboden materiaal niet.

Dit komt overeen met wat leerlingen zelf aangeven tijdens interviews. Meer dan de helft van de leerlingen in de interviews geeft aan de oefeningen niet te gebruiken of is niet op de hoogte van het bestaan van deze oefeningen. Ook de video's worden niet door alle leerlingen gebruikt. Enkelen geven aan dat het materiaal te eenvoudig is en niet aansluit bij het niveau van de toets. De meeste leerlingen zeggen dat zij vooral gebruikmaken van de feedback van hun docenten en vlak voor het inhaalmoment nog snel de regels herhalen.

De ontwerpers geven zelf aan dat ze liever zouden hebben dat meer leerlingen gebruikmaken van het oefenmateriaal.

Interviewer legt aan de ontwerpers voor dat uit het logboek van de online opgaven blijkt dat de grote meerderheid van de leerlingen nog nooit een online opgave geopend heeft.

Interviewer: Is dat een beeld dat jullie herkennen en zouden jullie dat graag anders zien?

Docent B: Ja en ja.

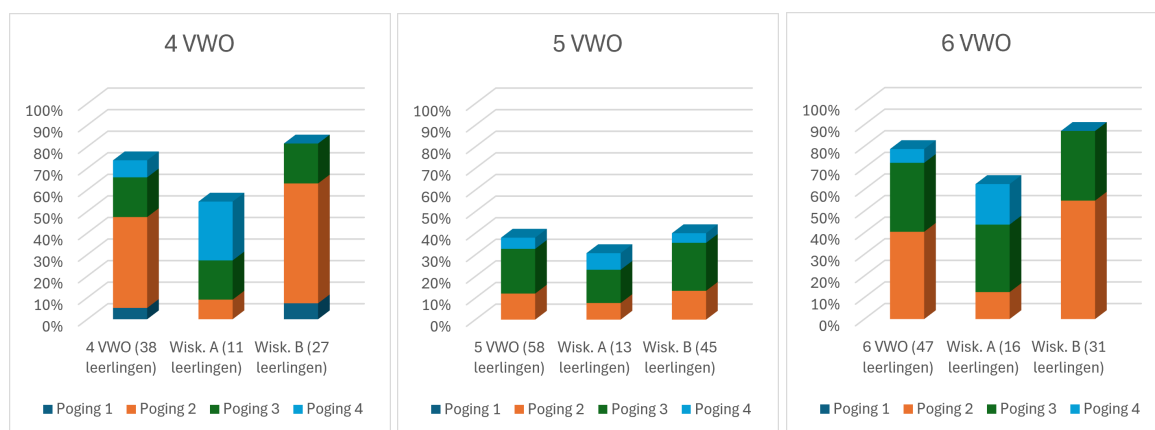
4.3. Het effect van de interventie

Om een beeld te krijgen van het effect van de interventie wordt eerst gekeken naar de resultaten van de leerlingen op de diagnostische toets. Daarna wordt aan de hand van interviews gekeken naar de metacognitieve en affectieve doelen van leerlingen en docenten.

4.3.1. De toetsresultaten

De grootte van het probleem:

Figuur 4.1 toont per leerjaar en voor wiskunde A en B het cumulatieve percentage leerlingen dat de diagnostische toets voldoende heeft afgerond. Het percentage bij poging 2 omvat dus ook de leerlingen die al na poging 1 een voldoende behaalden. Van de 143 onderzochte leerlingen behalen 3 leerlingen een voldoende bij de eerste poging. Deze leerlingen zitten allemaal in 4 VWO en volgen wiskunde B.



Figuur 4.1: Percentage van leerlingen dat na een aantal pogingen een voldoende haalt op de diagnostische toets met onderscheid tussen wiskunde A en B. Deze data is van de eerste 4 maanden van het schooljaar en niet alle leerlingen hebben de toets al voldoende afgerond.

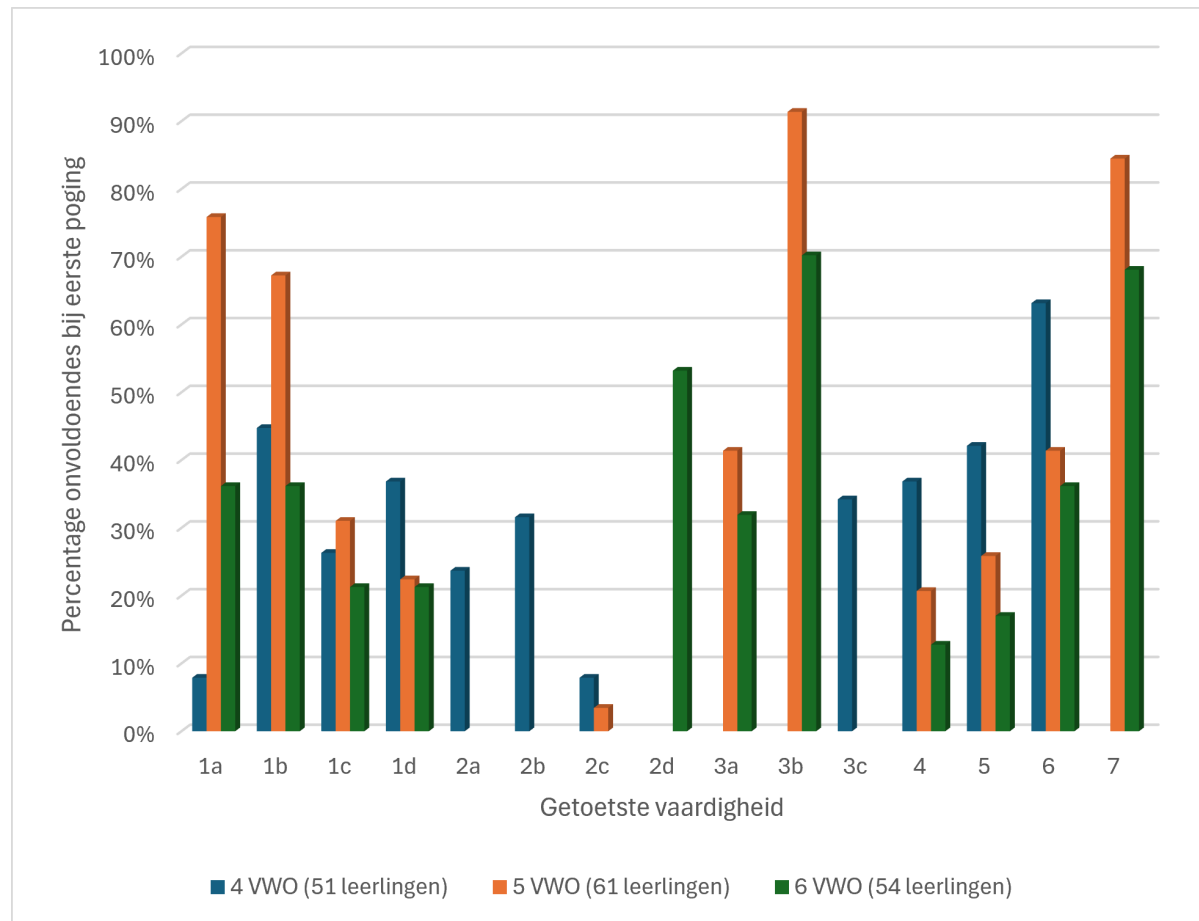
Uit deze gegevens blijkt dat wiskunde B-leerlingen de diagnostische toets sneller voldoende afronden dan wiskunde A-leerlingen. Ook is opvallend dat leerlingen in de 5 VWO meer pogingen nodig hebben om de diagnostische toets voldoende af te ronden. Om dit te verklaren is eerst meer context nodig.

Er wordt gekeken naar welke vaardigheden de meeste onvoldoendes opleveren. In figuur 4.2 wordt per vaardigheid weergegeven hoeveel procent van de leerlingen een onvoldoende haalde. Bepaalde vaardigheden leveren meer onvoldoendes op dan andere en dat blijft zichtbaar in latere jaren. Zo zorgen vaardigheid 1a, 1b, 2d, 3b, 6 en 7 minstens één jaar voor onvoldoendes bij meer dan 50% van de leerlingen. Ook is het opmerkelijk dat de onderdelen 1b, 3a, 3b, 6 en 7 aanhoudend voor meer dan 30% van de onvoldoendes zorgen.

het valt ook op dat in 5 VWO meer leerlingen onvoldoendes scoren bij overkoepelende vaardigheid 1 dan in 4 VWO. Het is belangrijk om te herhalen dat in de 5 VWO de leerlingen hier voor het eerst wetenschappelijke notatie moeten gebruiken bij deze oefeningen. Vaardigheden 3a, 3b en 7 worden in 5 VWO geïntroduceerd en zorgen daar voor een hoger aantal onvoldoendes. Deze twee effecten dragen mogelijk bij aan het lagere aantal voldoende in klas 5.

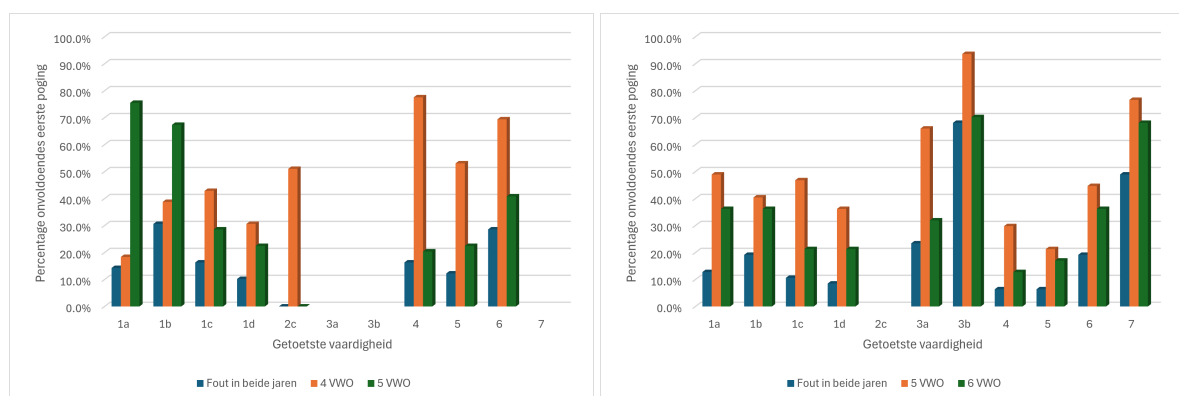
De evolutie van het probleem:

Er wordt nauwkeuriger gekeken naar het aantal leerlingen dat herhaaldelijk onvoldoendes haalt op dezelfde onderwerpen. Hiervoor is gekeken naar de resultaten van leerlingen op de diagnostische toets van de laatste twee schooljaren. Dit gaat over een groep van 96 leerlingen die de overgang van



Figuur 4.2: Percentage onvoldoendes op elke vaardigheid per klas bij de eerste poging.

4 naar 5 VWO (49 leerlingen) of van 5 naar 6 VWO (47 leerlingen) hebben gemaakt op de onderzochte school. In figuur 4.3 is weergegeven hoeveel leerlingen bij elke overlappende sub-vaardigheid in het huidige en in het vorige schooljaar fouten maakten. Daarna is weergegeven hoeveel leerlingen die sub-vaardigheid in beide jaren fout hadden.



Figuur 4.3: Inventarisatie van het percentage leerlingen dat vaardigheden herhaaldelijk onvoldoende maakt bij de eerste poging. Deze waarde wordt vergeleken met het percentage leerlingen dat deze vaardigheid onvoldoende scoort in de relevante jaren.

Figuur 4.3 geeft aan hoeveel leerlingen in 5 en 6 vwo onvoldoendes scoren op onderdelen die ze eerder ook al fout hadden. Zo zijn bijna alle onvoldoendes op vaardigheid 3b in 6 VWO toe te wijden aan leerlingen die deze vraag in 5 VWO ook eerst onvoldoende maakten. Anderzijds lijkt het bij vaar-

digheid 1a juist precies andersom. Daar zijn de meeste onvoldoendes in 6 VWO toe te wijden aan leerlingen die deze vaardigheid het jaar daarvoor wel goed hadden. Een onderdeel goed afronden zegt dus weinig over hoe goed je dat onderdeel het volgende jaar zal maken.

Vaardigheden 4, 5 en 6 worden in alle onderzochte leerjaren getoetst. Deze vaardigheden leveren in de hogere leerjaren steeds minder onvoldoendes op, maar ook hier is het opmerkelijk dat vaak meer dan de helft van de onvoldoendes in die hogere leerjaren wordt veroorzaakt door leerlingen die het jaar daarvoor eveneens een onvoldoende scoorden op deze vaardigheid. Deze vaardigheden zijn nagenoeg identiek getoetst in de verschillende leerjaren. Een probleem met retentie of de remediëring is hier dus duidelijker vast te stellen. Voor vaardigheid 7 geldt een grotendeels gelijkaardige vaststelling, al wordt deze vaardigheid enkel in de vijfde en zesde klas getoetst.

Samenhang met natuurkunde:

Om de correlatie tussen de resultaten op reguliere natuurkundetoetsen en de diagnostische toets te bepalen, is voor elke leerling het percentage correcte vragen op de diagnostische toets berekend (variabele y). Deze zijn dat tegen hun gemiddelde cijfer voor natuurkunde van schooljaar 2024-2025 en 2025-2026 uitgezet (variabele x). Voor de resulterende spreidingsdiagrammen is telkens een optimale lineaire trendlijn berekend en de bijbehorende determinatiecoëfficiënt (R^2). De absolute waarde van de factor a in de vergelijking van de trendlijn $y = ax + b$ geeft aan hoe sterk de voorspellende waarde van x is voor de variabele y . De determinatiecoëfficiënt is een maat die aangeeft hoe sterk deze correlatie is, met een waarde van 1 voor een perfecte correlatie en een waarde van 0 voor volstrekt ongerelateerde variabelen.

De volledige spreidingsdiagrammen zijn weergegeven in bijlage C.1. Uit deze analyse blijken de volgende verbanden:

- 4 VWO: $y = 1,25x - 23$ met $R^2 = 0,32$
- 5 VWO: $y = 0,32x + 38$ met $R^2 = 0,18$
- 6 VWO: $y = 0,58x + 26$ met $R^2 = 0,10$

Allereerst valt op dat in alle jaren de correlatie tussen de diagnostische toets en de natuurkunde-resultaten zwak is. Daarnaast is het opmerkelijk dat zowel de voorspellende waarde als de correlatie in de hogere leerjaren afzakken. Dit kan erop wijzen dat in hogere leerjaren het natuurkundecijfer sterker wordt beïnvloed door andere factoren, zoals inzicht of complexere vaardigheden die niet in de diagnostische toets aan bod komen.

4.3.2. De ervaring van de leerlingen

Er zijn 21 leerlingen geïnterviewd in 8 groepen met telkens 2 of 3 leerlingen. De reacties van de leerlingen bieden inzicht in de uitvoering van de interventie in de onderwijspraktijk en of de leerlingen de metacognitieve doelen die door de ontwerpers zijn gesteld bereiken. De vragen tijdens de interviews zijn geformuleerd om deze aspecten in beeld te brengen en sluiten aan op de onderwerpen die in deze paragraaf behandeld worden. Zoals aangegeven in paragraaf 3.6 zijn deze interviews gecodeerd op basis van terugkerende thema's. De quotes die in de volgende paragraaf zijn weergegeven zijn gekozen omdat deze op beknopte wijze de beste representatie geven van de meest voorkomende antwoorden van leerlingen.

Stress bij het toepassen van wiskunde: Wanneer leerlingen werd gevraagd hoe zij het vonden om wiskunde toe te passen binnen natuurkunde, gaven zij meestal een vergelijkbare reactie. Het was voor hen vanzelfsprekend dat dit zo was en ze zagen dit meestal ook niet als een probleem. Ze ervoeren geen stress bij het toepassen van wiskunde en meerdere leerlingen gaven aan zelfvertrouwen te ervaren wanneer bepaalde wiskunde herkend werd. Meerdere leerlingen noemden ook het verschil in hun wiskundeonderwijs (Wiskunde A en B) als een mogelijke reden hiervoor.

Een aantal leerlingen gaf aan moeite te ervaren met wiskunde. Dit werd echter altijd opgevolgd met een opmerking dat het niveau van de wiskunde bij natuurkunde wel behapbaar was voor hen.

Interviewer: Ervaar je daar [wiskunde] een soort stress voor dat je dat moet toepassen?

Leerling: Nou, ik was vorig jaar niet de beste in wiskunde. En toen werd tegen mij wel gezegd dat natuurkunde kiezen geen slim idee was. Toen heb ik het gewoon toch gedaan, want ik wilde wel natuurkunde. Maar ik merk dat ik de wiskundige vaardigheden niet perfect moet kennen, want het wordt nog wel heel de tijd herhaald.

En wat vooral gewoon belangrijk is, is de balansmethode en formules herschrijven, dat zijn eigenlijk de belangrijkste dingen.

Hierbij is ook relevant dat meerdere leerlingen een onjuist antwoord gaven over het aantal pogingen dat zij nodig hadden voor de toets. Dit wijst mogelijk op een zekere schaamte of status die verbonden is aan het aantal pogingen dat een leerling nodig heeft. Al kan het natuurlijk ook zijn dat leerlingen het niet meer goed herinneren bijvoorbeeld.

Het belang van de vaardigheden volgens de leerlingen: Een leerling zei het volgende over het belang van de vaardigheden op de toets:

Interviewer: Snappen jullie waarom deze toets verplicht is?

Leerling: Ja. Als je dit niet kan, dan mis je echt best wel veel punten voor natuurkunde. Want dit zijn wel echt allemaal basisdingen die je moet weten voor natuurkunde.

De leerlingen beschrijven de vaardigheden meestal als de basis voor natuurkunde. Soms wordt een onderdeel genoemd dat minder relevant is, zoals eenheden afleiden, volume of oppervlaktematen. Leerlingen beschrijven het belang van deze vaardigheden meestal in de context van punten halen op een toets of iets wat anders veel tijd kost. Er wordt niet verwezen naar deze vaardigheden als belangrijk voor het begrip van het vak.

Samenhang met wiskunde volgens de leerlingen: De meeste leerlingen geven aan dat een deel van de vaardigheden wel al eens eerder bij wiskunde is aangeleerd, maar dat deze bij natuurkunde moeilijker of op een andere manier moeten worden toegepast, waardoor ze niet helemaal hetzelfde zijn.

Leerling 1 [over X afzonderen bij wiskunde en formules omschrijven bij natuurkunde]: Ik heb wiskunde B, dus dat gaat voornamelijk veel over X 'jes. In de vierde sowieso wel, maar volgens mij in de derde ging het ook al over X .

Leerling 2: Ja, volgens mij in de tweede ook al.

Interviewer: Is dat gelijkaardig aan dit [formules omschrijven bij natuurkunde] volgens jullie?

Leerling 1 en 2: Het is wel anders, maar je kan het wel met elkaar vergelijken, vind ik.

Deze opvatting bestaat voornamelijk voor het herschrijven van formules. Andere vaardigheden zoals eenheden omschrijven, goniometrie en geometrie worden door de meeste leerlingen herkend als stof die eerder al bij wiskunde is behandeld. Significantie is volgens de leerlingen niet eerder behandeld. Dit werd ook door de wiskundeleraars bevestigd.

Hoe leerlingen het materiaal gebruiken: De grote meerderheid van leerlingen geeft aan zich weinig of niet voor te bereiden op de diagnostische toets en herkansingen. De meesten geven aan dat de uitleg van de docenten als feedback op een onvoldoende uiteindelijk voldoende is om een voldoende op alle onderdelen te halen. Bij 2 interviews waren er leerlingen niet op de hoogte van het online materiaal. Ongeveer de helft geeft aan de video's te gebruiken en één leerling zegt ook de oefeningen te gebruiken. Daarvoor geeft een leerling de volgende verklaring.

Leerling: Het is ook fijner om filmpjes te kijken dan om te leren, vind ik zelf.

Wat leerlingen vinden van de interventie: Zoals eerder vermeld, snappen de meeste leerlingen waarom docenten deze vaardigheden willen bijspijkeren. Leerlingen waarderen de tijd die de ontwerpers daarvoor nemen.

Leerling: Ja, dat is gewoon fijn dat de docenten er niet van gaan dat je het weet. Omdat het natuurlijk wel voorkennis is. En dan gaat hij er niet per se van uit, maar hij test echt of je het weet. Je moet er ook voor slagen aan het einde van het jaar, dus hij zorgt er zegmaar voor dat je het weet. Dat is wel fijn.

Leerlingen uiten wel hun twijfels over hoe effectief de methode is die de ontwerpers momenteel gebruiken. In 5 van de interviews geven leerlingen aan dat ze twijfelen aan de effectiviteit van de interventie op lange termijn.

Leerling 1: Ik denk niet per se dat je daar ook heel veel van opschiet, want het is meestal gewoon dat je die eerste keer de toets onverwachts krijgt. En dan die tweede keer ben je het eigenlijk ook vergeten. En dan is het eigenlijk elke keer zo totdat je het haalt. Dus het is niet echt dat je ervoor leert. Heb ik het gevoel.

Leerling 2: Ik had dus wel geleerd voor die significante cijfers op een gegeven moment, omdat ik de derde keer nog steeds geen voldoende had. Maar dat weet ik nu nog steeds niet. Dus hoeveel zin het dan heeft gehad, is meer de vraag.

Leerlingen suggereren ook vaak een aanpassing of alternatief dat in hun ogen een verbetering zou zijn. Vaak komt dit neer op meer aandacht in de les voor deze onderwerpen en vaker herhalen van de toets verspreid over het hele schooljaar.

Leerling: Ik vind het lastig. Ik ben zelf blijven zitten en ik heb dit vorig jaar wel gewoon afgerond. En het blijkt nu weer dat ik het dan niet in één keer helemaal kan afronden. Maar ik denk dat als je hier de nadruk op wil leggen, je het niet met één toetsje moet doen en dat je het dan afrondt. Want dat heb ik dus bij mezelf gezien. Ik heb vorige keer dat toetsje wel gehaald. Ik heb het daarna het hele jaar niet meer herhaald. Nu aan het begin van het jaar haal ik het niet meer. Ik denk als je het echt zo belangrijk vindt dat hier goed op gelet wordt, want ik denk dat het bij veel leerlingen wel punten kan schelen op de toetsen als je deze vaardigheden allemaal goed kan. Maar ik denk dat het idee van de toetsing niet per se het beste is. Ik denk als je de focus wilt leggen dat je het misschien één keer per periode moet toetsen en dat er dan ook misschien een blokuur, wat we dan vandaag hebben, dat je dat dan besteed aan het uitleggen van de vaardigheden die in de klas niet goed gaan.

Wat leerlingen motiveert voor de interventie: De meeste leerlingen zijn voornamelijk gemotiveerd om de toets af te ronden omdat ze anders niet over mogen naar het volgende jaar en het hen tijd kost om de toets in te plannen en te maken. Bijna alle leerlingen zien in dat als ze de stof op de toets beheersen, dit hen ook punten kan schelen op andere toetsen, maar ze geven dit niet op als reden om te leren voor de diagnostische toets of mogelijke herkansingen daarvan. Hieronder zijn een paar reacties opgesomd van leerlingen die aangeven waarom ze graag de toets goed willen afronden.

Leerling 1: Omdat je anders buiten de lestijd het moest inhalen.

Leerling 2: Omdat ik anders het jaar niet haal.

Leerling 3: Het gaat mij echt wel vooral over het overgaan.

4.3.3. De ervaring van de docenten

Tot slot wordt gekeken naar de ervaring van de ontwerpers zelf. Wat volgens hen goed of minder goed werkt kan als basis dienen voor verdere analyse of suggesties voor het verbeteren van de interventie. Deze informatie is ook verworven tijdens interviews met de ontwerpers en de samenvatting hieronder is door de ontwerpers gelezen en goedgekeurd.

De ontwerpers geven aan dat ze grotendeels tevreden zijn met het ontwerp van de diagnostische toets. Ze zouden graag ook andere onderwerpen in de toets opnemen, zoals breuken en grafieken, maar dat is moeilijk omwille van de tijd waarin de toets afgenomen moet worden. De huidige selectie van vaardigheden is volgens hen het meest essentieel.

Daarnaast vinden de ontwerpers de toets ook gemakkelijk in de omgang. Deze is relatief snel na te kijken en door een deel van het afneemproces van de toets te automatiseren kost het hen ook minder tijd om de toets herhaaldelijk af te nemen bij leerlingen.

Ze zien ook veel voordelen tijdens hun gebruikelijke lessen. Zo vinden ze het fijn dat ze leerlingen makkelijk kunnen verwijzen naar materiaal om deze vaardigheden te verbeteren en dat leerlingen tijdens de les ook beter inzien dat dit een aspect is waarop geoefend moet worden. Ze geven ook aan dat de interventie veel ruimte biedt voor individuele opvolging van leerlingen en dat ze daarom een beter beeld hebben van het niveau van de leerlingen op het gebied van deze vaardigheden.

De ontwerpers zien nog ruimte voor verbetering in het oefenmateriaal en in de manier waarop dit aan de leerlingen wordt gepresenteerd. Zo zijn ze zich ervan bewust dat leerlingen niet altijd het oefenmateriaal of alleen de video's gebruiken, terwijl hun doel is om leerlingen aan te leren ook zelf te oefenen. De ontwerpers zijn niet zeker hoe, maar denken wel dat er verbeteringen mogelijk zijn aan de interventie die dit probleem kunnen verminderen.

5

Discussie en Conclusie

Dit onderzoek is opgezet om te achterhalen wat het doel van de ontwerpers was, hoe hun ontwerp in de praktijk wordt ingezet en wat het resultaat daarvan is. Om deze vragen te beantwoorden, is in Hoofdstuk 2 en 4 gekeken naar bestaande literatuur, zijn ontwikkelde materialen en toetsresultaten geanalyseerd en zijn verschillende interviews afgenomen. Hiermee is antwoord gegeven op de vraag: **Wat zijn de kenmerken en opbrengsten van een interventie gericht op remediëring van wiskundige vaardigheden bij natuurkunde in de bovenbouw?**

5.1. Het doel

Aan de hand van interviews met de ontwerpers is onderzocht wat hun redenen waren om deze methode te ontwikkelen. Daarnaast is gekeken naar referenties uit de literatuur die aansluiten bij deze doelen voor een kader om de interventie mee te analyseren. Deze informatie biedt dan antwoord op de volgende onderzoeksvraag: **Welke doelen worden door de betrokkenen bij de onderzochte interventie nagestreefd?**

Volgens de ontwerpers zagen zij twee problemen als aanleiding voor deze interventie.

1. Leerlingen hadden moeite met het toepassen van verschillende wiskundige basisvaardigheden die nodig zijn bij natuurkundevraagstukken.
2. Leerlingen deden niet genoeg moeite om tekorten die bleken uit toetsen bij te spijkeren.

Hun doel was dan ook tweevoudig. Allereerst wilden ze een interventie ontwikkelen die leerlingen zou helpen om deze wiskundige vaardigheden te verbeteren. Maar daarnaast vonden de docenten het ook belangrijk dat leerlingen inzagen dat ze zelf aan de slag moesten om deze vaardigheden te verbeteren, omdat het in hun eigen belang is om deze vaardigheden goed te beheersen.

Om een kader te geven aan de ontwerpkeuzes die de ontwerpers hebben gemaakt, is ook onderzoek gedaan naar richtlijnen uit de literatuur voor onder andere diagnostiek en remediëring. Deze voorschriften zijn gekozen omdat ze aansluiten op de wens van de ontwerpers om leerlingen te motiveren vanuit hun eigen verantwoordelijkheid en staan uitgebreid beschreven in hoofdstuk 2 en zijn kort samengevat in tabel 5.1

5.2. De uitvoering

De tweede onderzoeksvraag luidt als volgt: **Welke aanpak volgen betrokkenen in de onderzochte interventie om die doelen te bereiken?** Om hier een antwoord op te bieden, is eerst in kaart gebracht hoe de interventie wordt uitgevoerd en hoe de ontwerpers en leerlingen deze gebruiken en ervaren. Daarna wordt dit vergeleken met voorschriften uit het theoretische kader.

Tabel 5.1: Voorschriften voor effectieve diagnostiek en remediëring uit literatuurstudie.

Diagnostiek				
Diagnostische functie	Taakvariatie	Probleemvaststelling	Koppeling aan remediëring	Formatief
Remediëren				
Vooruitgang benoemen	Betekenis geven	Gezamenlijk leren	Vrij leren	

5.2.1. Beschrijving van de interventie

De interventie bestaat voornamelijk uit een diagnostische toets en bijbehorend remediërend materiaal. Leerlingen worden op basis van de resultaten van de toets verwezen naar het remediërend materiaal en herhalen dan de toets totdat ze deze voldoende afronden. De interventie wordt uitgebreid beschreven in paragraaf 3.2.

5.2.2. Gebruik door leerlingen en docenten

Docenten gaven tijdens de interviews aan dat ze tevreden zijn over het gebruik van de interventie, maar zien wel nog ruimte voor verbetering. De docenten denken daarbij vooral aan het oefenmateriaal en hoe dat aan de leerlingen wordt gepresenteerd. Zo zouden zij graag zien dat meer leerlingen het oefenmateriaal gaan gebruiken.

Leerlingen geven tijdens interviews aan dat ze blij zijn dat docenten daadwerkelijk controleren welke voorkennis zij beheersen. Hierbij geven ze ook aan dat onderwerpen die getoetst worden relevant zijn voor natuurkunde en soms ook andere vakken. Leerlingen zijn alleen niet altijd overtuigd van de effectiviteit van de interventie. Zo trekken meerdere leerlingen tijdens interviews in twijfel of ze voldoende afgeronde onderdelen nu echt beheersen.

Uit logboekdata van het online materiaal blijkt dat 48 van de 245 leerlingen minstens één keer een online oefening hebben geopend. De rest maakt daar dus geen gebruik van. Uit de interviews blijkt dat het grootste deel van de leerlingen wel op de hoogte is van deze opgaven, maar er dus voor kiest om deze niet te gebruiken. Zij geven aan liever de feedback van de docent en uitlegvideo's te gebruiken om zich voor te bereiden. Docenten geven juist aan dat ze willen dat leerlingen meer gebruikmaken van het oefenmateriaal. Meer dan de helft van alle onderzochte leerlingen heeft 3 of meer pogingen nodig om de toets voldoende af te ronden.

5.2.3. Vergelijking met de literatuur

Nu er een beeld is hoe de interventie gebruikt wordt, kan deze worden vergeleken met de voorschriften uit de literatuur. Eerst wordt gekeken naar de richtlijnen voor effectief diagnostisch toetsen.

Diagnostisch toetsen Uit de vergelijking bleek dat de diagnostische functie, taakvariatie en koppeling aan de remediëring van de diagnostische toets aansloten op de richtlijnen van de literatuur. Op het gebied van uitsluitend formatief toetsen en probleemvaststelling zijn wel enkele afwijkingen ontdekt.

De diagnostische toets dient zeker om vervolgonderwijs voor specifieke leerlingen te informeren en kan dus als formatief gezien worden. Het is echter ook onderdeel van de eindbeoordeling van de leerlingen. Het heeft dus ook een summatief aspect. Doordat de toets pas aan het einde van het schooljaar voldoende afgerond moet worden, is de prestatiedruk bij de eerste paar pogingen echter laag. Zo geven leerlingen aan dat ze er vaak van uitgaan dat ze de toets een paar keer moeten maken en dat ze dat niet erg vinden. Het is pas na een groter aantal pogingen dat prestatiedruk en mogelijk ook schaamte, druk uitoefenen op leerlingen die de toets nog moeten afronden. Leerlingen gaven niet aan dat ze dit zelf zo ervaren, maar zagen dat wel bij anderen. Docenten herkennen deze druk bij leerlingen aan het einde van het jaar ook. Technisch gezien wordt hier dus afgeweken van de richtlijn.

Deze schrijven namelijk voor om de formatieve en summatieve functie van toetsen te scheiden om effecten van stress op het resultaat te vermijden. Maar deze constructie lijkt de negatieve effecten daarvan dus te ontwijken.

De probleemvaststelling wordt minder goed beoordeeld tijdens interviews. Docenten en leerlingen geven allebei in interviews aan dat het afronden van een onderdeel niet betekent dat je dat onderdeel ook echt beheerst. Daarnaast blijkt uit observaties van de ontwerpers dat tijdnood tijdens de toets verhuult waar de leerling daadwerkelijk moeite mee heeft. Dit maakt het moeilijker voor de ontwerpers om aan de leerlingen te communiceren waar zij precies aan moeten werken en maakt het voor leerlingen minder duidelijk wat het effect van hun inspanning is.

Remediëren Dit punt sluit meteen aan op de eerste richtlijn voor succesvol remediëren. Op dit gebied lijkt de interventie verder af te wijken van de richtlijnen. De eerste richtlijn gaat over het benoemen van de voortgang van leerlingen. Hoewel de leerling duidelijk vordert in de interventie (de leerling moet steeds minder onderdelen herkansen), vragen zowel de ontwerpers als de leerlingen zich af of dit ook betekent dat de leerling daadwerkelijk beter is geworden in die vaardigheid. Vooruitgang is dus niet goed zichtbaar.

De toets lijkt ook makkelijker te worden. Bij de eerste poging moest de leerling nog alle onderdelen achter elkaar goed afronden binnen beperkte tijd. Ervan uitgaande dat een leerling minstens één onderdeel voldoende heeft afgerond, hoeft deze de volgende poging dus minder onderdelen te maken. De onderdelen die overblijven zijn niet moeilijker of langer geworden. Een leerling kan zich dan focussen op een kleinere hoeveelheid vaardigheden op de volgende toets. Om de leerling duidelijk te maken dat deze ergens beter in wordt moet het niveau van de toets minstens gelijk blijven voor een duidelijk referentiekader of toenemen zodat de leerling inziet dat deze moeilijkere problemen op kan lossen.

De tweede richtlijn gaat over betekenis geven. Leerlingen geven tijdens de interviews aan dat ze de inhoud van de toets grotendeels nuttig vinden voor natuurkunde. In deze richtlijn is echter ook opgenomen dat leerlingen moeten inzien dat het hier gaat over vaardigheden die ze grotendeels al geleerd hebben bij wiskunde. Zo laat Tursucu (Turşucu, 2022b) zien dat voorkennis van wiskunde activeren voor het remediëren effectiever is dan puur "drillen" wanneer het gaat over transfer van vaardigheden. Uit de analyse van het oefenmateriaal blijkt dat deze activering van de voorkennis op sommige plekken in het oefenmateriaal ontbreekt.

Richtlijn drie beschrijft het belang van de omgeving waarin de leerling leert. Uit de interviews blijkt dat leerlingen zich vrij voelen om vragen te stellen. De meerderheid van de leerlingen gaf aan dat ze altijd om uitleg konden vragen bij hun docent en velen van hen gaven ook aan dat de feedback van de docent hun meest gebruikte remediërmiddel was. Dit traject blijft echter wel een individueel proces. In de interventie wordt bijvoorbeeld niet structureel tijd genomen voor het samen remediëren. Er waren wel enkele leerlingen die aangaven dat ze ook om uitleg aan hun medeleerlingen vroegen.

Tot slot wordt ook nog voorgeschreven dat leerlingen een zekere autonomie in hun leerproces krijgen. De leerlingen zijn helemaal vrij om hun leerproces in te plannen en in te vullen zoals ze willen. De literatuur schrijft echter niet voor dat meer keuzevrijheid altijd beter is. Zo geeft SDT (Deci en Ryan, 2018) aan dat het belangrijk is om juist een duidelijk kader te bieden waarin leerlingen kunnen kiezen uit een aantal opties en dat voor hen duidelijk is wat de gevolgen van die keuzes zijn. Docenten geven aan dat ze leerlingen goed moeten opvolgen voor het inplannen van herkansingen. Ook leerlingen geven aan dat ze dit lastig en vervelend vinden. In combinatie met de inzichten uit paragraaf 5.2.2 lijkt het erop dat leerlingen moeite ervaren met het organiseren van hun eigen remediëringstraject.

5.3. Het resultaat

De laatste deelvraag luidt als volgt: **Wat zijn de resultaten van de interventie?** Om deze vraag te beantwoorden, is gekeken naar alle verzamelde data en naar wat deze data laten zien over de effecten op wiskundige basisvaardigheden en op het bereiken van metacognitieve en affectieve doelen.

5.3.1. Wiskundige basisvaardigheden

Van de 143 leerlingen in 4 tot en met 6 VWO waarvan de gegevens zijn geanalyseerd, zijn er 3 geslaagd om de diagnostische toets in één poging voldoende af te ronden. Deze 3 leerlingen zitten allemaal in 4 VWO. Daarnaast heeft meer dan de helft van de onderzochte leerlingen 3 of meer pogingen nodig om de toets voldoende af te ronden. Er kan dus worden gesteld dat leerlingen aan het begin van het schooljaar de onderzochte vaardigheden nog niet beheersen op het verwachte niveau.

De aard van dit onderzoek maakt het niet mogelijk om te onderzoeken hoeveel leerlingen beter zijn geworden in deze vaardigheden of hoeveel van deze verbetering komt door de interventie. Uit de verzamelde cijfers blijkt ook geen noemenswaardige correlatie tussen de prestaties van leerlingen op de diagnostische toets en hun natuurkundecijfer. In 4 VWO lijkt de prestatie op de diagnostische toets het sterkste te voorspellen hoe een leerling zal presteren voor natuurkunde, maar de mate van correlatie is voor alle 3 leerjaren zwak. Er kan dus ook geen positief effect op de prestaties van leerlingen worden vastgesteld. Met uitzondering van vaardigheid 1 blijkt wel dat in hogere jaren minder leerlingen onvoldoendes halen voor vaardigheden die terugkeren in de 3 jaarlagen. Leerlingen lijken dus beter te worden in het toepassen van deze vaardigheden.

In 5 en 6 VWO halen alle onderzochte leerlingen een onvoldoende op de diagnostische toets. Veel van hen halen deze onvoldoende ook mede door vaardigheden die het jaar daarvoor ook zijn getoetst. Leerlingen hebben in het jaar daarvoor deze vaardigheden dus niet echt opgebouwd of hebben problemen met de retentie daarvan. Verder blijkt dat leerlingen nog steeds moeite hebben met de overdracht van vaardigheden vanuit hun voorafgaande wiskundeonderwijs. Bij de verdere ontwikkeling van deze interventie is dus nog ruimte om leerlingen beter te helpen bij het duurzaam ontwikkelen van deze vaardigheden.

5.3.2. Metacognitieve doelen

Tijdens interviews gaven leerlingen bijna unaniem aan dat de getoetste vaardigheden relevant zijn voor natuurkunde en dat deze hen kunnen helpen om beter te scoren op een toets. De leerlingen beseffen dus dat deze vaardigheden hen helpen bij natuurkunde. Sommige leerlingen benoemen tijdens de interviews dat ze bepaalde vaardigheden nog steeds niet beheersen. Zeker een deel van de leerlingen beseft dus ook dat ze belangrijke vaardigheden nog onvoldoende beheersen. Deze inzichten zorgen er bij de meeste leerlingen niet voor dat ze deze actief proberen te verbeteren. Dit blijkt ook uit het beperkte gebruik van het oefenmateriaal, zoals beschreven in paragraaf 5.2.2. De interventie slaagt er dus grotendeels niet in om leerlingen te motiveren om de getoetste vaardigheden te gaan oefenen.

Leerlingen geven dan ook aan dat zij zich voornamelijk zouden voorbereiden op een herkansing omwille van externe *drijfveren* (Chou, 2015). Zo noemen ze verlies van vrije tijd en overgaan als de belangrijkste redenen om zich voor te bereiden op de toets. Leerlingen gebruiken het materiaal dus om de toets te halen en niet om beter te worden in de vaardigheden. En aangezien het naar eigen zeggen van de leerlingen mogelijk is om de toets uiteindelijk af te ronden zonder daadwerkelijk alle vaardigheden goed te beheersen, leveren ze mogelijk ook niet de inspanning om deze allemaal te beheersen.

5.3.3. Affectieve doelen

De leerlingen geven aan geen stress te ervaren bij het toepassen van wiskunde bij natuurkunde. Ongeveer de helft geeft zelfs aan dat ze een toename in zelfvertrouwen ervaren wanneer ze bepaalde wiskundige vaardigheden herkennen. Het is nog wel te voorbarig om te stellen dat er dus geen schaamte of stress wordt ervaren tijdens de interventie. Zo bleek dat de meeste leerlingen die meer dan één

herkansing nodig hadden, hun benodigde aantal pogingen te laag rapporteerden tijdens de interviews. Er zijn meerdere mogelijke verklaringen hiervoor. Zo zouden ze het verkeerd kunnen herinneren, maar het is ook mogelijk dat ze een bepaalde schaamte ervaren over de moeite die ze ondervinden om de toets voldoende af te ronden.

5.4. Beperkingen en verder onderzoek

Ten slotte is nog eens kritisch gekeken naar de stellingen die zijn gemaakt in dit hoofdstuk en in hoeverre deze toepasbaar zijn op diagnostiek en remediëring in het algemeen. Daarna wordt afgesloten met welk vervolgonderzoek hier mogelijk verder antwoorden op kan geven.

5.4.1. Beperkingen van het onderzoek

Dit onderzoek is een casestudie van een interventie die is ontworpen voor en enkel wordt toegepast op één school. Het onderzoek is opgezet om in kaart te brengen hoe deze interventie is geïmplementeerd en om te zien of er tekenen zijn dat de interventie werkt. Deze informatie is geschikt om andere docenten te informeren over hoe zij zelf een gelijkaardige interventie kunnen ontwikkelen in hun eigen onderwijspraktijk, maar kan geen algemene claims maken over het effect daarvan. Daarvoor is een heel ander soort onderzoek nodig met een grotere steekproefomvang en controlegroepen.

Ook is in dit onderzoek enkel gekeken naar de data van de afgelopen twee schooljaren, aangezien de interventie nog maar zo lang in deze vorm wordt toegepast. Daarnaast wordt gekeken naar een relatief kleine groep leerlingen per jaarlaag. Vergelijkingen tussen jaarlagen kunnen dus mogelijk vertekend worden door bijzonder sterke of relatief zwakke jaarlagen. De kwantitatieve data hebben dus geen sterk voorspellende waarde, maar beschrijven voornamelijk de huidige situatie.

De uitvoering van de interventie is vastgesteld op basis van zelfrapportage van de ontwerpers en leerlingen. Dit zou een vertekend beeld kunnen leveren van de werkelijkheid. Daarom zijn voor de conclusies van dit onderzoek altijd meerdere bronnen gebruikt. Zo is vaak gekeken naar de overeenkomst tussen de rapportage van de ontwerpers, meerdere leerlingen en soms ook andere docenten op de school om een zo nauwkeurig mogelijk beeld te scheppen.

Tot slot zou de vrijwillige deelname van leerlingen aan dit onderzoek de data kunnen vertekenen. Het is denkbaar dat leerlingen die zich erg schamen voor hun prestatie of om andere redenen stress ervaren bij deze interventie minder geneigd zijn om deel te nemen aan dit onderzoek. Dit kan mogelijke conclusies over metacognitieve en affectieve effecten vertekenen en mogelijk ook de kwantitatieve data beïnvloeden. Zo zijn de leerlingen met een hoog aantal nodige herkansingen mogelijk minder vertegenwoordigd. Toch is dit de enige manier waarop het onderzoek ethisch uitgevoerd kan worden.

5.4.2. Vervolgonderzoek

Tijdens dit onderzoek is gebruikgemaakt van richtlijnen voor diagnostiek en remediëring die gebaseerd zijn op modellen uit de literatuur. Er bestaan echter nog geen empirisch onderbouwde richtlijnen die beschrijven hoe docenten hun leerlingen het best kunnen ondersteunen om wiskundige basisvaardigheden beter toe te passen bij andere vakken zoals natuurkunde.

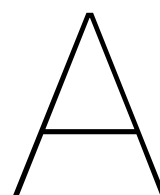
Hiervoor zou een veel grootschaliger onderzoek nodig zijn waarbij verschillende methodes op verschillende scholen worden getest in vergelijking met een controlegroep. Het effect en de eigenschappen van deze methodes kunnen dan vergeleken worden met elkaar om te komen tot een lijst van richtlijnen die op deze resultaten gebaseerd zijn. Hierbij zou het goed zijn om ook te kijken of deze bevindingen toepasbaar zijn bij andere bètavakken zoals scheikunde. In dit onderzoek bleek ook dat remediëring voor wiskunde B-leerlingen makkelijker verliep dan voor wiskunde A-leerlingen. Het zou dus ook interessant zijn om in dit voorgestelde onderzoek na te gaan of dit effect daar ook meetbaar is en welke technieken dan specifiek effectief blijken voor de wiskunde A-leerlingen.

Suggesties voor de ontwerpers Allereerst moet vermeld worden dat deze interventie volledig vrijblijvend en zonder substantiële vergoeding van buitenaf is ontwikkeld door de ontwerpers. Zowel leer-

lingen als andere docenten op de school zijn voornamelijk positief over de introductie van de interventie en de data uit dit onderzoek lijken aan te tonen dat leerlingen ook beter worden in de vaardigheden die behandeld worden tijdens de interventie. Het is dus niet noodzakelijk om de interventie aan te passen en dit onderzoek kan ook niet empirisch bewijzen dat bepaalde aanpassingen significante verbeteringen zullen opleveren.

Toch zou het zeker interessant zijn voor de onderzoekers, ontwerpers en andere geïnteresseerde docenten om bepaalde aanpassingen te testen en te vergelijken met de verzamelde data uit dit onderzoek om beter inzicht te krijgen in hoe de problemen aan de grond van dit onderzoek (transfer bij bèta-vakken, effectief remediëren en leerlingen motiveren tot zelfverbetering) effectief aangepakt kunnen worden. Deze suggesties worden gemaakt op basis van richtlijnen uit de literatuur en verzamelde inzichten uit dit onderzoek, maar niet op basis van empirisch geteste aanpassingen. De suggesties zijn gerangschikt op basis van hoe makkelijk deze te implementeren zijn en hoe goed ze aansluiten op de initiële wensen van de ontwerpers, met de meest aansluitende opties eerst.

1. Doordat leerlingen steeds minder vaardigheden tegelijk moeten maken, wordt de diagnostische toets steeds makkelijker. De ontwerpers zouden kunnen experimenteren met het niet geven van vrijstellingen voor onderdelen die eerder voldoende afgerond zijn. Mogelijk leren leerlingen de vaardigheden daardoor ook sneller toepassen en is het voor hen noodzakelijker om ook echt gebruik te maken van het oefenmateriaal.
2. Leerlingen lijken voornamelijk gemotiveerd door externe factoren tijdens de interventie. De ontwerpers zouden kunnen experimenteren met methodes om voor leerlingen duidelijker te maken wat het effect is van het onvoldoende beheersen van bepaalde vaardigheden. Zo zouden ze bijvoorbeeld op natuurkundetoetsen kunnen aangeven hoeveel punten een leerling heeft verloren door een bepaalde vaardigheid of samen met leerlingen nagaan hoeveel punten op het centraal examen afhangen van bepaalde wiskundige basisvaardigheden.
3. Uit de analyse van het oefenmateriaal bleek dat leerlingen relatief weinig ondersteuning kregen bij het organiseren van hun remediëringstraject. De ontwerpers zouden kunnen experimenteren met het aanbieden van verschillende uitgestippelde opties met vaste toetsdata en bijbehorende opdrachten om leerlingen daarbij te helpen. Als de ontwerpers het belangrijk vinden dat leerlingen dit juist zelf leren opstellen, kunnen ze ook proberen om met leerlingen deze trajecten te gaan opstellen.
4. Uit de vergelijking met de voorschriften bleek er nog ruimte voor meer collectief oefenen om leerlingen meer structuur bij het oefenen aan te bieden en om aan hen te laten zien dat ze niet alleen met deze vaardigheden worstelen. De ontwerpers zouden kunnen experimenteren met verplichte of vrijblijvende oefenmomenten waar leerlingen samen kunnen oefenen met anderen die ook onvoldoende scoren op dezelfde vaardigheden. Zeker bij verplichte oefenmomenten zou dit een afwijking zijn van de originele wensen van de ontwerpers, maar het zou wel garanderen dat het ontworpen materiaal meer gebruikt wordt om zo te kunnen testen of het het gewenste effect heeft op de vaardigheden en wat voor invloed het heeft op de retentie van de leerlingen.
5. De lage slagingspercentages in 5 en 6 VWO wijzen mogelijk op problemen met retentie in de bovenbouw. De ontwerpers zouden kunnen experimenteren met terugkerende toetsen met toenemende moeilijkheid doorheen het schooljaar, zodat leerlingen regelmatig werken aan deze vaardigheden. Mogelijk kunnen leerlingen zo ook beter hun vooruitgang zien, wat ook kan helpen bij intrinsieke motivatie. Ook dit experiment zou een relatief grote aanpassing van de interventie vereisen.



Wiskunde vaardigheden

A.1. Syllabus Natuurkunde 2026 (College voor Toetsen en Examens, 2024a)

Eindterm De kandidaat kan een aantal voor de natuurkunde relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij voor de natuurkunde specifieke probleemsituaties. Specificatie

De kandidaat kan:

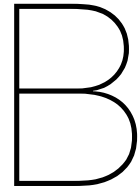
1. basisrekenvaardigheden uitvoeren,
 - (a) rekenen met verhoudingen, procenten, breuken, machten en wortels;
 - (b) de omtrek en de oppervlakte berekenen van een cirkel, een driehoek en een rechthoek;
 - (c) de oppervlakte berekenen van een bol;
 - (d) de oppervlakte berekenen van een cilinder
 - (e) het volume berekenen van een balk, een cilinder en een bol;
 - (f) absolute waarde toepassen;
2. wiskundige technieken toepassen,
 - (a) herleiden en substitueren van formules;
 - (b) redeneren met evenredigheden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch);
 - (c) oplossen van lineaire en tweedegraadsvergelijkingen;
 - (d) oplossen van twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden;
 - (e) toepassen van $\log^x$, $\ln^x$, e^{-ax} , e^{ax} , a^x , x^a , $\sin x$ en $\cos x$;
 - (f) in een rechthoekige driehoek met twee zijdes of met één zijde en één hoek gegeven, de overige zijdes en hoeken uitrekenen, gebruikmakend van sinus, cosinus, tangens en de stelling van Pythagoras;
 - (g) Gelijkvormigheid bij driehoeken toepassen;
 - (h) grafisch optellen en ontbinden van vectoren;
 - (i) grafieken tekenen bij een meetserie, waaronder een trendlijn;
 - (j) relaties van de vorm $y = ax^2$, $y = ax^{-1}$, $y = ax^{-2}$, $y = ax^{1/2}$ door coördinatentransformatie weergeven als een rechte lijn door de oorsprong;
 - (k) functievoorschriften opstellen van lineaire verbanden, evenredige verbanden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch) en wortelverbanden, onder andere voor trendlijnen;
 - (l) grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;
 - (m) aflezen van diagrammen, waaronder logaritmische diagrammen, dubbel-logaritmische diagrammen en diagrammen met asonderbrekingen;
 - (n) interpoleren en extrapoleren in diagrammen en tabellen;
 - (o) differentiëren van lineaire en kwadratische functies, machtsfuncties, sinusfuncties en cosinusfuncties;
 - (p) tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen;
 - (q) de oppervlakte onder een grafiek bepalen;

Figuur A.1: Eindterm rekenkundige en wiskundige vaardigheden

A.2. Overlap met wiskunde A en B syllabi

Thema	Vaardigheid	Wiskunde A	Wiskunde B
Algebra en rekenen	Rekenen met verhoudingen, breuken, procenten, machten en wortels	Ja	Ja
	Absolute waarde toepassen	Beperkt	Ja
	Formules herleiden en substitueren	Ja	Ja
	Oplossen van lineaire vergelijkingen	Ja	Ja
	Oplossen van stelsels vergelijkingen	Beperkt	Ja
Verbanden en functies	Recht en omgekeerd evenredige verbanden	Ja	Ja
	Kwadratische en omgekeerd kwadratische verbanden	Beperkt	Ja
	Exponentiële en logaritmische functies	Ja	Ja
	Grafieken tekenen en analyseren	Ja	Ja
	Interpoleren en extrapoleren	Ja	Ja
	Lineariseren van verbanden	Beperkt	Ja
	Diagrammen lezen (log- en dubbel-log)	Beperkt	Ja
Analyse	Differentieren van functies	Beperkt	Ja
	Raaklijn tekenen en steilheid bepalen	Beperkt	Ja
	Oppervlakte onder een grafiek bepalen	Nee	Beperkt
Goniometrie	Sinus en cosinus als functie	Beperkt	Ja
	Driehoeksmeting (sin, cos, tan, Pythagoras)	Nee	Ja
	Gelijkvormigheid bij driehoeken	Nee	Ja
Meetkunde	Omtrek en oppervlakte van vlakke figuren	Nee	Beperkt
	Oppervlakte van bol en cilinder	Nee	Nee
	Volume van balk, cilinder en bol	Nee	Nee
Vectoren	Grafisch optellen en ontbinden van vectoren	Nee	Ja

Tabel A.1: Overzicht van voor natuurkunde vereiste wiskundige vaardigheden, thematisch geordend, en hun aanwezigheid in Wiskunde A en B (vwo 2026)



Interview protocollen

B.1. Docent interview protocollen

OVERZICHT INTERVIEW PROTOCOLLEN

1. Interview Ontwerpers (natuurkundedocenten, start)
2. Interview Wiskundedocent
3. Interview Ontwerpers (afroendend interview)

Interview Ontwerpers (natuurkundedocenten, start)

Benodigheden:

- Consentformulier
- Opnameapparatuur (laptop, lader, internetverbinding)
- Pen en papier
- Uitgeprinte voorbeelden van de diagnostische toets
- Lijst van getoetste vaardigheden

Groet: Allereerst wil ik je bedanken voor je hulp bij dit onderzoek. Voor ik aan het interview begin wil ik je vragen om het volgende document te ondertekenen als je wil deelnemen aan dit interview (overhandig pen en geïnformeerd consent formulier)

Inleiding en startopname: Jij en je collega hebben een onderwijsinterventie rond wiskundevaardigheden ontwikkeld. Ik wil graag begrijpen waarom. Ook ben ik benieuwd naar je doelen voor deze interventie. Met jouw goedkeuring zal ik nu de opname starten. (met goedkeuring de opname starten)

1. Kan je in je eigen woorden nog eens uitleggen wat deze interventie inhoudt?
2. Waarom hebben jullie deze interventie ontworpen? (Doelen en keuzes in kaart brengen - RQ 1.1 en 1.2)
 - (a) Tegen welk probleem liepen jullie aan?
 - (b) Wat hopen jullie met deze methode te bereiken?
 - (c) Waarom hebben jullie voor deze methode en niet een andere gekozen?
 - (d) Welke ervaringen of literatuur heeft jullie geïnformeerd bij deze keuzes?
3. Wat is er volgens jullie nodig om dit probleem op te lossen? (Aannames en succescriteria in kaart brengen - RQ 1.2 en 3.3)
 - (a) Welke problemen liggen volgens jullie aan de grond van wat jullie proberen te bereiken?
 - (b) Wat moet er volgens jullie veranderen om deze problemen te verhelpen?
 - (c) Hoe zien jullie dit terug in de methode die jullie hebben ontworpen?
 - (d) Wanneer zou jij zeggen dat deze interventie en succes is? Welke indicatoren zijn belangrijk om dit succes waar te nemen?
4. Uit voorgaande communicatie heb ik begrepen dat de interventie bestaat uit een test, uitlegvideo's en digitale oefeningen voor de leerlingen. Hoe worden deze elementen uitgelegd en geïntroduceerd aan de leerlingen? (gebruik en ervaring van de docent - RQ 2.1 en 2.3a)
 - (a) Zijn dit de enige momenten waarop er tijdens de les aandacht wordt besteed aan deze elementen van interventie?
 - (b) Verwijs je tijdens de les nog naar het oefenmateriaal of de test?
 - (c) Vind je het fijn om dit materiaal te gebruiken of achter de hand te hebben tijdens de les?
 - (d) Hoeveel tijd besteed je aan deze interventie?
5. Jullie hebben gekozen voor deze lijst met vaardigheden (een lijst is aanwezig bij het interview). Waarom specifiek deze? (keuzes en aannames van de docenten + kenmerken van de interventie - RQ 1.1, 1.2 en 2.1)
 - (a) Waarom zijn dit volgens jullie de vaardigheden waar aandacht aan moet worden besteed?
 - (b) Waarom zijn vaardigheden zoals bijvoorbeeld het interpreteren van grafieken en tabellen of het grafisch optellen en ontbinden van vectoren niet opgenomen in dit materiaal?

6. Wat hopen jullie te leren uit dit onderzoek? (Wat zouden ze willen bespreken voor vervolginterview)
7. Willen jullie nog wat zeggen naar aanleiding van deze vragen?

Afronden en opname stoppen: Dan wil ik je nogmaals bedanken voor je tijd en moeite voor dit onderzoek en dan zal ik nu de opname stoppen.

Interview Wiskundedocent**Benodigdheden:**

- Consent formulier
- Opname apparatuur (Laptop, lader, internet verbinding)
- Pen en papier
- Uitgeprinte voorbeelden van de diagnostische toets
- Lijst van getoetste vaardigheden

Groet: Allereerst wil ik je bedanken voor je hulp bij dit onderzoek. Voor ik aan het interview begin wil ik je vragen om het volgende document te ondertekenen als je wil deelnemen aan dit interview (overhandig pen en geïnformeerd consent formulier)

Inleiding en startopname: Uw collega's natuurkunde hebben een onderwijsinterventie ontwikkeld waarbij wiskundige vaardigheden een belangrijke rol spelen. Ik ben benieuwd naar uw visie op deze interventie. Met uw goedkeuring zal ik nu de opname starten. (met goedkeuring de opname starten)

1. Natuurkundedocenten op deze school geven aan dat leerlingen moeite hebben met het toepassen van wiskundige vaardigheden in een natuurkundige context. Merkt u dit ook tijdens uw lessen? (Grootte van het probleem - vakoverstijgend? - Aannames nat docenten controleren - RQ 1.2, 3.1 en 3.3)
 - (a) Merkt u verschillen tussen vwo en havo?
 - (b) Merkt u verschillen tussen wiskunde A en B?

De docenten bij natuurkunde beginnen bij hun interventie met een diagnostische toets. Hierbij wordt een aantal vaardigheden getoetst. (Overhandig de toets en lijst met vaardigheden voor inspectie aan de wiskundedocent.)
2. Heeft u dit materiaal al eens eerder gezien?
 - (a) Bent u gecontacteerd voor het ontwerp van deze toets?
 - (b) Was u op de hoogte van deze toets of de bijbehorende interventie?
3. Welke van deze vaardigheden worden behandeld in de onderbouw bij wiskunde?(Aannames van de nat docent controleren - RQ 1.2 en 3.3)
 - (a) Komen ze wel voor in de bovenbouw? of worden ze helemaal niet behandeld?
 - (b) Is dat op het zelfde niveau als deze test?
 - (c) Sluiten de vragen aan op het type vragen bij wiskunde?
4. Leerlingen in de bovenbouw hebben moeite met deze test. Wat is hier volgens u de oorzaak voor?(Verklaren van gemeten effecten - RQ 3.4)
 - (a) Hebben leerlingen ook moeite met deze vaardigheden als ze in de onderbouw behandeld worden bij wiskunde?
 - (b) Hebben leerlingen ook moeite met deze vaardigheden als ze in de bovenbouw behandeld worden bij wiskunde?
5. Wat zou er volgens u moeten gebeuren om dit te verhelpen? (suggesties om aanpak te verbeteren - RQ 3.5)
 - (a) Wat kunnen leerlingen hieraan doen?
 - (b) Wat kunnen natuurkundedocenten hieraan doen?

(c) Zouden wiskundedocenten hier iets aan moeten doen en zo ja, wat?

6. Als u wat aan dit probleem zou willen doen, hoe zou u dat dan aanpakken?

7. Wilt u nog wat zeggen naar aanleiding van deze vragen?

Afronden en opname stoppen: Dan wil ik u nogmaals bedanken voor uw tijd en moeite voor dit onderzoek en dan zal ik nu de opname stoppen.

Interview Ontwerpers (af rondend interview)

Benodigdheden:

- Consent formulier
- Opnameapparatuur (laptop, lader, internetverbinding)
- Pen en papier
- Onderzoeksverslag
- Data over slagingspercentages per poging en wiskunde A of B
- Data over herhaalde onvoldoendes op dezelfde onderwerpen
- Anonieme quotes van leerlingen over hun gebruik van het remediërend materiaal
- Data over welke onderwerpen het meeste onvoldoendes opleveren
- Anonieme quotes over welke onderwerpen moeilijk worden gevonden

Groet: Allereerst wil ik jullie bedanken voor jullie hulp bij dit onderzoek. Voor ik aan het interview begin wil ik jullie herinneren aan het document dat jullie hebben ondertekend om toestemming te geven voor dit interview. Hebben jullie nog vragen over dat document of over dit interview? (vragen afwachten en beantwoorden)

Inleiding en startopname: Jullie hebben een onderwijsinterventie rond wiskundevaardigheden ontwikkeld. Ik heb hier onderzoek naar gedaan en zou mijn bevindingen graag met jullie bespreken. Met jullie goedkeuring zal ik nu de opname starten. (met goedkeuring de opname starten)

Positieve start: Uit mijn interviews met leerlingen en wiskundedocenten kwam sterk naar voren dat zowel de leerlingen als jullie collega's wiskunde het een goed idee vonden dat jullie leerlingen verplichten om bepaalde basisvaardigheden vroeg in het jaar aan te leren of te verbeteren. Leerlingen waren blij dat docenten niet gewoon veronderstelden dat bepaalde vaardigheden beheerst waren, maar dat ze hier ook daadwerkelijk een traject voor hadden ontwikkeld om dat te testen. Ook de wiskundedocenten waren erg positief over het initiatief en hebben mij meerdere keren verzocht om jullie aan te moedigen om dit initiatief voort te zetten. Met het oog op mogelijke verbeteringen van jullie interventie zou ik graag jullie kijk op bepaalde resultaten in kaart brengen.

1. (RQ 3.3 en 3.4) Uit de resultaten van de diagnostische toets blijkt dat leerlingen in later jaren beter presteren op de zelfde vaardigheden. Zien jullie deze trend zelf ook terug op toetsen of in de les? (data laten zien over onderwerpen en hoe leerlingen daar op scoren (4.2))
 - (a) Denken jullie dat deze verbetering in vaardigheden over de jaren heen is toegenomen sinds jullie de interventie hebben toegepast in jullie klassen?
2. (RQ 3.3 en 3.4) De resultaten geven ook aan dat leerlingen zelden bij hun eerste poging een voldoende halen op alle vaardigheden. Hadden jullie verwacht dat meer leerlingen de toets in één keer voldoende zouden afleggen? (Data over het aantal voldoende bij eerste poging laten zien met onderscheid tussen wiskunde A en B. (4.1))
 - (a) Hoe komt het volgens jullie dat zo weinig leerlingen meteen een voldoende halen?
 - (b) Vinden jullie dit een probleem?
 - (c) Zo ja, wat zou je dan willen of kunnen doen om dit op te lossen?
 - (d) Is het verschil tussen wiskunde A en B verrassend voor jullie?

3. (RQ 3.3 en 3.4) Verdere analyse van de toetsdata laat zien dat veel van de onvoldoendes in 5 en 6 vwo veroorzaakt worden door leerlingen die deze vaardigheden ook al in voorgaande jaren fout maakten. Kijk bijvoorbeeld naar vaardigheid 3 (significantie) en 7 (eenheden afleiden). Was jullie dit ook al opgevallen? (Data over herhaalde onvoldoendes op zelfde onderwerpen laten zien.(4.3))
 - (a) Hadden jullie dit verwacht?
 - (b) Hoe komt dit volgens jullie?
 - (c) Vinden jullie dit een probleem?
 - (d) Zo ja, wat zouden jullie willen of kunnen doen om dit op te lossen?
4. (RQ 3.3 en 3.4) Uit de dataanalyse blijkt dat ongeveer een derde van de leerlingen minstens één oefening online maakt. In interviews geven de meeste leerlingen aan weinig of geen online oefenmateriaal te gebruiken. Is dat beeld bij jullie ook zo of had je de indruk dat meer leerlingen er gebruik van zouden maken? (Anonieme quotes van leerlingen over hun gebruik van het remediërend materiaal en data over gebruik van online opdrachten laten zien.)
 - (a) Hoe komt dit volgens jullie?
 - (b) Is dit een probleem volgens jullie?
 - (c) Zo ja, wat zouden jullie willen of kunnen doen om dit op te lossen?
5. (RQ 3.3 en 3.4) In de interviews geven de meeste leerlingen aan dat ze formules omschrijven als een van de moeilijkste vaardigheden ervaren, maar in de toetsdata blijkt dat deze vaardigheid relatief weinig bijdraagt aan het aantal onvoldoendes. Wat is volgens jullie de reden voor deze "mismatch"? (verwijzen naar data over welke onderwerpen het meeste onvoldoendes opleveren 4.2 en quotes over welke onderwerpen moeilijk worden gevonden.)
 - (a) Is deze vaardigheid dus eigenlijk geen probleem voor de meeste leerlingen of mist de toets bepaalde moeilijkheden die leerlingen met deze vaardigheid ervaren?
 - (b) Als dat laatste klopt, welke moeilijkheidsgraad heeft de toets dan volgens jullie?
6. (RQ 3.3 en 3.4) Uit de analyse van natuurkunde en diagnostische toetsresultaten blijkt dat er weinig correlatie is tussen de resultaten op de diagnostische toets en de natuurkundecijfers van de leerlingen. In latere jaren neemt de sterkte van deze correlatie verder af (4.3.1). De interventie was ingezet omdat het gebrek aan wiskundige vaardigheden van invloed zou zijn op natuurkundecijfers. Hoe verklaren jullie deze zwakke correlatie?
 - (a) Is dit een probleem volgens jullie?
 - (b) Zo ja, wat zouden jullie willen of kunnen doen om dit op te lossen?
7. (RQ 3.3 en 3.4) Bijna alle leerlingen gaven aan gebruik te maken van de persoonlijke feedback die ze krijgen van hun docent na het maken van de diagnostische toets. Bijna alle leerlingen zijn tevreden over de kwaliteit van deze feedback. Velen geven aan dat deze feedback voldoende is om de volgende keer een voldoende te halen. Is dit wat jullie hopen te bereiken met jullie feedback?
 - (a) Hoe zouden jullie willen dat leerlingen reageren op jullie feedback?
 - (b) Zouden jullie iets willen aanpassen aan jullie interventie om die gewenste reactie te stimuleren?
8. Zijn er nog ander gegevens of reacties van leerlingen waar jullie benieuwd naar zijn?
9. (RQ 1.1, 2.3a en 3.5) We hebben nu verschillende resultaten en mogelijke aanpassingen van jullie interventie besproken. Zijn jullie verder tevreden over jullie aanpak of zijn er andere zaken waar je nog aan wilt werken, die we niet besproken hebben?
10. Willen jullie nog wat zeggen naar aanleiding van deze vragen?

Afronden en opname stoppen: Dan wil ik je nogmaals bedanken voor je tijd en moeite voor dit onderzoek en dan zal ik nu de opname stoppen.

B.2. Leerling interviews

Interview Protocol Leerlingen

Benodigdheden:

- Opnameapparatuur (laptop, lader, microfoon, internetverbinding)
- Pen en papier
- Uitgeprinte voorbeelden van de diagnostische toets
- Uitgeprinte voorbeelden van het oefenmateriaal en fragmenten van de uitlegvideo's

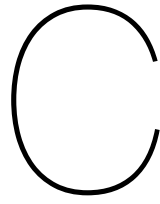
Groet: Allereerst wil ik je bedanken voor je hulp bij dit onderzoek. Voor ik aan het interview begin, wil ik jullie er nog eens aan herinneren dat jullie niet verplicht zijn om mee te doen aan dit interview. Jullie mogen elk moment stoppen met het interview. Ik zal zorgvuldig omgaan met jullie persoonlijke informatie. Hebben jullie hier nog vragen over?

Inleiding en start =opname: Ik doe onderzoek naar een lesmethode die jullie docenten natuurkunde hebben ontwikkeld. In dit interview wil ik erachter komen wat jullie daarvan vinden en hoe jullie die gebruiken. Met jullie goedkeuring zal ik nu de opname starten. (met goedkeuring de opname starten)

1. Het is jullie waarschijnlijk wel opgevallen dat je bij natuurkunde vaak wiskunde gebruikt. Wat vind je daarvan? (wiskundestress - ervaren leerlingen dat: affectieve doelen voor leerlingen - RQ 2.3b en 3.2)
 - (a) Vind je dat vervelend? Of vind je dat juist fijn?
 - (b) Is dat moeilijk voor jou?
 - (c) Geeft het je zelfvertrouwen?
 - (d) Levert dit je stress op?
 - (e) Heb je hier last van?
2. (Deel een kopie van de diagnostische toets uit) Herinneren je je nog dat je deze diagnostische test gemaakt hebt aan het begin van dit schooljaar?
3. Als je kijkt naar de opdrachten op deze test, moet je dit soort dingen kunnen bij natuurkunde? (is deze toets volgens hen relevant voor natuurkunde - RQ 2.3b)
 - (a) Heb je het gevoel dat dit oefenen je helpt voor natuurkunde?
 - (b) Krijg je wel eens les of uitleg van de docent over hoe je dit moet doen?
4. Hebben jullie dit al eerder bij wiskunde geleerd? (nagaan van de aannames van docenten - RQ 1.1, 1.2, 3.3)
5. Welke van deze opdrachten vind je moeilijk? (verandering in wiskunde stress - affectieve doelen - RQ 3.2)
 - (a) Vind je die nu minder moeilijk dan aan het begin van dit schooljaar?
 - (b) Werd wiskunde toepassen gemakkelijker doorheen het jaar?
 - i. Waardoor komt dat volgens jou?
 - ii. Komt dat door de wiskunde les?
 - iii. komt dat door de natuurkunde les?
 - iv. Of komt dat door nog iets anders volgens jou?
6. (Enkel voor leerlingen uit categorie 1) Herinner je je nog hoe je je hebt voorbereid op deze toets aan het begin van het schooljaar? (Hoe hebben ze het materiaal gebruikt en hoe vonden ze dat - RQ 2.3b)

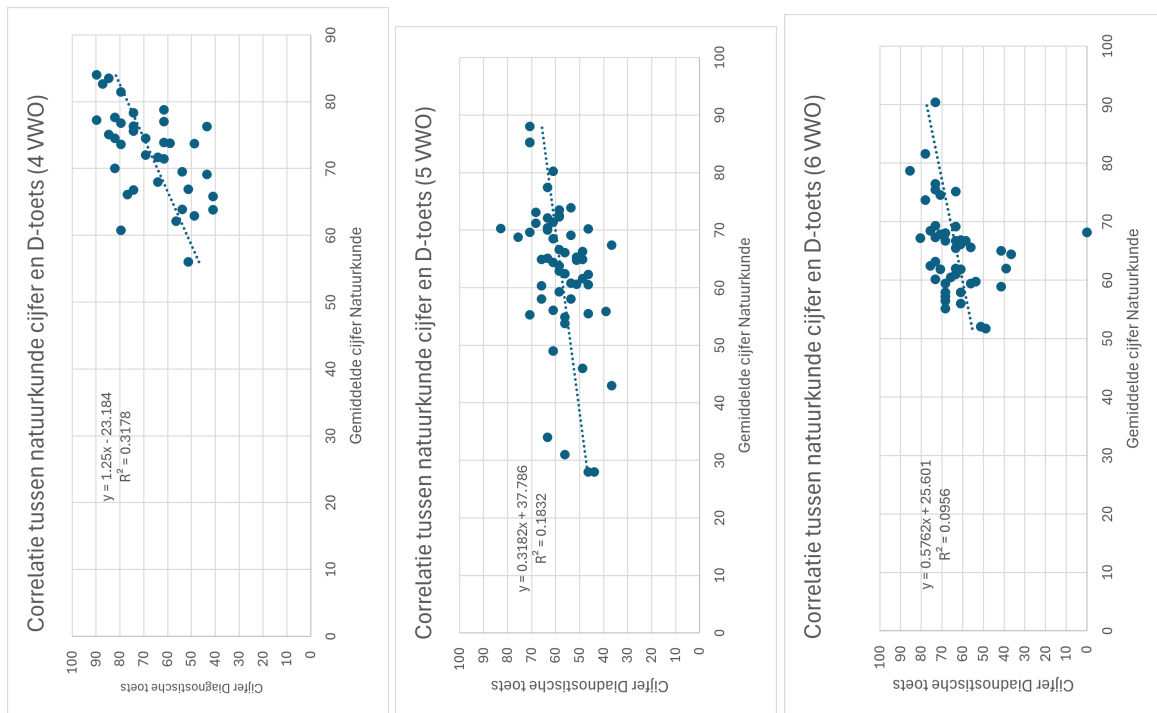
- (a) Stel dat je deze test nog eens moet maken, hoe zou je je hier dan op voorbereiden?
 - (b) Wat voor materiaal zou je hiervoor gebruiken?
 - (c) Als je begeleiding wilt, wie zou je dan om hulp vragen?
 - (d) Weten jullie dat jullie docenten hier oefenmateriaal voor gemaakt hebben?(voorbeelden laten zien)
 - (e) Hebben jullie dat al eens gebruikt?
7. (Enkel voor leerlingen uit categorie 2) Jullie hadden de eerste keer geen voldoende voor de test. Weten jullie nog wat je hebt gedaan om uiteindelijk wel en voldoende te halen? (Hoe hebben ze het materiaal gebruikt en hoe vonden ze dat - RQ 2.3b)
- (a) Welk materiaal hebben jullie gebruikt?
 - (b) heeft iemand jullie daarbij geholpen?
 - (c) Weten jullie dat jullie docenten hier oefenmateriaal voor gemaakt hebben?(voorbeelden laten zien)
 - (d) Hebben jullie dat al eens gebruikt?
8. (Enkel voor leerlingen uit categorie 3) Jullie hebben nog geen voldoende op deze test gehaald. Wat denk je dat je zou moeten doen om een voldoende te halen? (Hoe hebben ze het materiaal gebruikt en hoe vonden ze dat - RQ 2.3b)
- (a) Wat heb je hiervoor gedaan om je voor te bereiden? Waarom?
 - (b) Welk materiaal zou je daarvoor gebruiken?
 - (c) Wie zou je benaderen voor hulp?
 - (d) Wat zou de docent kunnen doen om je daar bij te helpen?
 - (e) Weten jullie dat jullie docenten hier oefenmateriaal voor gemaakt hebben?(voorbeelden laten zien)
 - (f) Hebben jullie dat al eens gebruikt?
9. Snap je waarom deze test verplicht is? (Doelen van de leerlingen en hun motivatie - RQ 1.4, 2.3b en 3.2)
- (a) Waar wilde je vooral voor slagen: een cijfer, beter begrijpen, of iets anders?
 - (b) Wat motiveerde je het meest om je best te doen voor deze toets?
10. Willen jullie nog wat zeggen naar aanleiding van dit interview?

Afronden en opname stoppen: Dan wil ik jullie nogmaals bedanken voor jullie tijd en moeite voor dit onderzoek en dan zal ik nu de opname stoppen.



Statistische analyse

C.1. Spreidingsdiagrammen



Figuur C.1: Spreidingsdiagrammen met correlatie tussen natuurkundecijfers en prestaties op de diagnostische toets.

Bibliografie

- Alfageh, D.H. e.a. (feb 2024). *Elementary Teachers' use of adaptive diagnostic assessment to Improve mathematics teaching and learning: a case study*. Tech. rap. em0768. URL: https://www.iejme.net/article/elementary-teachers-use-of-adaptive-diagnostic-assessment-to-improve-mathematics-teaching-and-14190.html?utm_source=chatgpt.com.
- Ashley, Michael e.a. (nov 2017). "Building Better Bridges into STEM: A Synthesis of 25 Years of Literature on STEM Summer Bridge Programs". In: *CBE—Life Sciences Education* 16.4, es3. DOI: 10.1187/cbe.17-05-0085. URL: <https://doi.org/10.1187/cbe.17-05-0085>.
- Black, Paul en Dylan Wiliam (2009). "Developing the Theory of Formative Assessment". In: *Educational Assessment, Evaluation and Accountability* 21.1, p. 5–31. DOI: 10.1007/s11092-008-9068-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5>.
- Braun, Virginia en Victoria Clarke (2006). "Using thematic analysis in psychology". In: *Qualitative Research in Psychology* 3.2, p. 77–101. DOI: 10.1191/1478088706qp0630a.
- Centerdata NL (2024). *Onderzoeken onderwijsarbeidsmarkt*. Geraadpleegd op 24 januari 2024. URL: <https://www.centerdata.nl/actueel/onderzoeken-onderwijsarbeidsmarkt>.
- Chang, Chi-Ning e.a. (mei 2023). "Predicting STEM Major Choice: a Machine Learning Classification and Regression Tree Approach". In: *Journal for STEM Education Research* 6.2, p. 358–374. DOI: 10.1007/s41979-023-00099-5. URL: <https://doi.org/10.1007/s41979-023-00099-5>.
- Chou, Yu-kai (2015). *Actionable Gamification: Beyond Points, Badges, and Leaderboards*. Fremont, CA: Octalysis Media. ISBN: 9781511744041.
- College voor Toetsen en Examens (2024a). *Examenprogramma en syllabus Natuurkunde vwo 2026*. Geraadpleegd via Examenblad. URL: <https://www.examenblad.nl/2026/vwo/vakken/exacte-vakken/natuurkunde-vwo> (bezocht op 25-12-2025).
- (2024b). *Examenprogramma natuurkunde vwo 2026*. Geldig voor het centraal examen vanaf 2026. URL: <https://www.examenblad.nl/2026/vwo/vakken/exacte-vakken/natuurkunde-vwo> (bezocht op 05-01-2025).
- Deci, E.L. en R.M. Ryan (dec 2018). *Self-Determination Theory, Basic Psychological Needs in Motivation, Development and Wellness*. Guilford Press.
- Drijvers, Paul, red. (2011). *Secondary Algebra Education: Revisiting Topics and Themes and Exploring the Unknown*. Rotterdam: Sense Publishers. ISBN: 978-94-6091-333-4.
- Freudenthal Instituut (2025). *Salvo — Onderzoek en publicaties*. Geraadpleegd via de Freudenthal Instituut website. Freudenthal Instituut, Universiteit Utrecht. URL: <https://www.fi.uu.nl/publicaties/subsets/salvo/about.php> (bezocht op 25-12-2025).
- Guest, Greg e.a. (2017). "Comparing Focus Groups and Individual Interviews: Findings from a Randomized Study". In: *International Journal of Social Research Methodology* 20.6, p. 693–708. DOI: 10.1080/13645579.2017.1281601.

- Meelissen, Martina e.a. (2023). *Resultaten PISA-2022 in vogelvlucht*. Universiteit Twente. DOI: 10.3990/1.9789036559461. URL: <https://doi.org/10.3990/1.9789036559461>.
- Morán-Soto, Gustavo, Luis Hernán Arellano Ulloa en Omar Israel González Peña (jan 2026). "Mathematics abilities as the key to successfully completing an engineering major: an analysis of a remedial mathematics course". In: *European Journal of Engineering Education*, p. 1–23. DOI: 10.1080/03043797.2025.2607635. URL: <https://doi.org/10.1080/03043797.2025.2607635>.
- OECD (2000). *Measuring Student Knowledge and Skills: The PISA 2000 Assessment of Reading, Mathematical and Scientific Literacy*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264181564-en.
- (2007). *PISA 2006: Science Competencies for Tomorrow's World: Volume 1: Analysis*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264040014-en.
- (2010). *PISA 2009 Results: What Students Know and Can Do: Student Performance in Reading, Mathematics and Science (Volume I)*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264091450-en.
- (2013). *PISA 2012 Results: What Students Know and Can Do (Volume I): Student Performance in Mathematics, Reading and Science*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264201118-en.
- (2016). *PISA 2015 Results (Volume I): Excellence and Equity in Education*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/9789264266490-en.
- (2023). *PISA 2022 Results (Volume I): The State of Learning and Equity in Education*. OECD Publishing. DOI: 10.1787/53f23881-en.
- Ran, F. X. en H. Lee (2024). *Does Corequisite Remediation Work for Everyone? An Exploration of Heterogeneous Effects and Mechanisms*. 24-928. Annenberg Institute at Brown University. URL: <https://edworkingpapers.com/sites/default/files/ai24-928.pdf>.
- Svane, Riikka Pauliina e.a. (dec 2023). "A systematic literature review of math interventions across educational settings from early childhood education to high school". In: *Frontiers in Education* 8. DOI: 10.3389/feduc.2023.1229849. URL: <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1229849>.
- Töllner, Fynn, Poldi Kuhl en Michael Besser (mei 2025). "Formative Assessment in inclusive Mathematics Education in Secondary Schools: A Systematic review". In: *Education Sciences* 15.5, p. 577. DOI: 10.3390/educsci15050577. URL: <https://doi.org/10.3390/educsci15050577>.
- Tursucu, Suleyman en Delft University of Technology (2019). *Successful transfer of algebraic skills from mathematics into physics in senior pre-university education*. URL: <https://doi.org/10.4233/uuid:80f98acd-dc72-4aa8-bec6-ce72a26c2c65>.
- Turşucu, S. (2022a). "Beter toepassen van wiskunde bij natuurkunde". In: *NVOX* 51. URL: <https://www.nvon.nl/nvox/beter-toepassen-van-wiskunde-bij-natuurkunde>.
- (2022b). *NVON | Beter toepassen van wiskunde bij natuurkunde*. URL: <https://www.nvon.nl/nvox/beter-toepassen-van-wiskunde-bij-natuurkunde#>.
- Vakoverstijgend Rekenen (2025). *Over ons — Vakoverstijgend Rekenen*. Geraadpleegd via de officiële website Vakoverstijgend Rekenen. URL: <https://vakoverstijgendrekenen.nl/over-ons/> (bezoekt op 25-12-2025).
- Van Stiphout, I. e.a. (2025). *Ontwikkeling van een gecombineerd schoolexamen wiskunde en natuurkunde over Periodieke functies en trillingen en golven*. Cito. URL: <https://cito.nl/media/woqhudtl/onderzoek-schoolexamens-wiskunde-en-natuurkunde.pdf>.

Voogt, J. en N. Pareja Roblin (2010). *21st Century Skills: Discussienota*. Universiteit Twente. URL: https://www.21stcenturyskills.nl/download/21_st_century_skills__UT_discussie_paperNL.pdf.