

VO

Flexibel examineren bij natuurkunde



Flexibel examineren bij natuurkunde

De (on)mogelijkheden voor leerlingen
om op een hoger niveau examen te doen

Cito

Martijn Leensen, Remco Poulus en Bernadette Kruijver
Onder redactie van Twan Huijbers

Colofon

Opmaak: Media Support

Foto omslag: Gijs Versteeg

© Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling Arnhem (2022)

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit werk mag zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Stichting Cito Instituut voor Toetsontwikkeling worden openbaar gemaakt en/of verveelvoudigd door middel van druk, fotokopie, scanning, computersoftware of andere elektronische verveelvoudiging of openbaarmaking, microfilm, geluidskopie, film- of videokopie of op welke wijze dan ook.

Inhoud

1	Inleiding	8
1.1	Huidige situatie	8
1.2	Probleemanalyse	9
1.3	Probleemdefinitie	9
1.4	Onderzoeksdoelstelling	9
1.5	Conceptueel model	9
1.6	Onderzoeksmodel	10
1.7	Onderzoeksvragen	10
2	Theoretisch kader	14
2.1	Examenreglement	14
2.2	Eerdere onderzoeken	15
2.3	Conclusie	19
3	Methodologie	22
3.1	Onderzoeksmethode	22
4	Resultaten en analyse	24
4.1	Syllabi, eindtermen en exameneisen	24
4.1.1	Analyse examenprogramma's vmbo-bb, -kb en -gt	24
4.1.2	Van vmbo-gt naar havo en van havo naar vwo	27
4.1.3	Analyse van het natuurkunde-programma	28
4.2	Tijdsinvestering	53
4.3	Verdiepende analyse: verschillen havo- en vwo-examens	55
4.4	Deelconclusie	59
5	Conclusie	62
6	Aanbevelingen en discussie	64
7	Bibliografie	67
	Bijlage	71

Samenvatting

In het voortgezet onderwijs mogen leerlingen voor een of meerdere vakken examens op een hoger niveau afleggen. Bij een voldoende resultaat op het eindexamen krijgen de leerlingen een vermelding op het diploma. Sinds het schooljaar 2017-2018 kunnen leerlingen bij een onvoldoende resultaat gebruikmaken van een terugvaloptie in het tweede tijdvak.

Uit de examenmonitor 2019 (DUO, 2020) blijkt dat in de praktijk maar weinig leerlingen examens doen op een hoger niveau. Binnen het vmbo komt flexibel examineren het meest voor in de leerwegen bb en kb: in 2019 deed 8,7% van de vmbo-bb-leerlingen examens in een of meerdere vakken op vmbo-kb-niveau. Slechts 0,10% van de vmbo-gt-leerlingen deed examens op havoniveau en 1,2% van de havoleerlingen sloot voor een of meerdere vakken examens af op vwo-niveau.

Om in kaart te brengen hoe het examensysteem in de toekomst flexibeler gemaakt kan worden, onderzoekt Stichting Cito de mogelijke inhoudelijke belemmeringen voor leerlingen om examens te doen op een hoger niveau bij natuurkunde. Hiertoe zijn de examensyllabi voor vmbo, havo en vwo met elkaar vergeleken. Uit deze analyse ontstaat een beeld van de investering die van een leerling gevraagd wordt om zich de extra vakinhoud eigen te maken, zodat examens op een hoger niveau haalbaar wordt. Aan de hand van inschattingen van docenten is een globale indicatie gegeven van de verwachte extra tijdsinvestering.

Uit de analyses volgt dat hoe hoger het niveau, hoe meer kennis en vaardigheden worden verwacht van de leerling. Daarnaast zijn de syllabi van enerzijds vmbo en anderzijds havo en vwo niet op elkaar afgestemd. Docenten en toetsdeskundigen schatten in dat voor natuurkunde een forse tijdsinvestering van de leerling wordt verwacht, waardoor het nagenoeg onhaalbaar is voor een leerling om voor natuurkunde examens te doen op een hoger niveau.

1 Inleiding

1 Inleiding

1.1 Huidige situatie

In dit onderzoek worden resultaten gedeeld van een analyse met betrekking tot het flexibel examineren binnen het voortgezet onderwijs. Onder 'flexibel examineren' wordt in dit onderzoek verstaan dat een leerling een of meerdere vakken op een hoger niveau afsluit dan het geëigende niveau, bijvoorbeeld dat een leerling die een vmbo-examen aflegt, dit voor een vak op havoniveau doet. Flexibel examineren is daarmee iets anders dan leerlingen die na hun middelbare school besluiten om op een hoger niveau in te stromen en die opleiding te volgen. Flexibel examineren leidt tot meer maatwerk in het onderwijs en in examinering. De afgelopen jaren is deze mate van flexibilisering toegenomen door onder andere de mogelijkheid tot:

- vakken op een hoger niveau afsluiten en een vermelding op het diploma
- examen doen in het voorlaatste leerjaar
- vermelding van extra vakken in een plusdocument
- examen doen in extra vakken (eventueel op een ander niveau)

Naast de hiervoor genoemde mogelijkheden heeft de VO-raad de ambitie gelanceerd van een maatwerkdiploma. De kern van deze ambitie is dat een leerling vakken op verschillende niveaus kan afronden (zowel hoger als lager) en dat dit zichtbaar wordt gemaakt op het diploma. Momenteel kan een leerling op meerdere niveaus examen doen en bepaalt het laagste niveau de waarde van het diploma.

Het CPB concludeert in een studie uit 2022 dat scholen in het voortgezet onderwijs (vo) sterk verschillen in het aantal leerlingen dat na het behalen van het eerste diploma doorstroomt naar een hoger onderwijsniveau in het vo, het zogenoemde 'stapelen'. Volgens het CPB is dit in grote mate afhankelijk van op welke school de leerling zit. *"Ook lijkt het tussen 2007 en 2019 voor leerlingen niet makkelijker te zijn geworden om meerdere diploma's te halen in het vo"* (CPB, stapelen in het voortgezet onderwijs, 2022). Het CPB (2022) concludeert: *"Zo moeten vmbo-t-leerlingen nu al vroeg beslissen of ze willen stapelen, omdat ze dan een extra vak moeten volgen. Daarnaast doen havoleerlingen examen in zeven vakken, tegenover acht op het vwo. Tevens is wiskunde niet verplicht in het havoprofiel cultuur en maatschappij, terwijl wiskunde op het vwo deel uitmaakt van elk profiel. Scholen noemen de afstemming tussen de profielen of het vakkenpakket dan ook als een van de belangrijkste knelpunten voor de overgang van havo naar vwo."* (Oberon, Terecht overstaprecht, 2018)

Aan de andere kant attendeert een team van hoogleraren, schoolleiders en docenten op de fundamentele kritiek op het idee van een Maatwerkdiploma van de Onderwijsraad (Maatwerk binnen wettelijke kaders, 2015), de reserves in het SEO-rapport (VO-diploma met vakken van verschillend niveau, 2020) en de voorziene praktische problemen en een expliciete afwijzing door de minister in een Kamerbrief van 18 april 2019 op het maatwerkdiploma.

Met name het argument van kansenongelijkheid tegengaan is volgens dit Red-team te weerleggen: *"In deze leeftijdsfase overzien de meeste leerlingen alleen de kortetermijnconsequenties en kiezen ze vaak de weg van de minste weerstand"* (Jolles, Het tienerbrein. Over de adolescent tussen biologie en omgeving, 2017). *Om deze reden valt te verwachten dat juist leerlingen met ouders in achterstandssituaties eerder onverstandige keuzes zullen maken, omdat hun ouders weinig weerwerk kunnen bieden. Dit is uit het oogpunt van kansengelijkheid uiteraard onwenselijk."* (Red-team, 2022)

Door de inrichting van het huidige voortgezet onderwijs in zes verschillende leerwegen/ schoolsoorten met verschillende (dubbel)profielen, zijn er meer dan 50 verschillende diploma's te behalen. Met andere woorden: ieder argument voor flexibilisering van de eindexamens leidt tot eenzelfde argumentatie om niet nog meer maatwerk te bieden. Deze discussie wordt in dit onderzoek opgenomen, omdat het belangrijk is te weten dat deze discussies plaatsvinden.

Deze analyse kijkt enkel naar de werklast van de leerling voor het vak natuurkunde als een leerling besluit om examen te doen op een hoger niveau. In welke mate een verdere flexibilisering wenselijk is, komt in deze analyse niet aan de orde. Wel wordt er in de conclusie aan gerefereerd.

1.2 Probleemanalyse

Centrale toetsing en examinering (toetsing van de einddoelen van een opleiding) maken al lange tijd deel uit van het Nederlandse onderwijs. Deze gestandaardiseerde vorm van toetsing vormt daarmee een ijkpunt voor leerlingen, leraren en vervolgonderwijs. Volgens de VO-raad is meer flexibiliteit nodig, meer ruimte voor diepgang en meer aandacht voor vaardigheden en brede vorming (VO-raad, 2018). In 2019 pleitte de VO-raad voor herijking van de centrale examens, zodanig dat leerlingen flexibeler examen kunnen doen in een of meerdere vakken met betrekking tot het tijdstip en het niveau van het examen (VO-raad 2019). Stichting Cito onderzoekt deze ontwikkeling door te onderzoeken of een flexibeler examen mogelijk is binnen de huidige examenprogramma's en syllabi.

1.3 Probleemdefinitie

Stichting Cito analyseert de mogelijkheden om voor natuurkunde examen te doen op een hoger niveau, gegeven de huidige examenopzet en de wettelijke kaders. In dit onderzoek wordt flexibel examineren enkel bekeken vanuit de invalshoek of het mogelijk is om examen te doen op een hoger niveau, waarbij gekeken wordt welke mogelijke problemen ontstaan bij leerlingen als het gaat om de hogere niveaus, extra tijdsinvestering of organisatorische zaken.

1.4 Onderzoeksdoelstelling

Het doel van dit onderzoek is om in kaart te brengen hoe het examensysteem in de toekomst flexibeler gemaakt kan worden, door onderzoek te doen naar de mogelijke inhoudelijke belemmeringen voor leerlingen om examen te doen op een hoger niveau bij natuurkunde. Uit deze analyse ontstaat een beeld van de investering die van een leerling gevraagd wordt om zich de extra vakinhoud eigen te maken, zodat examen doen op een hoger niveau haalbaar wordt.

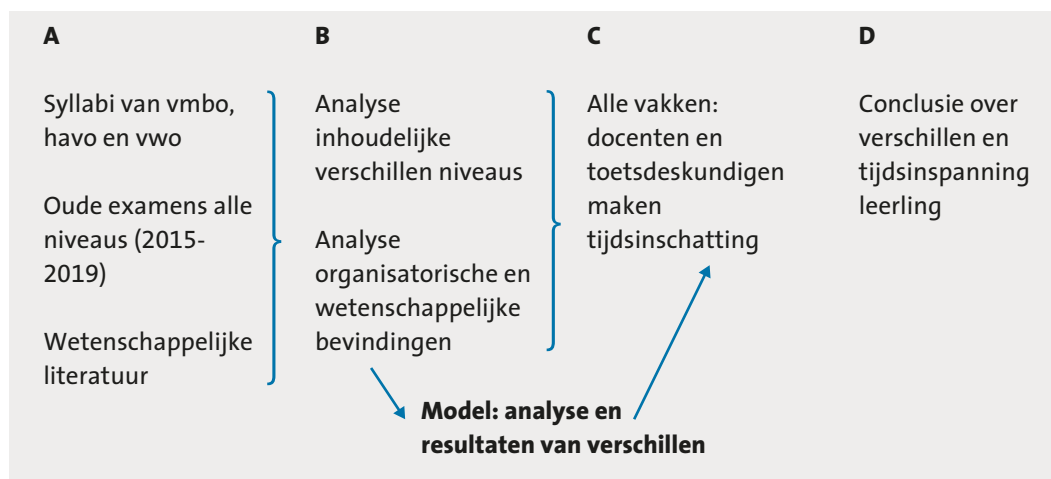
1.5 Conceptueel model

Het conceptueel model schetst het perspectief van dit onderzoek. Door alle inhoudelijke verschillen van de vakken van de verschillende leerniveaus in kaart te brengen, kan een eenduidig beeld worden geformuleerd van de extra tijdsinvestering die van een leerling wordt gevraagd om een examen te doen op een hoger niveau. De hypothese is dat deze analyse daarin duidelijkheid verschaft voor leerlingen, docenten en schoolleiders, hetgeen een positief effect kan hebben op het aantal leerlingen dat deze flexibele route zou willen doorlopen.

1.6 Onderzoeksmodel

Uit het conceptuele model wordt onderstaand onderzoeksmodel afgeleid (zie figuur 1). Hierbij wordt gebruikgemaakt van een deskresearch waarbij meerdere bronnen en invalshoeken worden gecombineerd met wetenschappelijke literatuur (A) en eerdere onderzoeken. Na een analyse van al deze data (B) worden toetsdeskundigen en docenten uit het veld gevraagd (C) om deze analyses te controleren en een oordeel te vellen, waarna er een conclusie kan worden getrokken naar aanleiding van de gehele analyse (D).

Figuur 1 Onderzoeksmodel



1.7 Onderzoeksvragen

De centrale vraag luidt: Wat zijn de (on)mogelijkheden voor leerlingen om op een hoger niveau (dan het geëigende niveau) examen te doen voor natuurkunde?

Daaruit volgen de volgende deelvragen:

- 1 Welke inhoudelijke verschillen tussen de niveaus bestaan er op basis van de afzonderlijke syllabi?
- 2 Zijn deze verschillen met name door een hoger aantal concepten of ook de hogere vaardigheid van overlappende concepten?
- 3 In hoeverre komen deze verschillen tot uiting in de centrale examens, en kunnen deze examens daarmee extra informatie verschaffen over de hogere vaardigheid die van een leerling wordt gevraagd?
- 4 Welke verschillen zijn er in eerdere wetenschappelijke onderzoeken al geconstateerd?
- 5 Welke extra tijdsinvestering wordt er van een leerling gevraagd als de leerling examen wil doen op een hoger niveau? En daaruit afgeleid: is dit haalbaar?
- 6 Welke organisatorische aspecten kunnen worden onderscheiden in de examenstructuur of op scholen met betrekking tot het examen doen op een hoger niveau?

- 7 Om deze vragen te beantwoorden is eerst een literatuurstudie uitgevoerd (zie hoofdstuk 2). Daarna is er per vak een inhoudelijke analyse gedaan door de syllabi (en eventueel oude examens) met elkaar te vergelijken om van daaruit per domein aan te kunnen geven waar de inhoudelijke verschillen in concepten en vaardigheden zitten.

2 Theoretisch kader

2 Theoretisch kader

Stichting Cito analyseert de mogelijkheden om voor natuurkunde examen te doen op een hoger niveau, gegeven de huidige examenopzet en de wettelijke kaders. In dit onderzoek wordt flexibel examineren enkel bekeken vanuit de invalshoek of het mogelijk is om examen te doen in een of meerdere vakken op een hoger niveau. Momenteel is het wettelijk gezien niet mogelijk om examen te doen in een vak op een lager niveau dan het geëigende niveau. In de analyse wordt deze optie daarom niet verder onderzocht. In dit hoofdstuk worden eerst de wettelijke kaders onderzocht. Is het voor de leerling haalbaar om binnen de huidige kaders en regelgeving examen te doen in een vak op een hoger niveau? Wat vraagt dit van een leerling? Daarna worden eerdere onderzoeken over flexibilisering en maatwerk geanalyseerd om tot een kader te komen van de (on)mogelijkheden rondom een flexibel examen.

2.1 Examenreglement

Om te slagen zijn er regels voor compensatie van een lager cijfer door een hoger cijfer, maar het schoolniveau en daarmee het diploma dat behaald kan worden, liggen al vast. Vanaf 2018 wordt op het diploma vermeld dat een leerling een vak op een hoger niveau heeft afgesloten. Indien de leerling het examen niet haalt, kan de leerling alsnog examen doen in dat vak op het eigen niveau. Dit is de terugvaloptie. De leerling doet dan alsnog examen in het tweede tijdvak op het geëigende niveau. Daarbij heeft de leerling nog steeds recht op een herkansing.

Als de leerling na het afronden van het eindexamen doorstroomt naar het hogere middelbare schoolniveau, krijgt deze leerling vrijstelling voor de vakken die al op dat niveau zijn afgerond. (Staatscourant 2017 nr. 53354). Leerlingen kunnen examen doen in extra vakken boven op hun minimale vakkenpakket en kunnen eventueel daarin een vak op een hoger niveau afsluiten. Het eindcijfer voor extra vakken wordt op dezelfde manier berekend als voor de andere examenvakken. Deze extra vakken tellen mee om de uitslag van het examen te bepalen, met de restrictie dat het er nooit toe kan leiden dat een leerling op de extra vakken zakt. Immers, een leerling kan dan het extra vak laten vallen, waardoor het vak geen rol speelt in de uitslagbepaling.

Naast het examen doen op een hoger niveau, kunnen leerlingen ook extra vakken volgen op een lager niveau, bijvoorbeeld een praktijk- of beroepsgericht vak van het vmbo. Deze vakken tellen niet mee in de uitslagbepaling. Het behaalde cijfer wordt niet op de cijferlijst vermeld. Meestal worden deze extra inspanningen vermeld op een plusdocument dat bij het diploma en de cijferlijst wordt gevoegd.

Vanwege de terugvaloptie is het voor leerlingen mogelijk om zonder consequenties te proberen een examen op een hoger niveau af te sluiten. Voor de school betekent dit een extra inspanning. Wanneer een leerling een vak op een hoger niveau afsluit, dient het Programma van Toetsing en Afsluiting (PTA) gewijzigd te worden. Iedere leerling moet zijn voorzien van een PTA waarin zijn/haar weg naar het te maken centraal examen wordt behandeld, inclusief de schoolexamens. De VO-raad (programma van toetsing en afsluiting, 2020) schrijft hierover: *“Wijzigingen in de ‘normale gang van zaken’ van het PTA moeten worden besproken met de betrokken docenten, leerlingen en ouders, en moeten worden goedgekeurd door de medezeggenschapsraad. Daarnaast moet bij DUO worden gemeld dat de leerling een vak een jaar eerder zal afsluiten (door vervroegd examen in een voorexamenjaar). Ook moet DUO weten dat er extra leerlingen examen doen, zodat deze extra examens op tijd op school aanwezig zijn.”*

Het PTA regelt per vak wat er gebeurt met het schoolexamencijfer als de leerling gebruikmaakt van de terugvaloptie en alsnog examen wil doen op het eigen niveau. In de praktijk kan dit mogelijk leiden tot een probleem. Dit verduidelijken we met een voorbeeld: Stel dat een havo-leerling (of een vwo-leerling die voor alle vakken behalve een afstroomt naar havo) besluit om aan het begin van de bovenbouw een vak op vwo-niveau te volgen en de schoolexamens en het eindexamen van dat vak op vwo-niveau af te leggen. Als het eindexamencijfer een onvoldoende is, kan de leerling teruggrijpen op de terugvaloptie en alsnog het havo-examen afleggen in het tweede tijdvak. Hierbij doemt de vraag op naar de betekenis van de schoolexamens die de leerling op vwo-niveau heeft gemaakt. De VO-raad (2020) stelt dat *“het uitgangspunt is dat het schoolexamencijfer blijft staan. Wanneer blijkt dat er een grote discrepantie is tussen het schoolexamenprogramma op het hogere niveau en het geëigende niveau, is het aan de school om vóóraf te bepalen hoe zij deze discrepantie wil wegwerken. Dit dient de school in het PTA aan te geven.”* Sommige scholen hanteren zelf een omrekenfactor, maar deze moet vooraf in het PTA staan vermeld, zodat het voor de leerling maar ook voor de Inspectie van het Onderwijs helder is hoe de leerling wordt beoordeeld. Hierbij moeten eventuele discrepanties tussen de schoolexamenprogramma's op de verschillende niveaus (bij voorkeur) afgedekt worden, voordat het centrale examen in het eerste tijdvak plaatsvindt. De inspectie moet vervolgens toestemming verlenen aan de school om na het eerste tijdvak het schoolexamencijfer aan te passen, als de leerling gebruikmaakt van de terugvaloptie. De inspectie geeft aan dat het niet de bedoeling is dat het schoolexamencijfer op het hogere niveau zonder meer wordt omgerekend naar het geëigende niveau. De school moet hier van tevoren dus helder over communiceren naar de leerling, en daarnaast in het PTA aangeven hoe de cijfers van het schoolexamen worden meegenomen naar het lagere niveau. Voor de scholen betekent dit dat PTA's rekening moeten houden met de mogelijkheid dat een leerling een vak op een hoger niveau wil afsluiten. In de praktijk kan dit als een organisatorische belemmering worden ervaren.

2.2 Eerdere onderzoeken

Met het meest recente advies van de VO-raad om examens op meerdere momenten te kunnen doen, is veelvuldig geëxperimenteerd. In november 2009 stopte het ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschap met het flexibel afnemen van examens op meerdere tijdstippen in het jaar. De redenen hiervoor zijn de toenemende kosten van de productie van examens en de toenemende lasten voor de scholen met betrekking tot organisatie en werkdruk. Scholen geven vaak aan dat de werkdruk al hoog is, en meer toetsing gaat in tegen de trend van minder toetsen en meer tijd voor onderwijs. In de praktijk betekent maatwerk dat docenten om extra uren bij de directie vragen. Daarnaast moeten aparte routes worden gemaakt voor leerlingen (die examens willen doen op een hoger niveau) en zeker met betrekking tot de roostering en de organisatie is dit een brug te ver (Josic (2016), De Weerd et al. (2019), Regioplan (2019) en de SEO (2020)).

In een eindrapport van Regioplan Beleidsonderzoek (Extra vakken en vakken op een hoger niveau in het voortgezet onderwijs, 2012) staat: *“Voor vmbo-tl-leerlingen die willen doorstromen naar het havo hebben vakken op een hoger niveau minder waarde vanwege verschil in cursusduur tussen vmbo en havo en de daaruit voortkomende roosterproblemen.”* De onderzoekers stellen dat ouders, leerlingen en scholen wel voldoende animo hebben, maar dat het tegelijkertijd extra werk voor scholen, leerlingen en docenten met zich meebrengt. Dit, gecombineerd met softwareproblemen bij onder andere Magister en met roosterproblemen, vormt een uitdaging voor flexibel examineren. Voor havo is de conclusie nog stelliger: *“Voor het havo geldt dat de meerwaarde van het doen van vakken op een hoger niveau beperkt is. In het vervolgonderwijs maakt het voor havo-geslaagden geen verschil of ze vakken op havo- of vwo-niveau hebben*

afgesloten. De animo onder leerlingen lijkt daardoor beperkt. Doordat het verschil in cursusduur tussen havo en vwo veel logistieke problemen oplevert voor zowel scholen als leerlingen, beginnen havo-afdelingen er in het algemeen niet aan.” (Regioplan Beleidsonderzoek Extra vakken en vakken op een hoger niveau in het voortgezet onderwijs, 2012).

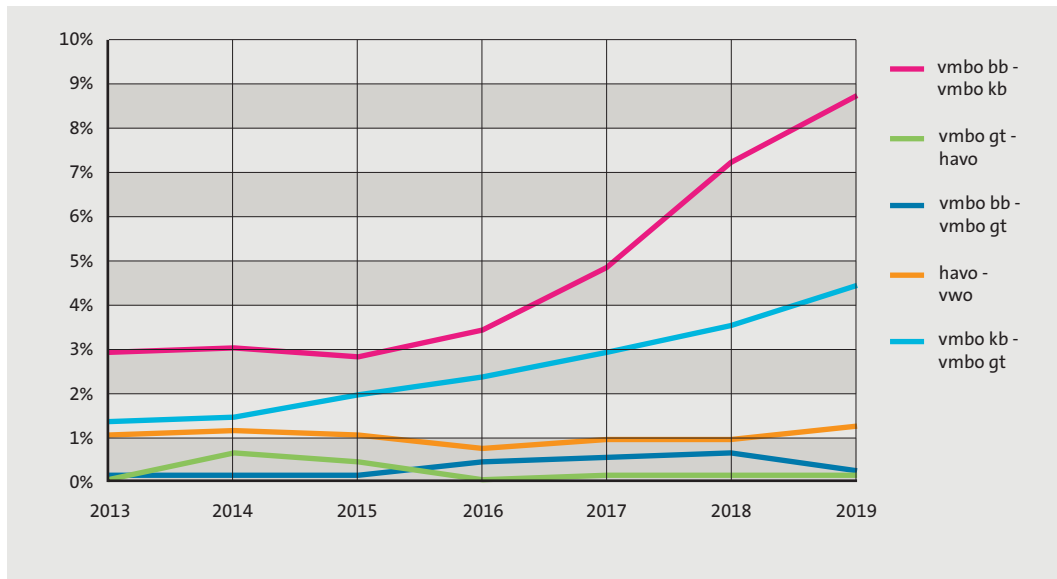
De Onderwijsraad (Maatwerk binnen wettelijke kaders, 2015) adviseert om meer maatwerk en flexibilisering aan te bieden. Bij doorstroomvakken op vmbo zou dit makkelijker te realiseren zijn dan op havo. De Inspectie van het Onderwijs noemde belemmeringen waarom leerlingen weinig gebruikmaken van het examen doen op een hoger niveau: *“het verschil in cursusduur tussen vmbo en havo en tussen havo en vwo, rooster-technische problemen en het ontbreken van specifieke mogelijkheden in het vervolgonderwijs”* (Staat van het onderwijs, 2011).

Josic (Op weg naar maatwerk, 2016) stelt in een onderzoek van het LAKS dat er voor vmbo-leerlingen (met name vmbo-gl) vooral beperkingen zijn voor beroepsgerichte vakken. Voor deze vakken bestaat namelijk geen hoger niveau. Josic, (2016); Brekelmans, et al. (2017) en de Onderwijsraad (2015) geven verder aan dat slechts 43% van alle middelbare scholen alle onderwijsniveaus aanbiedt, waardoor er voor het merendeel van de scholen geen mogelijkheid is om een vak op een hoger niveau te volgen (ervan uitgaande dat een vmbo-leerling examen wil doen op havoniveau en een havoleerling op vwo-niveau). Binnen gemeenten zijn er wel samenwerkingsverbanden, maar dat betekent dat leerlingen voor het volgen van een enkel lesuur van een ander vak of een ander niveau al veel tijd kwijt zijn en soms ook flinke reisafstanden moeten afleggen. *“Vakken gevolgd op een ander niveau dan de eigen opleiding op een andere school (dus niet op een nevenvestiging van de eigen school) komen daarnaast niet op het diploma of cijferlijst te staan.”* (VO-raad, programma van toetsing en afsluiting, 2020). Ook hier geldt dat een dergelijke prestatie zal worden vermeld in een plusdocument.

In een studie van De Weerd et al. (Pilot recht op maatwerk, 2019) komt naar voren dat het centraal-examenrooster een belemmering vormt. Er moet immers meer tijd worden vrijgemaakt voor leerlingen om een vak op zowel het eigen niveau te maken als ook op een hoger niveau. In deze studie worden vooral organisatorische redenen (zoals lessen op een hoger niveau aanbieden, extra toetsen maken door docenten, flexibele programma's en roostering) aangedragen die een belemmering vormen. Genoemd wordt dat examen doen op een hoger niveau bij enkele havo-vwo-scholen op grotere schaal voorkomt. Dit betekent dat ook de school een grote factor is in de keuze van leerlingen om al dan niet examen te doen op een hoger niveau.

De laatste jaren heeft het flexibel examineren zich vooral ontwikkeld in de richting van examen doen in een enkel vak op een hoger niveau, met name voor de talen. Het aandeel examenkandidaten dat een of meer vakken op een hoger niveau afsluit, was in 2018 nog relatief klein, zoals in figuur 2 te zien is, maar het is wel (licht) stijgend of stabiel voor de meeste niveaus.

Figuur 2 Aandeel examenkandidaten dat 1 of meer vakken op hoger niveau afsluit

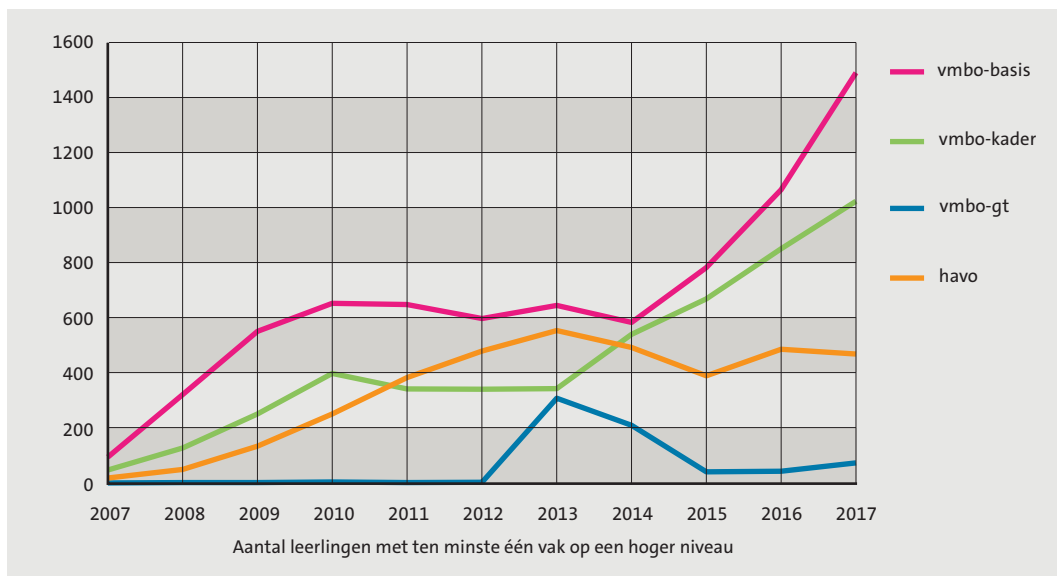


Bron: DUO examenmonitor (2019)

In 2018 deed 7,2% van de vmbo-bb-leerlingen examen in een of meerdere vakken op het niveau vmbo-kb (in 2019 is dit 8,7%), terwijl slechts 0,10% van de vmbo-gt-leerlingen een examen deed op havoniveau. Van de havo-leerlingen besloot 0,90% een examen te doen op vwo-niveau (in 2019 is dit opgelopen naar 1,2%).

De Stichting Economisch Onderzoek (VO-diploma met vakken van verschillend niveau, 2020) concludeert over flexibele examens dat zij een toename zien in het aantal leerlingen dat een examen doet op een hoger niveau (zie figuur 3).

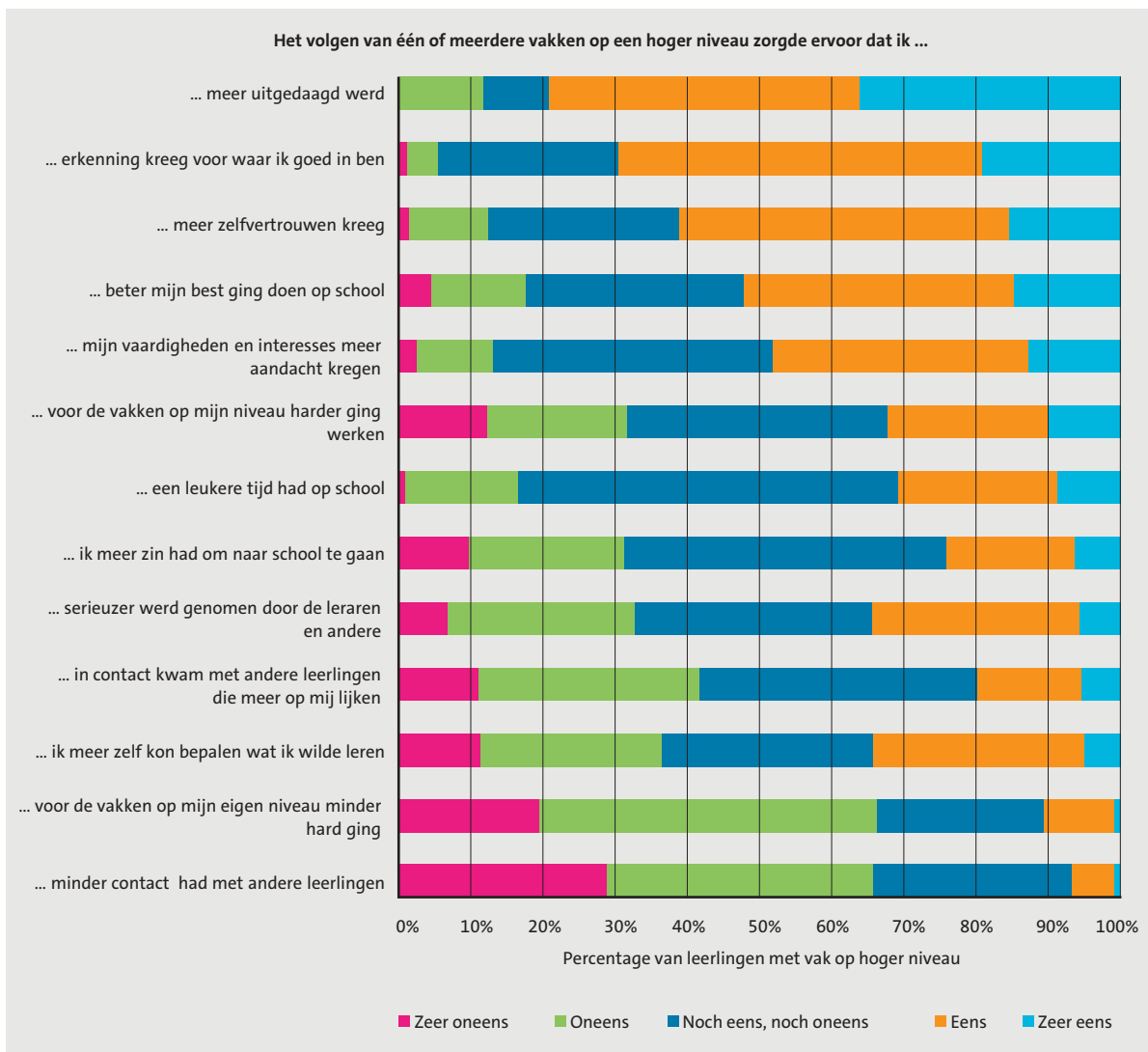
Figuur 3 Aantal leerlingen dat een examen doet op een hoger niveau



Bron: DUO microdata, bewerking SEO Economisch onderzoek (2019)

Uit figuur 3 komt naar voren dat het absolute aantal leerlingen dat examen doet in een of meerdere vakken op een hoger niveau, toeneemt. Het gaat echter hierbij nog steeds om lage percentages. In het onderzoek van de SEO is ook verder gekeken naar de achtergrond van de leerlingen die een examen doen op een hoger niveau en hun beweegredenen (zie figuur 4). Deze leerlingen hebben vaak een intrinsieke motivatie. Een vak volgen op een hoger niveau is een mooie aanvulling op het diploma, maar geeft geen directe vrijstellingen in het vervolgonderwijs. Het vervolgonderwijs vraagt namelijk bij de aanmelding zelden tot nooit om een diploma met een aantal vakken op een hoger niveau. Dit betekent dat leerlingen vooral intrinsiek gemotiveerd moeten zijn.

Figuur 4 Antwoorden leerlingen waarom ze een vak op een hoger niveau volgden



Uit het onderzoek van SEO blijkt dat driekwart van de leerlingen die een examen doen op een hoger niveau zogenaamde afstromers zijn. Deze leerlingen zaten eerst op een hoger onderwijsniveau, waarna zij zijn afgestroomd naar een lager onderwijsniveau. Zij doen nog wel examen in een of meerdere vakken op hun eerdere, hogere niveau. Het vak Engels is het populairste vak om examen in te doen op een hoger niveau. SEO (2020) heeft geen significante verschillen gevonden in het aantal jongens en meisjes dat in een vak op een hoger niveau examen doet.

Zoals al eerder aangehaald in het Regioplan Beleidsonderzoek (Extra vakken en vakken op een hoger niveau in het voortgezet onderwijs, 2012), blijkt ondanks het feit dat gemotiveerde leerlingen graag een vak op een hoger niveau afsluiten, bij een aantal leerlingen een intrinsieke rem optreedt om dit te doen. Het lijkt mooi om te laten zien dat je meer in je mars hebt, maar de kans is aanwezig dat het eindcijfer lager uitvalt als je een vak op een hoger niveau afsluit. De leerling kan daarmee het gemiddelde van de hele cijferlijst omlaag halen en een eventuele cum laude 'verspelen', of in een lotingsgroep met meer kandidaten terechtkomen en dus een kleinere kans hebben tijdens de loting om toegelaten te worden. Dit kan ook een reden zijn waarom de percentages van leerlingen die examen doen op een hoger niveau nog relatief laag zijn.

Het is belangrijk om te vermelden dat binnen de huidige wetgeving het niet mogelijk is om in een vak examen te doen op een lager niveau. Dit zou wel van betekenis kunnen zijn voor leerlingen met een eenzijdige begaafdheid of een disharmonisch intelligentieprofiel. In dit onderzoek bekijken we daarom op basis van de syllabi of examen doen in een vak op een lager niveau mogelijk is.

Om de onderwijsresultaten van een school te kunnen beoordelen, kijkt de inspectie naar het gemiddelde van alle behaalde examencijfers per vak per afdeling. *"Afhankelijk van de situatie kan een inspecteur afwijken van de rekenkundige score op de onderwijsresultaten. Zo kan de inspecteur meewegen dat er leerlingen zijn die voor een of meer vakken examen hebben gedaan op een hoger niveau. Als er daadwerkelijk sprake is van vakken op een hoger niveau, wordt er per afgelegd examen op een hoger niveau 1,5 punt opgeteld bij het behaalde cijfer"* (Inspectie van het Onderwijs). De verhoogde score kan daarmee een positieve invloed hebben op het oordeel over de onderwijsresultaten.

2.3 Conclusie

Studies van Josic (2016), De Weerd et al. (2019), Regioplan (2019) en de SEO (2020) tonen aan dat er belemmeringen zijn op organisatorisch vlak bij scholen als het gaat om het doen van eindexamen op een hoger niveau, met name wat betreft roostering, verschil in cursusduur en het categorale karakter van scholen. De centrale examens spelen hierin niet tot nauwelijks een rol, al benoemen onderzoeken wel dat het examenrooster krap is, waardoor het voor leerlingen een grotere uitdaging wordt om examen te doen op een hoger niveau én in een tweede tijdvak ook nog op het geëigende niveau (bij een tegenvallend resultaat). Alle onderzoeken richten zich op de aantallen leerlingen die kiezen om examen te doen in een vak op een hoger niveau, en op de (met name) organisatorische belemmeringen die bestaan als oorzaak voor de tegenvallende aantallen. Inhoudelijk wordt het verschil in cursusduur aangeduid als een groot struikelblok. De verwachting is dat dat bij een niveau met een langere cursusduur meer concepten behandeld worden en dat daardoor de zwaarte toeneemt. Desalniettemin zou een leerling met affiniteit of een hoge intrinsieke motivatie voor een bepaald vak alsnog kunnen kiezen dat vak op een hoger niveau af te sluiten. Die inhoudelijke analyse ontbreekt veelal. Stichting Cito onderzoekt daarom of er vakinhoudelijke mogelijkheden zijn om examen te doen in natuurkunde op een hoger niveau en welke tijdsinvestering dit van een leerling vraagt. Dit onderzoek wordt in hoofdstuk 3 verder toegelicht.

3 Methodologie

3 Methodologie

In het vorige hoofdstuk is een literatuuranalyse gedaan over flexibel examineren. In dit hoofdstuk wordt uiteengezet hoe de inhoudelijke verschillen tussen de leerniveaus worden geanalyseerd.

3.1 Onderzoeksmethode

In dit onderzoek worden de syllabi voor natuur- en scheikunde I vmbo¹, natuurkunde havo en natuurkunde vwo met elkaar vergeleken, om na te gaan welke investering het van de leerling vraagt om het examen op een hoger (of lager) niveau af te leggen. Daarbij is een inhoudelijke vergelijking gemaakt van de syllabi en een globale inschatting gedaan van de tijd die het een leerling zal kosten om zich de extra stof eigen te maken. Verder is meer in detail gekeken waarin de centraal examens voor havo en vwo van elkaar verschillen om daarmee de gegeven tijdsinschatting beter te kunnen duiden. Bij deze vergelijking is de havo-syllabus als uitgangspunt genomen en is per domein aangegeven wat een havoleerling extra moet doen ten opzichte van een vmbo-leerling (en dus wat er van een vmbo-gt-leerling extra gevraagd wordt). Daarna wordt deze analyse verder uitgebreid door per domein de extra eisen en concepten op te nemen voor het vwo-programma, waarmee ook hier duidelijk wordt welke concepten de havoleerling extra moet beheersen om examen te doen op vwo-niveau. Hierbij wordt ook gekeken naar oude examens, om daarmee een uitspraak te doen over overlappende concepten en om aan te geven welke extra (abstractie)vaardigheden van een leerling worden gevraagd.

Deze inschatting is in eerste instantie door de toetsdeskundige natuurkunde gedaan. Hierna heeft een groep docenten uit het veld een verwachte concretere tijdsinschatting gemaakt. Aan de hand hiervan kan een beeld worden geschetst van de haalbaarheid om examen te doen op een hoger niveau.

De verwachte tijdsinvestering is een inschatting gericht op de vraag naar het aantal uren dat een leerling nodig heeft om de stof door te nemen, te begrijpen en te beheersen (ongeacht of dit vaklessen zijn of dat het zelfstudie is). We nemen een gemiddelde tot goede leerling als uitgangspunt (onder de aanname dat een zeer zwakke tot zwakke leerling geen examen zal doen op een hoger niveau en een zeer goede leerling het in minder uren zal kunnen).

1 Op vmbo worden de vakken natuur- en scheikunde I en II aangeboden. Natuur- en scheikunde I heeft de meeste overeenstemming met het vak natuurkunde op havo en vwo.

4 Resultaten en analyse

4 Resultaten en analyse

Stichting Cito heeft onderzoek gedaan naar de vakinhoudelijke mogelijkheden om een vak op een hoger niveau af te sluiten met het eindexamen. Stichting Cito heeft voor de vakken natuurkunde, natuurkunde, Nederlands, wiskunde en de moderne vreemde talen de centrale examens van de afgelopen jaren onderzocht, syllabi vergeleken met de eindtermen en met de eindexameneisen per niveau. Daarnaast hebben vakdocenten een oordeel gevormd over de extra tijd die van een leerling wordt gevraagd om een vak op een hoger niveau af te sluiten.

4.1 Syllabi, eindtermen en exameneisen

Natuurkunde behoort niet tot de meest populaire vakken om op een hoger niveau af te sluiten (Dienst Uitvoering Onderwijs, 2020). Hooguit enkele leerlingen per jaar leggen het examen natuurkunde op een hoger niveau af. Voor het vak natuur- en scheikunde I geldt één syllabus voor vmbo-bb, -kb en -gt (College voor Toetsen en Examens, 2020). Tabel 1 toont een overzicht van de exameneenheden voor vmbo-bb, -kb en -gt. De basis voor de drie niveaus is hetzelfde, met het oplopende niveau neemt ook het aantal exameneenheden toe. Bovendien kent elk niveau een eigen specificering van de exameneenheden ².

4.1.1 Analyse examenprogramma's vmbo-bb, -kb en -gt

Tabel 1 toont de exameneenheden die in de syllabus worden genoemd (voor zowel het schoolexamen als het centraal examen).

² Bij andere vakken werd eerder gesproken over domeinen. Op het vmbo worden dit voor natuur- en scheikunde I exameneenheden genoemd

Tabel 1 Examenonderdelen vmbo-bb, -kb en -gt

Examineenheden	CE	moet op SE	mag op SE
oriëntatie op leren en werken		vmbo-bb, -kb en -gt	
basisvaardigheden		vmbo-bb, -kb en -gt	
leervaardigheden in het vak natuurkunde	vmbo-bb, -kb en -gt	vmbo-bb, -kb en -gt	
stoffen en materialen	vmbo-bb, -kb en -gt		vmbo-bb, -kb en -gt
elektrische energie	vmbo-bb, -kb en -gt		vmbo-bb, -kb en -gt
verbranden en verwarmen	vmbo-kb en -gt	vmbo-bb	vmbo-kb en -gt
licht en beeld		vmbo-bb, -kb en -gt	
geluid	vmbo-bb, -kb en -gt		vmbo-bb, -kb en -gt
kracht en veiligheid	vmbo-bb, -kb en -gt		vmbo-bb, -kb en -gt
bouw van de materie		vmbo-bb, -kb en -gt	
straling en stralingsbescherming		vmbo-kb en -gt	
het weer		vmbo-kb en -gt	
veiligheid in het verkeer	vmbo-gt		vmbo-gt
constructies	vmbo-gt		vmbo-gt
verwerven, verwerken en verstrekken van informatie		vmbo-gt	
vaardigheden in samenhang	vmbo-gt		vmbo-gt

Om te onderzoeken welke investering het van de leerling vraagt om het examen natuurkunde af te leggen op een hoger niveau, zijn syllabi voor natuur- en scheikunde I vmbo-gt vergeleken met die voor natuurkunde havo en vwo.

De syllabus vmbo-gt kenmerkt zich door veel gericht te zijn op herkenbare toepassingen en contexten zoals gereedschappen, veiligheid in het verkeer en constructies van gebouwen, voertuigen en infrastructuur. Vmbo-gt heeft daarin een sterk pedagogisch karakter en in de examens vertaalt zich dat in herkenbare contexten en veel vragen over herkennen en begrijpen. Een groot gedeelte van de vragen op de centrale examens is in meerkeuzevorm of voor-structureerd. Deze vormen komen bij havo en vwo veel minder terug, waardoor een nadruk ligt op het toepassen van kennis in nieuwe contexten. Het verschil tussen havo en vwo is hierin dat de contexten van vwo abstracter zijn en de toepassingsvragen bij vwo van leerlingen een verdere transfer vragen dan van de havoleerlingen.

Een vergelijking is gecompliceerd omdat niet alleen de onderwerpen in de syllabi van elkaar kunnen verschillen, maar ook de vaardigheden die van leerlingen worden gevraagd.

Een voorbeeld over snelheid:

vmbo-gt de kandidaat kan (s, t) - en (v, t) -diagrammen van bewegingen met constante snelheid aflezen en maken. En: (v, t) -diagrammen van andere bewegingen aflezen.

havo de kandidaat kan eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen. En: uit een (x, t) -diagram de snelheid op een bepaald moment bepalen, zo nodig met behulp van een raaklijn.

vwo de kandidaat kan eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen. En: uit een (x, t) -diagram de snelheid op een bepaald moment bepalen, gebruikmakend van het inzicht dat de snelheid de afgeleide is van de plaats naar de tijd.

Het verschil tussen de niveaus wordt hierin duidelijk. Vmbo-gt werkt in een herkenbare context, waar bij havo en vwo er enkel sprake is van een context. Hierbij zullen de contexten in het vwo-examen over het algemeen abstracter zijn en verder weg van de leefwereld van de leerling dan in het havo-examen. Op vmbo-gt moeten kandidaten de gemiddelde snelheid kunnen berekenen aan de hand van een afstand en tijd. Op havo wordt er verwacht dat leerlingen ook de snelheid op een tijdstip kunnen bepalen met behulp van de raaklijn. Op vwo geldt dat leerlingen dit ook moeten kunnen, maar dan met rekenkundige vaardigheden die op havo niet gevraagd worden, zoals differentiëren.

In de praktijk blijkt dat er sprake is van verschillende vaardigheidseisen:

vmbo-gt rekenen met grootheden door optellen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen, kwadraat en wortel

havo rekenen met grootheden, herleiden van formules en vergelijkingen oplossen

vwo rekenen met grootheden, herleiden van formules, vergelijkingen oplossen en differentiëren.

Met dit voorbeeld wordt duidelijk dat een leerling zich niet alleen extra onderwerpen moet eigen maken, maar ook zijn vaardigheden moet bijwerken naar een hoger niveau. Bij de vergelijking tussen de syllabi is gepoogd hier rekening mee te houden en dit expliciet te maken. Het verschil tussen havo en vwo wordt verder geconcretiseerd in paragraaf 4.3 door een vergelijking te maken tussen de opgaven in vier eindexamens.

Samenvattend blijkt dat er steeds moeilijkere vraagstellingen worden gebruikt die gericht zijn op hogere denkvaardigheden en dat de vragen meer denkstappen vergen. Dit is een logisch en verwacht verband dat zal blijken als leerlingen op een hoger niveau examens willen doen. In die zin levert dit geen belemmering op. Wel worden van kandidaten meer rekenvaardigheden verwacht waardoor kandidaten hun rekenvaardigheden moeten bijwerken als zij op een hoger niveau examens willen doen. Er kan dus worden geconcludeerd dat om het examen natuurkunde af te leggen op een hoger niveau, niet alleen nieuwe inhoud zal moeten worden aangeleerd, maar dat ook de rekenvaardigheden moeten worden verdiept.

4.1.2 Van vmbo-gt naar havo en van havo naar vwo

Na een globale omschrijving van de verschillen tussen de syllabi volgt nu een verdere verdieping per domein. In de tabellen hieronder worden de syllabi van vmbo-gt, havo en vwo naast elkaar gelegd. Voor de overzichtelijkheid is gekozen om grotendeels de domeinen van vwo aan te nemen en daar het havo- en vmbo-gt-programma in te plaatsen, zodat duidelijk wordt waar het vmbo-gt-programma overlap heeft met havo, en ook gemakkelijk het verschil tussen havo en vwo kan worden getoond. De gekozen benamingen van concepten zijn vaak samenvattende benamingen van wat een leerling moet kennen of kunnen. Voor de volledigheid is het hele examenprogramma meegenomen, dat wil zeggen de schoolexamendomeinen en de centraal-examendomeinen.

Van alle examendomeinen betreffen enkele domeinen schoolexamendomeinen voor havo en vwo. Dit is steeds aangegeven in de tabel. Het vmbo-programma bevat meerdere school-examendomeinen. De volgende schoolexamen domeinen uit de vmbo-gt-syllabus komen niet terug in dit overzicht:

- K1: Oriënteren op leren en werken [SE]
- V3: Verwerven, verwerken en verstrekken van informatie [SE]

In de vmbo-gt-syllabus staan enkele concepten die niet in de havosyllabus voorkomen. In het overzicht per domein zijn deze onderdelen steeds grijs weergegeven. In de havosyllabus staan beperkt concepten die niet ook in de vwo-syllabus voorkomen, ook deze zijn grijs gemaakt.

Urenverdeling

De totale studielast van het vak natuurkunde is op havo: 400 slu, op vwo: 480 slu. Hiervan wordt circa 60 procent in het centraal examen gevraagd, het schoolexamengedeelte bedraagt circa 40 procent. Voor deze analyse is een globale inschatting gemaakt van de studielast per examendomein. Daarvoor zijn drie veelgebruikte methodes vergeleken en hebben vijf docenten een inschatting gemaakt op basis van het gebruikte pta op hun school. Dit heeft inschatting opgeleverd in onderstaande tabel. Het aantal slu is ter indicatie en is geen officiële richtlijn.

Tabel 2 Globale inschatting van de studielast per examendomein havo en vwo gebaseerd op het oordeel van docenten

Domein	vmbo-gt	havo		vwo	
	Domein	Domein	slu	Domein	slu
A Vaardigheden	K2, K3, V1*, V2*, V4*	A, I	40	A, I	50
B1 Informatieoverdracht	K8	B1	35	B1	35
B2 Medische beeldvorming	K11	B2	45	B2	35
C1 Kracht en beweging	K9, V1*, V2	C1	85	C1	65
C2 Energieomzettingen	K6*, V1*	C2	35	C2	35
C3 Gravitatie (en heelal)	-	E1*	15	C3	25
D1 Elektriciteit	K5*	G1	45	D1	40
D2 Elektrische en magnetische velden	K5*	-	-	D2	35
E1 Eigenschappen van stoffen en materialen	K4, K6*, K10, K12	D1, D2	30	E1	30
E2 Elektromagnetische straling en materie	-	E1*	15	E2	30
F1 Quantumwereld	-	-	-	F1	35
H Natuurwetten en modellen	-	H	5	H	25
Keuzeonderwerpen**	K7	B3 / E2 / F / G2	2x25	E3 / F2 / G1 / G2	2x20
Totaal			400 SLU		480 SLU

* Dit domein komt hier gedeeltelijk terug.

** Uit deze vier subdomeinen worden er twee gekozen.

4.1.3 Analyse van het natuurkunde-programma

Het tweede deel van de analyse spitst zich toe op de overlap tussen de examenprogramma's. In de tabellen hieronder worden de syllabi van vmbo-gt, havo en vwo naast elkaar gelegd. Voor de structuur is ervoor gekozen om de domeinen van havo/vwo aan te nemen en daar het vmbo-gt-programma in te plaatsen, zodat duidelijk wordt waar het vmbo-gt-programma overlap heeft met havo en zodat ook gemakkelijk het verschil tussen havo en vwo aangetoond kan worden. De gekozen benamingen van concepten zijn vaak samenvattende benamingen van wat een leerling moet kennen of kunnen. Voor de volledigheid is het hele examenprogramma meegenomen, dat wil zeggen de schoolexamendomeinen en de centraal-examendomeinen.

Tabel 3: Domein A (Vaardigheden, onderzoeken en ontwerpen)

vmbo-gt K2: Basisvaardigheden [SE] & K3: Leervaardigheden in het vak natuurkunde & V1: Veiligheid in het verkeer (gedeeltelijk) & V2: Constructies (gedeeltelijk) & V4: Vaardigheden in samenhang
De kandidaat kan basisvaardigheden toepassen die betrekking hebben op communiceren, samenwerken, experimenteren en informatie verwerven en verwerken
informatie uit bronnenmateriaal selecteren, verwerken en bewerken: <ul style="list-style-type: none"> • tabellenboek, gegevensbank, gebruiksaanwijzing en technische handleiding • tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen • gegevensbestanden, cd-rom en internet
rekenvaardigheden binnen natuurkunde toepassen: <ul style="list-style-type: none"> • vooraf uitkomsten schatten bij het meten en rekenen en achteraf uitkomsten beoordelen • zakrekenmachine gebruiken voor optellen, aftrekken, vermenigvuldigen, delen en de functietoetsen gebruiken voor omgekeerde, kwadraat en wortel • rekenregels gebruiken • werken met positieve en negatieve machten van tien • verhoudingstabellen gebruiken • percentages berekenen • evenredige, lineaire en omgekeerd evenredige verbanden gebruiken
natuurkundige grootheden met symbool en de bijbehorende eenheden met afkorting gebruiken: <ul style="list-style-type: none"> • grootheden: lengte (weg, afstand, arm), snelheid, versnelling, oppervlakte, volume, massa, dichtheid, tijd (trillingstijd), toonhoogte (frequentie), stroomsterkte, spanning, weerstand, vermogen, kracht, druk, rendement, temperatuur, geluidssterkte (geluidsniveau)³, energie, bewegingsenergie, zwaarte-energie, elektrische energie, veer-energie of elastische energie, arbeid, moment, capaciteit
natuurkundige apparatuur herkennen en gebruiken: <ul style="list-style-type: none"> • apparaten: krachtmeter/veerunster, stemvork, luidspreker, microfoon, geluidssterktemeter, brander, dompelaar, thermometer, meetlint, maatglas, stopwatch, weegschaal, voedingsapparaat, schuifweerstand, stroommeter, spanningsmeter, vermogensmeter, kWh-meter, multimeter, transformator
de computer gebruiken: <ul style="list-style-type: none"> • gebruikmaken van meetprogramma's op de computer, metingen uitvoeren en resultaten verwerken en interpreteren • gebruikmaken van applets en simulatieprogramma's, deze programma's bedienen en de resultaten verwerken en interpreteren
berekeningen uitvoeren en redeneringen opzetten gebruikmakend van formules: <ul style="list-style-type: none"> • de eenheid bij een berekende grootheid aangeven • afgeleide eenheden herleiden tot eenheden van het SI-eenhedenstelsel

3 In lesmethoden wordt vaak geluidssterkte gebruikt, in Binas meestal geluidsniveau. In de examens wordt alleen geluidssterkte gebruikt.

veilige en onveilige situaties herkennen bij ontwerpen en onderzoek doen en bij onveilige situaties suggesties doen voor verbetering

de deelstappen van een ontwerpproces uitvoeren:

- een werkplan maken voor het uitvoeren van een ontwerp
- een ontwerp of een deel ervan bouwen
- ontwerpproces en product evalueren, rekening houdend met ontwerpeisen en randvoorwaarden
- voorstellen voor verbetering doen

de deelstappen van een onderzoek uitvoeren:

- onderzoek voorbereiden:
 - een onderzoeksvraag kiezen
 - benodigheden selecteren
 - alternatieven bedenken voor de uitvoering
- onderzoek uitvoeren:
 - een plan opstellen
 - werken volgens plan
 - waarnemingen verrichten
 - gegevens verzamelen
 - gegevens grafisch presenteren
 - conclusies trekken
- onderzoek afsluiten:
 - voorstellen voor verbetering doen
 - aanbevelingen voor verder onderzoek doen

uit bronnen over “bewegingen of botsingen” of “constructies”, gegevens verzamelen en verwerken

- bronnen: foto, videoregistratie, computersimulatie, gegevensbestand, internetpagina, applet, tekening, resultaten van proeven
- verwerkingsactiviteiten: meten, videometen, ontwerpen, berekenen, beredeneren, selecteren, tekenen, uitlezen

De kandidaat kan de vaardigheden uit het kerndeel in samenhang toepassen.

havo A: Vaardigheden

& I: Onderzoek en ontwerp

+ informatie uit bronnenmateriaal beoordelen

+ adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied

+ uitleggen wat bedoeld wordt met de significantie van meetwaarden en uitkomsten van berekeningen weergeven in het juiste aantal significante cijfers

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

+ natuurkundige apparatuur herkennen en gebruiken:

toongenerator, oscilloscoop, GM-teller, hefboom, luchtkussenbaan, stroboscoop, joulemeter, veer

+ rekenen met breuken, machten en wortels

+ oppervlakte en volume berekenen van geometrische vormen

+ wiskundige technieken toepassen, zoals:
herleiden van formules; redeneren met evenredigheden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch);
oplossen van lineaire en tweedegraads vergelijkingen; toepassen van x^n ; 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; grafisch optellen en ontbinden van vectoren; grafieken tekenen bij een meetserie;
functievoorschriften opstellen van lineaire verbanden; grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift; aflezen
van diagrammen, waaronder diagrammen met as-onderbrekingen; interpoleren en extrapoleren in diagrammen en
tabellen; tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen; de oppervlakte onder een grafiek bepalen;

+ berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren, zowel
met bekende formules als met formules gegeven in het examen

+ substitueren van formules

+ eenheden omrekenen, afleiden en controleren

+ specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties

+ fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische
begrippen

De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van
experimenten en de resultaten analyseren en interpreteren.

De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen onderzoek doen door middel van
modelstudies en de modeluitkomsten analyseren en interpreteren.

De kandidaat kan in contexten die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen op basis van een gesteld probleem
een ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren.

vwo A: Vaardigheden & I: Onderzoek en ontwerp

+ natuurkundige apparatuur herkennen en gebruiken: filters, spectroscop, elektroscop

+ modelleerprogrammatuur

+ absolute waarde toepassen

+ oplossen van twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden

+ toepassen van $\log x$, $\ln x$, e^{-ax} , e^{ax} , a^x , x^a , $\sin x$ en $\cos x$

+ significantieregels bij logaritme

+ functievoorschriften opstellen van evenredige verbanden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch) en
wortelverbanden

+ aflezen van diagrammen, waaronder logaritmische diagrammen en dubbellogaritmische diagrammen

+ differentiëren van lineaire en kwadratische functies, machtsfuncties, sinusfuncties en cosinusfuncties

+ 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

Bij domein A staat een basis aan vaardigheden onder de vmbo-gt-kop. Van havo en vwo domein I zijn geen duidelijke specificaties bekend. Het verschil zit vooral in het wiskundige niveau dat leerlingen kunnen toepassen bij het doen van onderzoek. Om het havo-examen af te leggen als vmbo-gt-leerlingen of het vwo-examen af te leggen als havoleerling, heeft de leerling dus vooral meer wiskundige kennis nodig. Domeinen A en I zijn daarom samengevoegd voor dit onderzoek.

Voor havo zijn de toevoegingen genoteerd ten opzichte van de vmbo-gt-syllabus. Een havist moet de significantieregels kunnen toepassen en veel meer wiskundige vaardigheden bezitten. De opgaven in het examen havo zijn vaak complexer en vragen meer rekenstappen dan in het examen vmbo-gt. Daarnaast moet een havist meer en nieuwe formules kunnen gebruiken voor berekeningen en redeneringen. Docenten hebben ingeschat dat het een extra tijdsinvestering vergt van ongeveer 20 uur van de vmbo-gt-leerling die een natuurkunde-examen op de havo wil afleggen.

Voor de vwo'ers gelden weer extra eindtermen ten opzichte van de havist. Een vwo'er moet nog meer wiskundige vaardigheden kunnen toepassen, zoals een coördinatentransformatie, differentiëren en het toepassen van de logaritmes en machten, wat op havo bij natuurkunde niet voorkomt. Ook wordt er veel vaker en formeler geredeneerd met grootheden in formules.

Op havo worden enkele onderwerpen al wel behandeld bij wiskunde B (zie bijlage 1), waardoor leerlingen met wiskunde B dus een lagere tijdsinspanning hoeven te leveren om examen te doen op vwo-niveau. Omdat in verschillende subdomeinen veel wiskundige vaardigheden nodig zijn, gaan we uit van havoleerlingen met wiskunde B. In dat geval schatten we de extra tijdsinvestering op 15 uur voor deze onderwerpen.

Tabel 4: Domein B1 (Informatieoverdracht)

vmbo-gt K8: Geluid
de begrippen hanteren die een geluid kenmerken: <ul style="list-style-type: none"> • toonhoogte, frequentie, amplitude, geluidssterkte;
uitleggen dat geluid ontstaat bij een geluidsbron, zich uitbreidt door een tussenstof en waargenomen kan worden door een ontvanger, hiervan toepassingen herkennen en berekeningen met de geluidssnelheid in verschillende tussenstoffen uitvoeren: <ul style="list-style-type: none"> • geluidsbronnen: stemvork, muziekinstrumenten, luidspreker, oortelefoon, machines, verkeer • geluidsontvanger: oor, microfoon, geluidsensor • toepassingen: ten minste: echo, echolood, echoscopie
de verandering van de toonhoogte/frequentie van een snaarinstrument in verband brengen met de lengte van en de spankracht van de snaar (kwalitatief)
aan de hand van een oscilloscoopbeeld of een beeld gemaakt met de computer de trillingstijd van een toon bepalen en de frequentie berekenen
metingen van geluidssterkte interpreteren en bronnen van geluidshinder aangeven: <ul style="list-style-type: none"> • geluidssterktemeter • computermetingen • dB(A)schaal • gehoorgrenzen (tussen 20 Hz en 20 kHz)

de mogelijke gezondheidsschade in verband brengen met de geluidsterkte en tijdsduur en suggesties doen voor maatregelen tegen geluidshinder

- ten minste: geluidswal, geluidsscherm, gehoorbeschermers, dubbele beglazing

de onderdelen van een luidspreker benoemen en hiermee de werking van de luidspreker uitleggen

$$s = v_{\text{geluid}} \cdot t$$

$$f = 1/T$$

havo B1: Informatieoverdracht

- + trillingsverschijnselen analyseren,
- vakbegrippen: uitwijking, amplitude, periode, harmonische trilling

- + berekeningen maken aan de eigentrilling van een massa-veersysteem,
- vakbegrippen: eigenfrequentie, resonantie

$$+ T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{c}}$$

- + golfverschijnselen analyseren,
- vakbegrippen: lopende golf, voortplantingssnelheid, geluidssnelheid, lichtsnelheid, transversaal, longitudinaal
- minimaal in de context: informatieoverdracht

$$+ v = f\lambda$$

- + bij een staande golf het verband tussen de golflengte en de lengte van het trillende medium met behulp van een tekening toelichten
- vakbegrippen: knoop, buik, grondtoon, boventoon
- minimaal in de context: muziekinstrumenten

- + uit (u,t) - en (u,x) -diagrammen de fysische eigenschappen van de trillingen en golven bepalen
- minimaal in de context: cardiogram

vwo B1: Informatieoverdracht

- + trillingsverschijnselen en golfverschijnselen grafisch weergeven
- aan de hand van een numeriek model het verband laten zien tussen de natuurkundige voorwaarde van een harmonische trilling (kracht evenredig met en tegengesteld gericht aan de uitwijking) en de wiskundige beschrijving ervan (sinusfunctie)
- vakbegrippen: fase, gereduceerde fase en faseverschil

$$+ \vec{F}_{\text{res}} = -C\vec{u}$$

$$+ v_{\text{max}} = \frac{2\pi A}{T}$$

$$+ u = A \sin\left(\frac{2\pi}{T}t\right), \text{ niet: uitrekenen van } t \text{ als } u \text{ gegeven is}$$

$$+ \Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}$$

$$+ \Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

+ bij een staande golf het verband tussen de golflengte en de lengte van het trillende medium analyseren

$$+ \ell = n \frac{\lambda}{2}$$

$$+ \ell = (2n - 1) \frac{\lambda}{4}$$

Om het examen te doen op havoniveau moet een vmbo-gt-leerling kunnen rekenen aan massa-veersystemen en golfsnelheden. Daarnaast komen staande golven aan bod. De bijbehorende tijdsinvestering wordt ingeschat op 20 uur.

Het examen vwo vraagt ten opzichte van havo een wiskundiger aanpak. Hierbij komt het nieuwe begrip fase, wat het conceptueel lastiger maakt. De fase staat bij domein B1 en is vooral ook nodig bij domein F. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 10 uur.

Tabel 5: Domein B2 (Medische beeldvorming)

vmbo-gt K11: Straling en stralingsbescherming [SE]

bronnen van ioniserende straling noemen

radioactief verval en toepassingen ervan beschrijven

veiligheidsmaatregelen tegen ongewenste effecten van straling en radioactieve stoffen beschrijven

havo B2: Medische beeldvorming

+ uitzending, voortplanting en opname van elektromagnetische straling beschrijven,

vakbegrippen: absorptie, emissie, elektromagnetische golf, foton

$$+ E_{\text{f}} = hf$$

$$+ c = f\lambda$$

+ de verschillende soorten ioniserende straling, hun ontstaan en hun eigenschappen benoemen, evenals de risico's van deze soorten straling voor mens en milieu, en berekeningen maken met (equivalente) dosis

- de activiteit op een bepaald moment bepalen uit een (N,t)-diagram en de gemiddelde activiteit berekenen
- de vergelijking opstellen van een vervalreactie ⁴
- vakbegrippen: stralingsbron, radioactief verval, isotoop, kern, proton, neutron, elektron, atomaire massa-eenheid, ioniserend en doordringend vermogen, dracht, röntgenstraling, α -, β -⁵ en γ -straling, kosmische straling, achtergrondstraling, bestraling, besmetting, effectieve totale lichaamsdosis in relatie tot stralingsbeschermingsnormen, dosimeter, eV
- minimaal in de context: nucleaire diagnostische geneeskunde, stralingsbescherming

$$+ A = -\left(\frac{\Delta N}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

⁴ Het betreft hier alleen vergelijkingen van spontane vervalreacties.

⁵ Alleen β^- hoeft gekend te worden. Als in een examen over β -straling wordt gesproken, dan wordt ook β^- -straling bedoeld.

$$+ A_{gem} = - \frac{\Delta N}{\Delta t}$$

$$+ D = \frac{E}{m}$$

$$+ H = w_R D$$

$$+ A = N + Z$$

- + problemen oplossen waarbij de halveringstijd of halveringsdikte een rol speelt
- berekeningen maken alleen bij een geheel aantal halveringstijden of halveringsdiktes
- vakbegrippen: doorlaatkromme, vervalkromme
- minimaal in de context: medische diagnostiek

$$+ A = A_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n, \text{ met } n = \frac{t}{t_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is}$$

$$+ N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n, \text{ met } n = \frac{t}{t_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is}$$

$$+ I = I_0 \left(\frac{1}{2}\right)^n, \text{ met } n = \frac{d}{d_{1/2}}, \text{ berekeningen alleen als } n \text{ een geheel getal is}$$

- + medische beeldvormingstechnieken aan de hand van hun natuurkundige achtergrond beschrijven, voor- en nadelen van deze technieken noemen en op grond daarvan in gegeven situaties een keuze voor een techniek beargumenteren ⁶
- beeldvormingstechnieken: röntgenopname, CT-scan, MRI-scan, echografie en nucleaire diagnostiek

natuurkundige achtergronden: halveringsdikte van menselijke weefsels, magnetisch veld en resonantie, ultrasone geluidsgolf, geluidssnelheid in menselijke weefsels, absorptie, transmissie, terugkaatsing, tracer

vwo B2: Medische beeldvorming

- + de vergelijking opstellen van een kernreactie

$$\rightarrow A_{gem} = - \frac{dN}{dt}$$

$$+ A = \frac{\ln 2}{t_{1/2}} N$$

- + problemen oplossen waarbij de halveringstijd of halveringsdikte een rol speelt, ook voor situaties waarbij n geen geheel getal is

Dit domein komt niet voor op vmbo-gt. Een vmbo-gt-leerling moet dus het hele domein bestuderen om examens te doen op havoniveau. In dit domein wordt er regelmatig gevraagd meer stappen achter elkaar te zetten, waardoor de strategie vooraf bepaald moet worden. Daarnaast vergt het opzoekvaardigheden in het tabellenboek en moeten er veel eenheden omgerekend worden. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 40 uur.

Voor een havoleerling die examens wil doen op vwo-niveau, komen er kernreacties en extra wiskundige formules bij. Daarnaast hoeft er bij berekeningen met halveringstijden of -diktes niet exact een geheel aantal tijden of diktes gebruikt te zijn. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we in op 5 uur.

⁶ Kandidaten hoeven kennis en vaardigheden uit specificatie B2.4 niet wendbaar te kunnen toepassen.

Tabel 6: Domein C1 (Kracht en beweging)

vmbo-gt K9: Kracht en veiligheid & V1: Veiligheid in het verkeer (gedeeltelijk) & V2: Constructies
verschillende soorten krachten herkennen en hiervan de werking en toepassing beschrijven krachten: spierkracht, veerkracht, spankracht, zwaartekracht, wrijvingskracht, magnetische kracht, elektrische kracht <ul style="list-style-type: none"> • grootte en richting • vectorvoorstelling • kracht meten met veerunster of krachtsensor
bij hefboomen in evenwicht uitleggen op welke manier met een kleine kracht een grote kracht wordt uitgeoefend en omgekeerd, en hiervan voorbeelden kennen <ul style="list-style-type: none"> • ten minste: tang, klauwhamer, breekijzer, steekwagen, steek-/ringsleutel, momentsleutel
uitleggen hoe bij een katrol de richting van de kracht omgekeerd kan worden en de grootte van de kracht verminderd kan worden <ul style="list-style-type: none"> • vaste katrol • losse katrol • takels
de gemiddelde snelheid berekenen van een bewegend voorwerp
(s,t)- en (v,t)-diagrammen van bewegingen maken en in samenhang interpreteren <ul style="list-style-type: none"> • bewegingen met constante snelheid: eenparig versnelde bewegingen, eenparig vertraagde bewegingen, andere bewegingen
de krachten herkennen en samenstellen die een rol spelen bij een beweging langs een rechte weg <ul style="list-style-type: none"> • aandrijfkracht en remkracht • tegenwerkende krachten: luchtwrijving, rolwrijving • nettokracht
verschijnselen van traagheid verklaren die zich bij snelheidsverandering voordoen
de werking van constructies uitleggen die de nadelige effecten van een botsing verminderen <ul style="list-style-type: none"> • ten minste: veiligheidsgordel, veiligheidshelm, kreukelzone, hoofdsteun, kooiconstructie, airbag
omstandigheden herkennen die invloed hebben op de veiligheid tijdens het rijden <ul style="list-style-type: none"> • ten minste: reactietijd, rijsnelheid, staat van de banden en van het wegdek, weersomstandigheden
de druk van een voorwerp berekenen <ul style="list-style-type: none"> • ten minste bij: veiligheidsgordel, veiligheidshelm, rijplaten, rupsband, tractorbanden, mes, punaise
$v_{gem} = s / t$
$stopafstand = reactieafstand + remweg$
$p = F / A$

$$F_z = m \cdot g$$

berekeningen maken en redeneringen uitvoeren waarbij natuurkundige begrippen en formules worden toegepast in situaties van verkeer en veiligheid (zie ook domein C2)

- begrippen: snelheid, vertraging/versnelling, kracht
- contexten: ten minste: veiligheidsgordel, airbag, valhelm, kreukelzone, kooiconstructie, hoofdsteun

$$s = v \cdot t$$

$$a = \Delta v / \Delta t$$

$$F = m \cdot a$$

in constructies optredende krachten onderscheiden, hierbij aangeven welke krachten op welk voorwerp worden uitgeoefend en de nettokracht op een voorwerp aangeven of berekenen

een kracht weergeven als een vector en hiermee krachten samenstellen en ontbinden in constructies

de ligging van het massamiddelpunt bij een homogene balk en staaf bepalen en weten dat in dat punt de resultante van de zwaartekracht aangrijpt

berekeningen maken en redeneringen uitvoeren waarbij natuurkundige begrippen en formules worden toegepast in constructies

- begrippen: veerkracht en zwaartekracht, spankracht, trekkracht, duwkracht, massamiddelpunt, moment van een kracht, momentenwet bij evenwicht
- contexten: ten minste: woningbouw, voertuigen, bruggen, grote en kleine ophangsystemen

$$F_z = m \cdot g$$

$$M = F \cdot l$$

$$M \text{ linksom} = M \text{ rechtsom}$$

havo C1: Kracht en beweging

+ berekeningen maken aan eenparige rechtlijnige bewegingen

$$\rightarrow s = vt, \text{ met } v \text{ constant}$$

+ eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijd diagrammen en snelheid-tijd diagrammen

- de volgende bewegingen herkennen: eenparige rechtlijnige beweging, eenparig versnelde of vertraagde beweging, vrije val, valbeweging met wrijving
- uit een (x,t) -diagram de gemiddelde snelheid bepalen
- uit een (x,t) -diagram de snelheid op een bepaald moment bepalen, zo nodig met behulp van een raaklijn
- uit een (v,t) -diagram de (val)versnelling op een bepaald moment bepalen, zo nodig met behulp van een raaklijn
- uit een (v,t) -diagram de verplaatsing en de gemiddelde snelheid bepalen met behulp van de oppervlakte onder de kromme

$$+ v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$\rightarrow a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$+ v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

$$+ a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$+ v = \left(\frac{\Delta x}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

$$+ a = \left(\frac{\Delta v}{\Delta t}\right)_{\text{raaklijn}}$$

+ krachten op een systeem aan de hand van een vectortekening analyseren, waaronder het samenstellen van en ontbinden in componenten met behulp van een parallellogram en het bepalen van de grootte en/of richting van krachten uit een vectortekening ⁷

- krachten: zwaartekracht, schuifwrijvingskracht, rolweerstandskracht, luchtweerstandskracht, normaalkracht, spankracht, spierkracht, veerkracht

$$+ F_v = Cu$$

+ de eerste wet van Newton uitleggen en toepassen

+ de tweede wet van Newton uitleggen en toepassen

$$\rightarrow F_{\text{res}} = ma$$

+ de momentenwet/hefboomwet toepassen op stilstaande voorwerpen; berekeningen

alleen in situaties waarbij twee krachten werken waarvan de werklijnen niet door het draaipunt gaan

- vakbegrippen: zwaartepunt, aangrijpingspunt, werklijn, arm, moment
- minimaal in de context: menselijk lichaam

$$\rightarrow F_1 r_1 = F_2 r_2$$

vwo C1: Kracht en beweging

+ inzicht dat de snelheid de afgeleide is van de plaats naar de tijd

$$\rightarrow v = \frac{dx}{dt}$$

+ inzicht dat de versnelling de afgeleide is van de snelheid naar de tijd

$$\rightarrow a = \frac{dv}{dt}$$

+ krachten op een systeem analyseren met behulp van goniometrische relaties

$$\rightarrow \vec{F}_z = m\vec{g}$$

$$+ F_{(w,l)} = \frac{1}{2} \rho c_w A v^2$$

⁷ Van leerlingen wordt niet verwacht dat zij hier aan kunnen rekenen met behulp van goniometrische functies.

$$+ F_{(w,s,max)} = fF_N$$

+ vakbegrip: traagheid

$$\rightarrow \vec{F}_{res} = \sum_i \vec{F}_i = m\vec{a}$$

- + de derde wet van Newton uitleggen en toepassen
- vakbegrippen: actiekracht, reactiekracht, gewicht

$$+ \vec{F}_{AB} = -\vec{F}_{BA}$$

+ op grond van een analyse van krachten een geschikt numeriek model voor een beweging kiezen en het model gebruiken om de beweging te analyseren

De onderwerpen katrollen, traagheid, botsingen, verkeer en druk komen niet terug in het havo-programma. Een vmbo-gt-leerling die examen doet op havoniveau zou deze onderwerpen kunnen overslaan en hiermee ongeveer 10 uur besparen.

Een vmbo-gt-leerling die examen doet op havoniveau moet zich vooral meer wiskundige vaardigheden eigen maken. Denk bijvoorbeeld aan het bepalen van de versnelling met een raaklijn. Ook worden vaak complexere rekenvragen gesteld met meer stappen. Daarnaast moeten havisten krachten kunnen samenstellen en ontbinden in verschillende richtingen. Tot slot komen de wetten van Newton erbij. De bijbehorende tijdsinvestering wordt ingeschat op 20 uur.

Om examen te doen op vwo-niveau moet een havoleerling de afgeleide kunnen gebruiken. Daarnaast worden formules meer als vectorformules gebruikt, moeten krachten wiskundig ontbonden kunnen worden met goniometrie en komt de derde wet van Newton erbij.

Het gebruik van numerieke modellen wordt in domein H besproken. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 10 uur. Het onderwerp hefboomen komt niet terug in het vwo-programma. Een havoleerling die examen doet op vwo-niveau kan de vrijgekomen tijd hiervoor gebruiken.

Tabel 7: Domein C2 (Energieomzettingen)

vmbo-gt K6: Verbranden en verwarmen (gedeeltelijk)
& V1: Veiligheid in het verkeer (gedeeltelijk)

toelichten dat de ene vorm van energie omgezet kan worden in een andere vorm van energie en hierover berekeningen uitvoeren

- bewegings-, zwaarte-, warmte-, elektrische, chemische, stralings-, kern-, veer- of elastische energie
- verbrandingswarmte
- wet van behoud van energie
- rendement

$$E_{bcw} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

$$E_{el} = P_{el} \cdot t$$

$$\eta = E_{af} / E_{op} = P_{af} / P_{op}$$

berekeningen maken en redeneringen uitvoeren waarbij natuurkundige begrippen en formules worden toegepast in situaties van verkeer en veiligheid (zie ook domein C1)

- begrippen: arbeid, bewegingsenergie, zwaarte-energie, vermogen
- contexten: ten minste: veiligheidsgordel, airbag, valhelm, kreukelzone, kooiconstructie, hoofdsteun

$$W = F \cdot s$$

$$E_{bew} = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

$$E_z = m \cdot g \cdot h$$

$$P = E / t$$

havo C2: Energieomzettingen

- + berekeningen maken met betrekking tot kracht, verplaatsing, arbeid, snelheid en vermogen
- berekenen van arbeid uit kracht en verplaatsing alleen in situaties waarin de richting van de kracht evenwijdig is aan de verplaatsing

+ energieomzettingen bij bewegingen analyseren

- de wet van behoud van energie en de relatie tussen arbeid en kinetische energie toepassen
- minimaal de bewegingen: vrije val, valbeweging met wrijving en verticale worp
- energieën: kinetische energie, zwaarte-energie, chemische energie, warmte
- vakbegrip: wrijvingsarbeid
- minimaal in de contexten: energiegebruik en energiebesparing in het verkeer, de bewegende mens

$$+ P = \frac{W}{t}$$

$$+ P = Fv$$

$$+ E_{ch} = r_v V$$

$$+ E_{ch} = r_m m$$

$$+ W_{tot} = \Delta E_k$$

$$+ E_{tot,in} = E_{tot,uit}$$

$$\rightarrow \eta = \frac{E_{nuttig}}{E_{in}} = \frac{P_{nuttig}}{P_{in}}$$

vwo C2: Energie en wisselwerking

- + de arbeid bepalen uit een kracht-verplaatsingsdiagram

$$+ W = Fs \cos \alpha$$

- + energieomzettingen bij een trilling en stuiterbeweging analyseren
- energieën: veerenergie
- vakbegrip: potentiële energie, (positieve en negatieve) arbeid, wrijvingsarbeid, periodieke beweging

$$+ E_v = \frac{1}{2} Cu^2$$

$$\rightarrow \sum W = \Delta E_k$$

$$\rightarrow \sum E_{in} = \sum E_{uit}$$

Om examen te doen op havo-niveau moet de vmbo-gt-leerling aanleren om wiskundiger te rekenen met energieën. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 15 uur.

Een havoleerling moet om examen te doen op vwo-niveau, leren hoe arbeid onder een hoek berekend wordt en zich het begrip veerenergie eigen maken. Ook worden de energiewetten wiskundiger ingezet. De bijbehorende extra tijdsinvestering schatten we op 15 uur.

Tabel 8: Domein C3 (Gravitatie en heelal)

vmbo-gt
Zit niet in het examenprogramma.
havo E1: Zonnestelsel en heelal (gedeeltelijk)
<p>cirkelbewegingen met constante baansnelheid analyseren</p> <ul style="list-style-type: none"> • berekeningen maken aan de middelpuntzoekende kracht, alleen in situaties waarin slechts één kracht de rol van middelpuntzoekende kracht heeft • vakbegrippen: omlooptijd, baanstraal, baansnelheid
$F_{mpz} = \frac{mv^2}{r}$
$v = \frac{2\pi r}{T}$
<p>de baan van planeten om de zon en van maan en satellieten om de aarde analyseren met behulp van de gravitatiekracht</p> <ul style="list-style-type: none"> • uitleggen hoe de valversnelling aan het planeetoppervlak afhangt van de massa en de straal van de planeet • vakbegrippen: ellipsbaan, geostationaire baan
$F_g = G \frac{mM}{r^2}$
de verschillen tussen het heliocentrisch en het geocentrisch wereldbeeld benoemen en daarbij aangeven wat de invloed van deze verandering van het wereldbeeld op het menselijk denken is geweest
vwo C3: Gravitatie
<ul style="list-style-type: none"> + bewegingen van voorwerpen in een gravitatieveld analyseren met behulp van de gravitatiekracht en de gravitatie-energie • aan de hand van een numeriek model de bewegingen van planeten, kometen en andere hemellichamen analyseren • het verband toepassen tussen ontsnappingsnelheid en de massa en straal van een hemellichaam • vakbegrippen: gravitatiewisselwerking • minimaal in de contexten: maan, planeet, satelliet
$+ E_g = -G \frac{mM}{r}$

Dit domein komt in het programma vmbo-gt niet voor. Voor een examen op havoniveau moet de vmbo-gt-leerling dus dit complete domein extra doen. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 20 uur.

Het vwo-programma is ten opzichte van havo uitgebreid met de gravitatie-energie. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 5 uur. Daarnaast wordt er ook bij dit domein op vwo regelmatig een wiskundiger aanpak gehanteerd, waarbij meerdere formules gecombineerd worden in berekeningen en redeneringen. Er is echter ook stof in het havo-programma die niet terugkomt in het vwo-programma. We schatten in dat hierbij ongeveer evenveel tijd vrijkomt als nodig is voor de extra's.

Tabel 9: Domein D1 (Elektriciteit)

vmbo-gt K5: Elektrische energie (gedeeltelijk)
<p>in elektrische schakelingen de onderdelen naar aard en functie onderscheiden en de symbolen ervan herkennen ten minste de volgende schakelingen: huisinstallatie, elektrisch circuit van voertuigen, spanningsbron en 'aarde', verbindingsdraden</p> <p>componenten: weerstand, ntc, ldr, led en diode, schakelaar, drukschakelaar, reedcontact, relais, transistor als schakelaar, actuator zoals motor of lamp, transformator</p> <p>meetinstrumenten: spanningsmeter, stroommeter, multimeter, kWh-meter, vermogensmeter</p>
<p>het principe van een gesloten stroomkring toepassen in serie- en parallelschakelingen</p>
<p>uitleggen hoe een stroomkring beveiligd kan worden en op welke principes de beveiliging berust</p> <ul style="list-style-type: none"> • onderdelen: hoofdzekering, groepszekering, aardlekschakelaar, randaarde, 'dubbele' isolatie
<p>het onderscheid uitleggen tussen geleiders en isolatoren in praktische toepassingen</p>
<p>schema's van schakelingen gebruiken, interpreteren en aanpassen, en de werking van de componenten verklaren</p> <ul style="list-style-type: none"> • ten minste van: inbrekersalarm, automatische deurbediening, elektronische temperatuursensor, schemerschakeling, dimmer, discolichten
<p>in serieschakelingen en in parallelschakelingen een relatie leggen tussen spanning en stroom en hiermee berekeningen uitvoeren</p>
<p>de gebruikstijd van een batterij/accu bepalen aan de hand van de capaciteit</p>
<p>het vermogen van apparaten, het totale vermogen en het energieverbruik berekenen in serieschakelingen en in parallelschakelingen</p>
<p>het totale energiegebruik van elektrische apparaten meten met een kWh-meter en energiekosten berekenen</p> <ul style="list-style-type: none"> • kWh • joule
<p>een beargumenteerde keuze maken uit gelijksoortige elektrische apparaten ten aanzien van energiegebruik, rendement, capaciteit, levensduur en veiligheid</p> <ul style="list-style-type: none"> • ten minste: spaarlampen, leds, accu's, huishoudelijke apparaten, moderne apparaten (bijv. dvd-speler, lcd-schermen)
$R = U / I$
$P = U \cdot I$

$$E_{el} = P_{el} \cdot t$$

$$\text{Serie: } R_v = R_1 + R_2 + \dots$$

$$\text{Parallel: } 1 / R_v = 1 / R_1 + 1 / R_2 + \dots$$

$$\text{Totale weerstand: } R_t = R_v \text{ (= vervangingsweerstand)}$$

$$C = I \cdot t$$

havo G1: Gebruik van elektriciteit

- + het verschijnsel elektrische stroom uitleggen als verplaatsing van lading ten gevolge van een aangelegde spanning
- de definities van stroomsterkte en soortelijke weerstand gebruiken
- vakbegrippen: vrij elektron, ion, afstotende en aantrekkende elektrische kracht, spanningsbron

$$+ G = \frac{1}{R} \quad I = GU$$

$$+ G = \frac{Q}{t} \quad \rho = \frac{RA}{l}$$

- + stroomkringen analyseren en daarbij voor serie- en parallelschakelingen van weerstanden berekeningen maken over spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid
- bij gemengde schakelingen alleen beredeneren en eenvoudige berekeningen maken
- de juiste aansluitwijze van stroommeter en spanningsmeter toepassen
- de volgende componenten toepassen binnen een schakeling: diode, LDR, NTC, PTC, ohmse weerstand, lamp, motor, verwarmingselement, zekering, aardlekschakelaar
- vakbegrippen: stroomdeling, spanningsdeling, kortsluiting

+ voor een serieschakeling:

$$U_{\text{tot}} = U_1 + U_2 + \dots \quad I_{\text{tot}} = I_1 = I_2 = \dots \quad R_{\text{tot}} = R_1 + R_2 + \dots$$

voor een parallelschakeling:

$$U_{\text{tot}} = U_1 = U_2 = \dots \quad I_{\text{tot}} = I_1 + I_2 = \dots \quad G_{\text{tot}} = G_1 + G_2 + \dots$$

- + het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring analyseren
- berekeningen aan elektrische energie in joule en in kilowattuur
- minimaal in de contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, led, elektromotor, verwarmingselement en kWh-meter), energiegebruik, energiebesparing

$$+ P = UI \quad E = Pt$$

$$+ \eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}} = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{in}}}$$

de energie-omzetting bij verschillende opwekkingsvormen van elektriciteit beschrijven, en deze opwekkingsvormen vergelijken ten aanzien van duurzaamheid en energiedichtheid⁸

- opwekkingsvormen: kerncentrale, conventionele fossielebrandstofcentrale, waterkrachtcentrale, zonnecel, waterstofcel, windturbine
- apparaat: generator

8 Kandidaten hoeven de kennis uit specificatie G1.4 niet wendbaar te kunnen toepassen.

verschillende vormen van transport en opslag van elektriciteit beschrijven⁹

- opslagvormen: batterij, accu, waterstofcel
- apparaat: transformator
- vakbegrip: energiedichtheid van een accu, capaciteit

vwo D1: Elektrische systemen

+ vakbegrip: elementaire lading, spanningsbron, batterij, accu

$$+ U = \frac{\Delta E}{Q}$$

+ de wetten van Kirchhoff toepassen als wetten voor behoud van stroomsterkte in een punt en van spanning in een kring

+ voor een punt in een schakeling:

$$\sum_i I_i = 0$$

voor een stroomkring:

$$\sum_i U_i = 0$$

Op havo wordt ten opzichte van vmbo vooral meer gerekend met stroomkringen met diverse formules. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 20 uur. De onderwerpen die op het vmbo-gt wel aan bod komen maar bij de havo niet, kunnen wellicht ondergebracht worden onder het keuzeonderwerp technische automatisering. Hierdoor kan een leerling het volledige vmbo-programma volgen en kost het havo-keuzeonderwerp minder tijd.

Een havoleerling moet de formele wetten van Kirchhoff leren om examen te kunnen doen op vwo-niveau. De bijbehorende tijdsinvestering voor dit domein schatten we op 5 uur.

Tabel 10: Domein D2 (Elektrische en magnetische velden)

vmbo-gt K5: Elektrische energie (gedeeltelijk)

basisbegrippen van magnetisme kennen en toepassen bij de dynamo, transformator, luidspreker, relais en reedcontact

- permanente magneet
- noord- en zuidpool
- aantrekking en afstoting tussen polen
- veldlijnen
- spoel
- weekijzeren kern
- elektromagneet

de onderdelen van een dynamo benoemen en beschrijven hoe hiermee elektrische energie kan worden opgewekt

de onderdelen van een transformator benoemen, hiermee de werking van de transformator uitleggen en toepassingen geven

- primaire en secundaire kring
- transformatie van spanning
- overdracht van vermogen
- toepassingen ten minste: adapter, halogeenverlichting, elektriciteitstransport

⁹ Kandidaten hoeven de kennis uit specificatie G1.5 niet wendbaar te kunnen toepassen.

$$n_p / n_s = U_p / U_s$$

havo D1: Eigenschappen van stoffen en materialen (gedeeltelijk)

+ vakbegrip: afstotende en aantrekkende elektrische kracht (zie ook domein elektriciteit)

vwo D2: Elektrische en magnetische velden

- + een elektrisch veld beschrijven als gevolg van de aanwezigheid van elektrische lading
- richting van het elektrisch veld bepalen
- vakbegrippen: homogeen en radiaal elektrisch veld, veldlijn

$$+ F_{cl} = f \frac{qQ}{r^2} \quad \vec{F}_{cl} = q\vec{E}$$

- + het verband tussen spanning en kinetische energie toepassen op een geladen deeltje in een homogeen elektrisch veld
- elektrische energie als vorm van potentiële energie gebruiken
- eenheid elektronvolt uitleggen
- ten minste in de contexten: röntgenbuis, lineaire versneller

$$+ \Delta E_k = -\Delta E_{cl} \quad \Delta E_{cl} = qU$$

- + een magnetisch veld beschrijven als gevolg van de aanwezigheid van bewegende elektrische lading
- richting van het magnetisch veld bepalen bij een permanente magneet, een rechte stroomdraad en een spoel
- vakbegrippen: homogeen en inhomogeen magnetisch veld, veldlijn, elektromagneet
- ten minste in de context: aardmagnetisch veld

- + het effect van een magnetisch veld op een elektrische stroom en op bewegende lading beschrijven
- grootte en richting van de lorentzkracht bepalen
- ten minste in de contexten: elektromotor, luidspreker

$$+ F_L = BI\ell \quad F_L = Bqv$$

- + elektromagnetische inductieverschijnselen in verschillende situaties analyseren gebruikmaken van de definitie van flux
- toepassen van het inzicht dat de inductiespanning recht evenredig is met het aantal windingen en met de fluxverandering per tijdseenheid
- ten minste in de volgende situaties: een bewegende magneet in een spoel en een draaiend draadraam in een homogeen magneetveld
- ten minste in de contexten: dynamo, microfoon

$$+ \Phi = B_{\perp} A$$

$$+ U_{ind} \propto N \quad U_{ind} \propto \frac{d\Phi}{dt}$$

Dit domein is voor de verschillende niveaus erg verschillend ingericht. Op vmbo-gt wordt meer verwacht dan op de havo. Op vwo wordt nog meer verwacht, maar dan wel andere concepten.

Een vmbo-gt-leerling die examen doet op havoniveau kan bij dit domein tijd vrij maken uit het vmbo-gt-programma. Geen van deze onderdelen komt namelijk terug op havo. De vrij te maken tijd wordt ingeschat op 10 uur.

Een havist die examen doet op vwo-niveau moet praktisch het hele domein bestuderen. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 35 uur.

Tabel 11: Domein E1 (Eigenschappen van stoffen en materialen)

vmbo-gt K4: Stoffen en materialen & K6: Verbranden en verwarmen (gedeeltelijk) & K10: Bouw van de materie [SE] & K12: Het weer [SE]
een verband leggen tussen soorten materialen, hun eigenschappen en praktische toepassingen in het dagelijks leven en bij beroepssituaties <ul style="list-style-type: none"> soorten materialen: hout, kunststof, metaal, steen, beton, glas eigenschappen: geleiding van warmte, geleiding van elektriciteit, geleiding van geluid, dichtheid, uitzetting en inkrimping, verspaanbaarheid, mogelijkheid tot verbinden en samenstellen, corrosiebestendigheid, vervormen praktische toepassingen: bij het ontwerpen, bouwen en repareren ten minste van: woningen, apparaten, meubels, kleding, voertuigen
uitleggen wanneer een voorwerp zinkt, zweeft of drijft <ul style="list-style-type: none"> dichtheid
$\rho = m / V$
stoffen herkennen aan de hand van ten minste de volgende eigenschappen: fase (vast, vloeibaar of gasvormig) bij normale druk en temperatuur, kleur, geur, oplosbaarheid in water, kookpunt, smeltpunt, geleiding van elektriciteit, dichtheid
uitleggen welke gevaren het gebruik van bepaalde stoffen met zich meebrengt, hoe deze gevaren worden aangegeven en hoe deze gevaren zijn tegen te gaan <ul style="list-style-type: none"> gebruik van veiligheidskaarten voorzorgsmaatregelen nemen: beschermingsbril, labjas, plastic handschoenen gifwijzer pictogrammen: schadelijk of irriterend, explosief, bijtend, ontvlambaar, giftig, niet mengen, brandbevorderend
uitleggen hoe bij de keuze van stoffen en materialen rekening kan worden gehouden met effecten voor het milieu <ul style="list-style-type: none"> grondstoffen productie transport recycling afvalverwerking
uitleggen wat de gevolgen zijn voor het milieu van het gebruik van grondstoffen en de productie van afvalstoffen <ul style="list-style-type: none"> bodem-, lucht- en waterverontreiniging lozing en verwerking uitputting van natuurlijke bronnen duurzaamheid
manieren noemen om verantwoord met afval om te gaan <ul style="list-style-type: none"> scheiden en hergebruik: glas, batterijen, kleding, papier, gft, kca composteren storten verbranden

ten minste de volgende processen uit het dagelijkse leven herkennen als een

- natuurkundig proces of een chemische reactie:
- natuurkundig proces: faseovergangen
- chemische reactie: voedselbereiding, roesten, verbranding, uitharden van beton, lijmen, carbid

de volgende warmtebronnen en meetinstrumenten herkennen:

- warmtebronnen: kachel, cv, fornuis, vloerverwarming, gasbrander, elektrische kookplaat, elektrische dorpelaar
- meetinstrumenten: thermometer, temperatuursensor

uitleggen hoe transport van warmte plaatsvindt

- geleiding
- stroming
- straling

temperatuur, tijd en warmte op de volgende manieren gebruiken:

- het verband tussen temperatuur en tijd en warmte toepassen
- absolute nulpunt
- omrekenen van waarden tussen temperatuurschalen Kelvin en Celsius

$$T(\text{K}) = t(^{\circ}\text{C}) + 273$$

de werking van warmte-isolerende maatregelen uitleggen

- ten minste bij: isoleerkan, spouwmuurisolatie, bouwmaterialen, radiatorfolie, handgrepen van pannen, dubbele beglazing

de milieu- en gezondheidseffecten noemen die kunnen optreden als gevolg van energiegebruik

- ten minste: luchtverontreiniging, zure regen, broeikaseffect, thermische verontreiniging, irritatie en beschadiging van slijmvliezen, ogen en luchtwegen

de bouw van stoffen en materialen beschrijven in termen van moleculen en atomen

het gedrag van atomen en moleculen in de verschillende fasen uitleggen

de bouw van een atoom beschrijven

het meten van temperatuur en luchtdruk

het ontstaan van wolken, neerslag en bliksem beschrijven

maatschappelijke aspecten van weersverschijnselen toelichten

havo D1: Eigenschappen van stoffen en materialen

& D2: Functionele materialen [SE]

- + het moleculaire model van materie gebruiken bij het verklaren van fasen en faseovergangen
- vakbegrippen: gas, vloeistof, vaste stof, smelten, stollen, verdampen, condenseren, sublimeren

- + warmtetransport verklaren met behulp van materiemodellen
- het verband tussen de warmtestroom en de thermische geleidbaarheid van een stof uitleggen en eenvoudige berekeningen aan de warmtestroom¹⁰ maken
- vakbegrippen: geleiding, stroming, straling
- ten minste in de context: energiebesparing door isolatie

$$+ P = \lambda A \frac{\Delta T}{d}$$

- + temperatuurveranderingen van een stof beschrijven als gevolg van het toe- of afvoeren van warmte
- temperatuur beschrijven in termen van beweging van deeltjes en uitleggen dat er een absoluut nulpunt bestaat
- soortelijke warmte als stoffeigenschap
- omrekenen van graden Celcius naar Kelvin en omgekeerd

$$+ Q = cm\Delta T$$

- + het verband tussen de dichtheid en de soortelijke warmte bij metalen beschrijven en verklaren
- vakbegrip: atomaire massa

- + het verband tussen de warmtegeleiding en elektrische geleiding bij metalen beschrijven en verklaren
- vakbegrip: geleidingselektron

- + spanning-rekdiagrammen interpreteren in termen van elastische en plastische vervorming en berekeningen maken aan elastische vervormingen
- vakbegrip: treksterkte (de maximale spanning waarbij nog geen breuk optreedt)

$$+ \sigma = \frac{F}{A} \quad \varepsilon = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \quad E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

- + functionele materialen

vwo E1: Eigenschappen van stoffen en materialen [SE]

De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.

Een groot deel van de eindtermen voor vmbo-gt komt niet terug voor havo. Hier kan een vmbo-gt-leerling die examens wil doen op havoniveau bezuinigen en de vrijgekomen tijd gebruiken voor het bestuderen van de havostof. De tijd die hiermee vrijgemaakt wordt, wordt ingeschat op 20 uur.

In het havo-examen moet de vmbo-gt-leerling moleculaire modellen kunnen gebruiken en kunnen rekenen aan warmte, warmtetransport en spanning en rek. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 30 uur.

In de vwo-syllabus wordt geen nadere specificatie gegeven voor dit schoolexamen-onderwerp. In de eindterm worden deeltjesmodellen genoemd. We schatten de extra tijdsinvestering voor een havoleerling om examens te doen op vwo-niveau voor dit domein nihil.

¹⁰ Onder warmtestroom wordt verstaan: de hoeveelheid warmte die per tijdseenheid door een wand gaat. Hierbij mag de invloed van de luchtlagen aan weerszijden van de wand verwaarloosd worden.

Tabel 12: Domein E2 (Elektromagnetische straling en materie)

vmbo-gt
Zit niet in het examenprogramma.
havo E1: Zonnestelsel en heelal (gedeeltelijk)
<p>de structuur van het zonnestelsel beschrijven</p> <ul style="list-style-type: none"> • waarnemingen van maanfasen en de hemelbaan van zon, maan en sterren interpreteren • vakbegrippen: planeet, komeet, meteoriet
<p>het ontstaan, de structuur en de ontwikkeling van het heelal beschrijven</p> <ul style="list-style-type: none"> • uitleggen hoe de afstand van een ster tot de waarnemer en de tijd tussen uitzenden en waarnemen van het licht van de ster met elkaar samenhangen • structuren: cluster, sterrenstelsel, planetenstelsel • vakbegrippen: oerknal, uitdijend heelal, lichtsnelheid, lichtjaar, Melkweg, zonnestelsel
<p>beschrijven hoe in het totale spectrum van elektromagnetische straling waarnemingen aan het heelal worden verricht vanaf de aarde en vanuit de ruimte en dat een deel van die elektromagnetische straling afkomstig is van de warmtestraling van de zon en andere sterren</p> <ul style="list-style-type: none"> • de verschillende onderdelen van het elektromagnetisch spectrum en de eigenschappen van deze stralingssoorten beschrijven: gammastraling, röntgenstraling, ultraviolet, (zichtbaar) licht, infrarood, radiogolven, microgolven • de wet van Wien gebruiken • instrumenten: optische telescoop, radiotelescoop, ruimtetelescoop
$\lambda_{\max} T = k_w$
vwo E2: Elektromagnetische straling en materie
<p>+ het atoommodel van Bohr beschrijven en toepassen</p> <ul style="list-style-type: none"> • uit energieniveauschema's golflengtes en frequenties van spectraallijnen bepalen • absorptie- en emissiespectra verklaren • vakbegrippen: foton, grondtoestand, aangeslagen toestand, ionisatie-energie
+ $E_f = hf$
+ $E_f = \frac{hc}{\lambda}$
+ $E_f = E_m - E_n $
<p>+ het licht van sterren analyseren, een hertzsprung-russelldiagram gebruiken om sterren te classificeren naar temperatuur, totaal stralingsvermogen en grootte de radiale snelheid van sterren analyseren aan de hand van het spectrum een uitspraak doen over de aanwezigheid van elementen in sterren aan de hand van het spectrum vakbegrippen: fraunhoferlijn, roodverschuiving en blauwverschuiving</p>
+ $v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$

- + het verband tussen de uitgezonden golflengtes en de temperatuur beschrijven en toepassen
- de wet van Wien toepassen
- vakbegrippen: planck-kromme, continu spectrum
- ten minste in de contexten: gloeilampen, sterren

- + verklaren hoe de op aarde waargenomen intensiteit van een ster samenhangt met het totale stralingsvermogen van de ster en de afstand tot de ster
- de wet van Stefan-Boltzmann toepassen
- vakbegrip: zonneconstante
- ten minste in de context: zon

$$+ I = \frac{P_{\text{bron}}}{4\pi r^2}$$

$$+ P_{\text{bron}} = \sigma AT^4$$

Dit domein zit niet in het examenprogramma vmbo-gt. Een vmbo-gt-leerling moet dus alle stof uit de havo-specificaties bestuderen om examen te kunnen doen op havoniveau. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 15 uur.

De uitbreiding naar vwo ten opzichte van havo zit in de toevoeging van een aantal nieuwe onderwerpen en de wet van Wien moet op een hoger niveau beheerst worden. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 30 uur.

Tabel 13: Domein F1 (Quantumwereld)

vmbo-gt
Zit niet in het examenprogramma.
havo
Zit niet in het examenprogramma.
vwo F1: Quantumwereld
$p = mv$
licht als golfverschijnsel benoemen en dit toelichten
<ul style="list-style-type: none"> • uitleggen in welke situaties buiging van lichtgolven optreedt • een intensiteitspatroon verklaren in termen van constructieve en destructieve interferentie
bij elektromagnetische straling en bij materiedeeltjes
<ul style="list-style-type: none"> • berekeningen maken met de de Broglie-golflengte • het dubbelspleet-experiment beschrijven en de betekenis ervan uitleggen • vakbegrippen: waarschijnlijkheid, waarschijnlijkheidsverdeling • ten minste in de context: elektronenmicroscop

$$\lambda = \frac{h}{p}$$

het foto-elektrisch effect gebruiken om aan te tonen dat elektromagnetische straling gequantiseerd is

- vakbegrippen: foton, uittree-energie, energiequantum

quantumverschijnselen beschrijven in termen van de opsluiting van een deeltje

- de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen
- het quantummodel van het waterstofatoom beschrijven en de mogelijke energieën van het waterstofatoom berekenen
- het quantummodel van een deeltje in een eendimensionale energieput beschrijven en de mogelijke energieën van het deeltje berekenen
- vakbegrippen: bohrstraal, nulpuntsenergie

$$\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$$

$$E_n = \frac{13,6}{n^2} \text{ (in eV)}$$

$$E_n = n^2 \frac{h^2}{8mL^2}$$

het quantum-tunneleffect beschrijven aan de hand van een eenvoudig model en daarbij aangeven hoe de kans op tunneling afhangt van de massa van het deeltje en de hoogte en breedte van de energie-barrière

- ten minste in de contexten: Scanning Tunneling Microscope (STM), alfa-verval

Domein F1 wordt uitsluitend bevroegd op vwo. Om examen te doen op vwo-niveau moet een havist dus alle onderdelen bestuderen. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 35 uur.

Tabel 14: Domein H (Natuurwetten en modellen)

vmbo-gt

Zit niet in het examenprogramma.

havo H: Natuurkunde en technologie

voorbeelden die passen bij de specificaties van de havodomeinen uit deze syllabus gebruiken om de wederzijdse beïnvloeding van technologie en natuurkundige kennis toe te lichten

fysische principes en wetmatigheden toepassen op technologische ontwikkelingen en daarbij in deze syllabus gespecificeerde natuurkundige kennis hanteren

- principes: model als vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, analogie, denken in ordes van grootte
- wetmatigheden: wet van behoud van energie, wetten van Newton (eerste en tweede)

vwo H: Natuurwetten en modellen

+ in voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus fundamentele natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen

- principes: universaliteit, schaalonafhankelijkheid, denken in ordes van grootte, analogie
- wetmatigheden: behoudswetten, wetten van Newton, kwadratenwet
- vakbegrippen: natuurwet, natuurconstante, verband, vergelijking

- + voorbeelden die passen bij de specificaties van de vwo-domeinen uit deze syllabus gebruiken om toe te lichten hoe het begrip 'model' in de natuurkunde wordt gehanteerd en de grenzen van de toepasbaarheid en betrouwbaarheid van een bepaald model voor een fysisch verschijnsel beoordelen
 - het inzicht toepassen dat een model een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid is en dit relateren aan de beperkte toepasbaarheid van het model
 - onderscheid maken tussen een denkmodel, schaalmodel, numeriek model en computermodel
 - vakbegrip: iteratief proces
- + modelstructuren herkennen in computermodellen en het gedrag van deze modelstructuren toelichten en onderzoeken en aan de hand van voorbeelden uitleggen waar grenzen aan de voorspelbaarheid uit voortkomen
 - modelstructuren: verval en groei (1e orde), oscillaties en bewegingen (2e orde)
 - vakbegrippen: rekencapaciteit, stapgrootte, beginvoorwaarde

Toelichting

Een vmbo-gt-leerling die examen wil doen op havoniveau moet modelmatige wetten kunnen toepassen op bekende stof. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 5 uur.

Een havoleerling die examen wil doen op vwo-niveau moet extra vaardigheden ontwikkelen op het gebied van het maken, gebruiken en aanpassen van numerieke modellen. Daarnaast wordt er ook meer modelmatig denken verwacht van de leerlingen. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op ongeveer 25 uur.

Tabel 15: Keuzeonderwerpen

vmbo-gt K7: Licht en beeld [SE]

rechtlijnige lichtstralen, verschillende soorten lichtbundels, schaduwvorming, kleurvorming en verschillende soorten straling toepassen

verschillende soorten lenzen herkennen en de werking van de vlakke spiegel en de bolle lens toepassen

beeldvorming bij het menselijk oog en oogafwijkingen toepassen

havo B3 / E2 / F / G2

uit deze vier (sub)domeinen worden er twee gekozen

Subdomein B3: Optica

De kandidaat kan aan de hand van toepassingen van geometrische optica en golfoptica eigenschappen van licht beschrijven en analyseren.

Subdomein E2: Aarde en klimaat*

De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

Domein F Menselijk lichaam*

De kandidaat kan in de context van het menselijk lichaam fysische processen beschrijven, analyseren en verklaren en hun functie voor gezondheid en veiligheid toelichten.

Subdomein G2: Technische automatisering*

De kandidaat kan meet-, stuur- en regelsystemen construeren en de functie en werking van de componenten beschrijven.

vwo E3 / F2 / G1 / G2

uit deze vier subdomeinen worden er twee gekozen

Subdomein E3: Kern- en deeltjesprocessen

De kandidaat kan in contexten behoudswetten en de equivalentie van massa en energie gebruiken in het beschrijven en analyseren van deeltjes- en kernprocessen.

Subdomein F2: Relativiteitstheorie

De kandidaat kan in gedachte-experimenten en toepassingen de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.

Subdomein G1: Biofysica

De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

Subdomein G2: Geofysica

De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

Op havo en vwo zijn er vier keuzeonderwerpen. Van deze onderwerpen moeten er twee aan bod komen op het schoolexamen, maar de keuzeonderwerpen worden niet getoetst op het centraal examen. Op vmbo-gt is dit keuzekarakter niet terug te vinden in de syllabus. Wel komt het onderwerp Licht en beeld terug in het schoolexamenprogramma.

Op het examen op havoniveau af te leggen, moet de vmbo-gt-leerling twee keuzeonderwerpen bestuderen. De bijbehorende tijdsinvestering schatten we op 25 uur per module, dus een totale studielast van 50 uur. Wanneer voor het onderwerp Optica wordt gekozen, is de studielast minder groot.

Als een havoleerling examen wil doen op vwo-niveau is het verstandig dat hij kiest voor de keuzeonderwerpen Biofysica en Geofysica. Deze keuzeonderwerpen kunnen namelijk zowel voor havo als voor vwo worden aangeboden. Hierdoor ontstaat er een minimale extra studiebelasting. Deze schatten we op 5 uur per keuzeonderwerp. Mocht er een andere keuze gemaakt worden, dan schatten we ook hier de studielast op ongeveer 20 uur per keuzeonderwerp.

4.2 Tijdsinvestering

De analyses van de syllabi, examenprogramma's en exameneisen zijn gericht op de inhoudelijke verschillen met betrekking tot het aantal concepten en de moeilijkheid bij overlappende concepten. Om een advies te kunnen formuleren of het voor leerlingen haalbaar is om in de onderzochte vakken examen te doen op een hoger niveau, zullen deze analyses vertaald worden naar een concrete tijdsinvestering voor de leerling. Als de extra tijdsinvestering fors is, dan is de hypothese dat leerlingen niet zo snel zullen kiezen om examen te doen op een hoger niveau.

Het onderzoek naar deze extra tijdsinvestering is gedaan door de toetsdeskundigen, in samenspraak met constructeurs en/of enkele vakdocenten uit het veld. In de analyse is de tijdsinvestering telkens voorzien van een normatief etiket, zoals een matige inspanning of een forse inspanning. Soms zijn er veel concepten die bestudeerd moeten worden en soms weinig. De inspanning die gevraagd wordt, is daarom vertaald naar een concreet aantal uren dat een leerling naar verwachting nodig zal hebben om de stof door te nemen, te begrijpen en te

beheersen. We maken geen onderscheid tussen vaklessen en zelfstudie. Deze uren zijn enigszins arbitrair, het is immers een inschatting. Uiteraard zijn er leerlingen die het in veel minder tijd kunnen, maar ook leerlingen die veel meer tijd nodig zullen hebben.

Over het algemeen valt het op dat een vmbo-gt-leerling die examen wil doen op havoniveau een aantal nieuwe onderwerpen moet bestuderen. Daarnaast wordt er bij ieder domein ook een verdiepingsslag gemaakt.

Een havoleerling die examen doet op vwo-niveau komt een aantal nieuwe onderwerpen tegen in het programma, waarbij meer geredeneerd moet worden en er een hogere mate van abstract denken gevraagd wordt. Bij een aantal onderwerpen is de verdiepingsslag heel beperkt waardoor er een minimale of geen extra tijdsinvestering nodig is ten opzichte van het havo-programma. Opvallend is dat er in het vwo-programma ook meer wiskundige vaardigheden gevraagd worden.

In onderstaande tabel is de extra tijdsinvestering per domein weergegeven die nodig is om examen te doen op het hogere niveau.

Tabel 16: Globale tijdsinschatting extra tijdsinvestering in uren

Domein	vmbo-gt → havo	havo → vwo
A	20	15
B1	20	10
B2	40	5
C1	20*	10*
C2	15	15
C3	20	5*
D1	20	5
D2	0*	35
E1	20*	0
E2	15	30*
F1	-	35
H	10	25
Keuze	2x25	2x20
Totaal	250 uur	230 uur
	(6,25 uur per week in 40 weken)	(5,75 uur per week in 40 weken)

* Er kunnen ook onderdelen weggelaten worden uit het eigen programma waardoor de netto investering iets minder uren bedraagt.

Opvallend is dat de tijdsinvestering vrij groot is, zowel voor een vmbo-leerling die examen wil doen op havoniveau als voor een havoleerling die examen wil doen op vwo-niveau. Voor de meeste leerlingen zal het niet haalbaar zijn om het gehele programma zelfstandig of met steunlessen door te werken. Hierdoor lijkt het in de meeste gevallen voor leerlingen niet haalbaar om deze extra tijd te investeren naast hun reguliere schoolwerk.

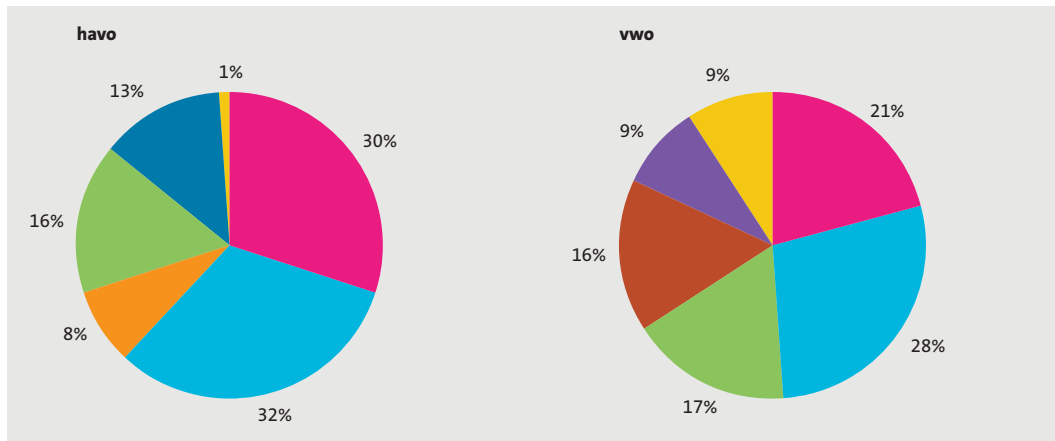
4.3 Verdiepende analyse: verschillen havo- en vwo-examens

In de voorgaande paragraaf hebben we een inhoudelijke vergelijking gemaakt tussen het examenprogramma voor havo en vwo. Daarbij kwam naar voren dat er verschillen zijn in vakinhoud als verschillen in het gevraagde niveau van de vaardigheden. Van vwo-leerlingen worden bijvoorbeeld meer wiskundige vaardigheden verlangd. Om het verschil tussen havo en vwo natuurkunde verder te concretiseren is een analyse gemaakt van de eerstetijdvakexamens 2016, 2017, 2018 en 2019. Deze analyse is gebaseerd op de Toets- en Item Analyses (TIA's) zoals die via de website van Cito beschikbaar zijn.

Voor vier eerstetijdvakexamens is voor havo en vwo bepaald welk aandeel elk centraal examendomein gemiddeld heeft gehad. Hierbij is het maximumaantal te behalen punten per domein vergeleken. Figuur 1 toont deze vergelijking in een cirkeldiagram. De examendomeinen hebben in de havo- en vwo-syllabi niet altijd dezelfde letter gekregen en zijn niet altijd inhoudelijk vergelijkbaar. Voor de overzichtelijkheid hebben in het diagram het havodomein G1 (gebruik van elektriciteit) en het vwo-domein D1 (elektrische systemen) dezelfde kleur, omdat ze beide over elektriciteit gaan. Het havodomein E1 (zonnestelsel en heelal) valt voor een gedeelte samen met het havo- en vwo-domein C en voor een gedeelte met het vwo-domein E2. Het havodomein D (materialen) heeft geen vergelijkbaar centraal examendomein op vwo. Het vwo-domein F1 (quantumwereld) heeft geen vergelijkbaar centraal examendomein op havo.

Het valt op dat in het centraal examen havo de domeinen B (beeld- en geluidstechniek) en C (beweging en energie) dominant zijn. 62% van de scorepunten is te behalen met vragen over deze domeinen. In het vwo-examen zijn ook veel punten te behalen in het domein C (beweging en wisselwerking), maar dit examen is verder meer verdeeld. Verder valt op dat het domein H (natuurwetten en modellen) in de havo-examens vrijwel niet apart wordt gekenmerkt.

Figuur 1 Aandeel punten per examendomein, gebaseerd op de examens natuurkunde havo en vwo eerste tijdvak 2016 t/m 2019



Er is nog een ander verschil in de manier waarop de domeinen in het centraal examen getoetst worden. In het centraal examen havo komt meestal per context (één opgave) slechts één domein aan bod. De opgaven in het centraal examen vwo beslaan vaak meerdere domeinen. Hierdoor zal een leerling zijn kennis flexibeler moeten kunnen inzetten.

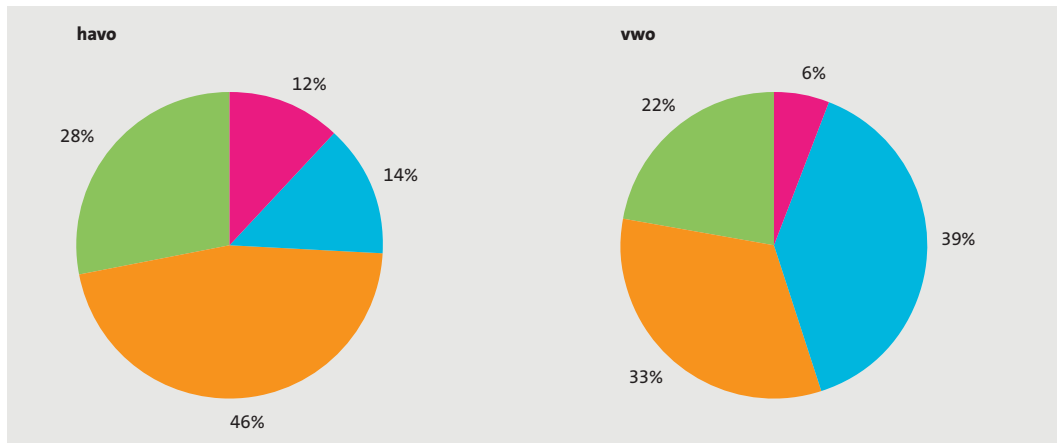
Type vraag

Binnen de centrale examens natuurkunde havo en vwo wordt onderscheid gemaakt in kwalitatieve versus kwantitatieve items, en in reproductie- versus productie-items. Bij kwalitatieve items wordt een antwoord verwacht dat niet is gebaseerd op een berekening. Dit zijn met name vragen met het examenwerkwoord “leg uit¹¹”. Bij een kwantitatief item wordt wel een cijfermatige berekening of bepaling gevraagd. Examenwerkwoorden die hierbij passen, zijn “bereken”, “bepaal” en “toon aan”. In reproductie-items wordt kennis of een methodiek gevraagd die als bekend verondersteld wordt. Bij productie-items moet de leerling bekende kennis en methodes toepassen in een nieuwe context.

Elk item krijgt zowel een label kwalitatief of kwantitatief als een label reproductie of productie. Er ontstaan dus vier categorieën: kwalitatief & reproductie, kwalitatief & productie, kwantitatief & reproductie en kwantitatief & productie. In figuur 2 is het aandeel per categorie in de geanalyseerde examens weergegeven.

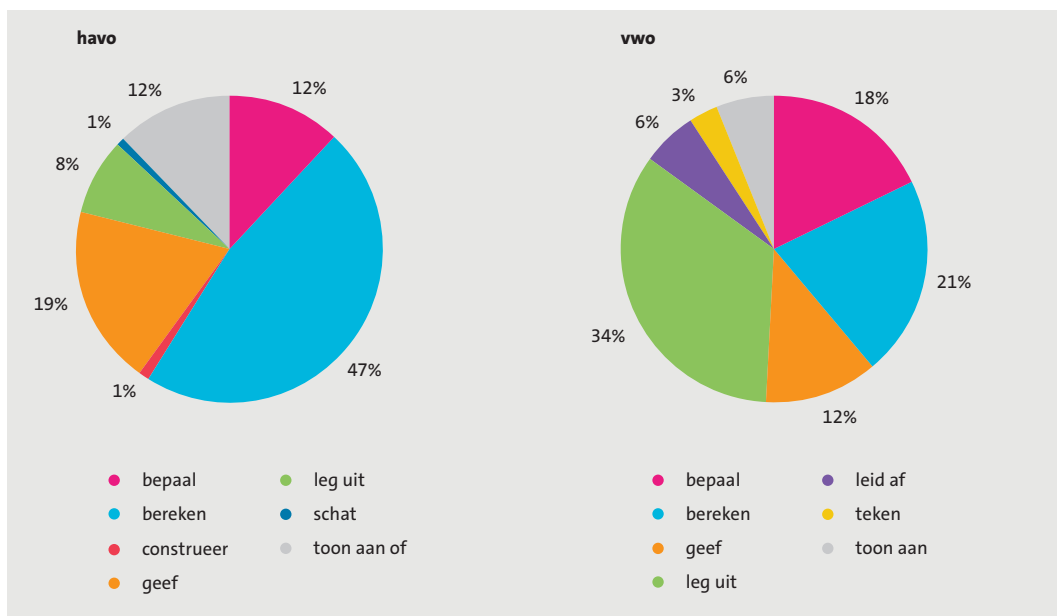
¹¹ Een beschrijving van de examenwerkwoorden is terug te vinden op [Nieuwe_lijsten_examenwerkwoorden_wiskunde_en_natuurkunde_m-i-v_2019.pdf](https://www.examenblad.nl/nieuwe-lijsten-examenwerkwoorden-wiskunde-en-natuurkunde-m-i-v-2019.pdf) (examenblad.nl).

Figuur 2 Aandeel punten per vraagsoort op basis van de examens natuurkunde havo en vwo 2016 t/m 2019



Het valt direct op dat op het centraal examen havo meer punten te verdienen zijn voor vragen met een reproductief karakter (58%) dan op het centraal examen vwo (39%). Hetzelfde geldt voor vragen met een kwantitatief karakter. Op de havo wordt gemiddeld 74% van de vragen gesteld met een kwantitatief karakter, terwijl dit op het vwo 55% is. Er wordt op de havo “minder inzicht” verwacht en er wordt meer “gerekend”. In het centraal examen vwo is de verdeling kwalitatief-kwantitatief veel gelijkmatiger en worden er opvallend meer kwalitatieve productievragen gesteld. Vwo’ers krijgen dus meer theoretisch-inzichtvragen en “leg-uit-vragen”.

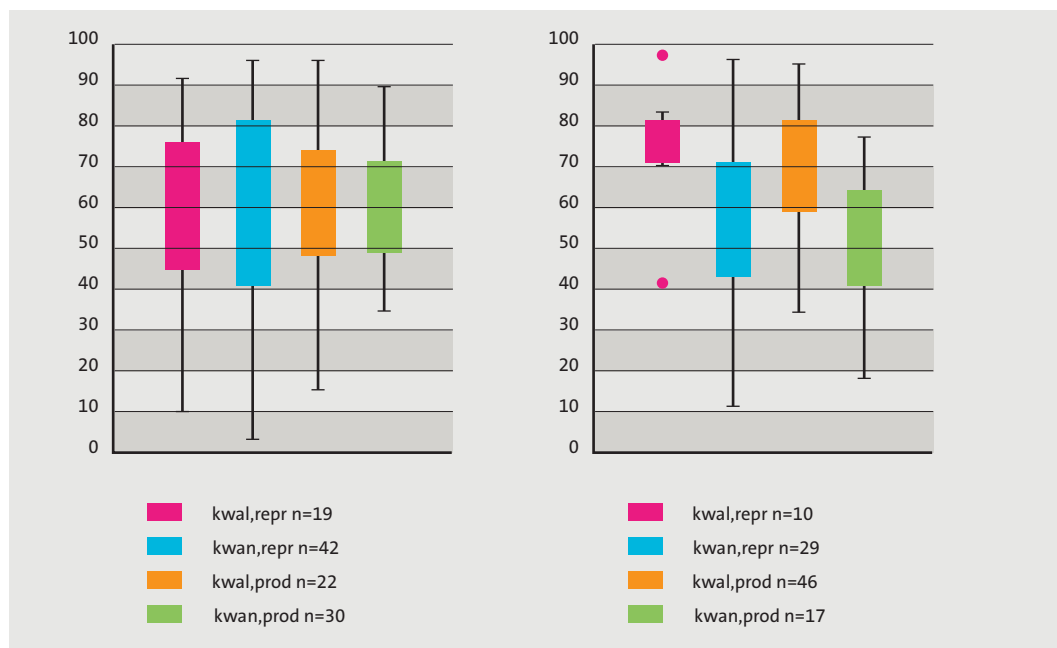
Figuur 3 Aandeel punten per examenwerkwoord, gebaseerd op de examens natuurkunde havo en vwo eerste tijdvak 2016 t/m 2019



Dit komt ook tot uiting in het gebruik van de verschillende examenwerkwoorden in de examens. In figuur 3 is weergegeven hoe de scorepunten verdeeld zijn over de examenwerkwoorden. In het centraal examen havo is maar liefst 47% van de punten te behalen met een berekening. In het centraal examen vwo valt het aandeel van 34% van het examenwerkwoord “leg uit” op.

Ter verdieping is ook naar de moeilijkheid van de items gekeken. De p' -waarde geeft de moeilijkheidsgraad van een item aan. Deze waarde wordt berekend door de gemiddelde score op het item te delen door de maximaal haalbare score op het item. In figuur 4 wordt per categorie (kwalitatief & reproductie, kwalitatief & productie, kwantitatief & reproductie en kwantitatief & productie) een boxplot getoond. Op de verticale as staat de p' -waarde in procenten. Een item met een p' -waarde van 10 is erg moeilijk, een item met een p' -waarde van 90 is erg makkelijk. In de legenda is ook aangegeven hoeveel items per categorie tussen 2016 en 2019 gesteld zijn.

Figuur 4 Boxplots van de p' -waarden van de items per categorie, gebaseerd op de examens natuurkunde havo en vwo eerste tijdvak 2016 t/m 2019



Ook als we op deze manier de items vergelijken, zien we verschillen tussen het centraal examen havo en het centraal examen vwo. De reproductie-items in het vwo-examen hebben duidelijk hogere p' -waarden dan de productie-items. In het centraal examen havo lijken de verschillende soorten items min of meer even moeilijk voor de leerlingen.

Moeilijke vragen in het centraal examen havo

Om meer inzicht te krijgen in de verschillen tussen een havo- en een vwo-examen is in detail gekeken naar een specifieke groep vragen, namelijk de vragen die de gemiddelde havo-examenkandidaat als moeilijk heeft ervaren.

Alle items uit de eerstetijdvakexamens 2016 t/m 2019 met een lage p' -waarde ($<0,20$) zijn geanalyseerd. Hierbij is bekeken of er terugkerende kenmerken te zien waren. Het volgende viel op voor deze items:

- Er moeten een aantal redeneerstappen achter elkaar gemaakt worden. Vooral wanneer de leerling hierin niet gestuurd wordt of wanneer het een nieuwe situatie betreft (productie), stijgt de moeilijkheid van de vraag.
- De vraag wordt ingeleid met relatief veel tekst. Wanneer de benodigde gegevens een stuk terug in de tekst 'verstopt' zitten, verhoogt dat de moeilijkheidsgraad.

- Er worden wiskunde(-B)-vaardigheden gevraagd van de leerling.
- Gebruik van het examenwerkwoord uitleggen, waarbij de leerling ook zelf een antwoord moet formuleren bij een bepaalde theorie of uitkomst van een onderzoek.

Het is voor leerlingen die examen natuurkunde willen doen op een hoger niveau goed om zich ervan bewust te zijn dat het centraal examen vwo een ander karakter heeft dan het centraal examen havo. Op het vwo-examen zijn meer punten te verdienen met items met een productief en kwalitatief karakter. Dit vraagt een extra voorbereiding van de leerling naast het bijspijkeren van extra concepten en domeinen.

De contexten die gebruikt worden in havo-examens staan vaak dicht bij de leerling. Op vwo worden veel meer contexten gebruikt die voor leerlingen helemaal nieuw zijn. Doordat deze contexten ook toegelicht moeten worden, zal een vwo-examen ook tekstueel meer vragen van de leerling dan een havo-examen. Een havoleerling die examen wil doen op vwo-niveau moet zich ook daarvan bewust zijn.

Deze taalvaardigheid uit zich ook in de vorm waarin de vraag wordt aangeboden. Een havo-examenvraag is vaak al voorgestructureerd, waarbij de leerling door het probleem geleid wordt. Ook komen meerkeuzevragen op havo zeer regelmatig voor, en op vwo vrijwel niet. Daar waar bij het centraal examen havo vaak alleen maar een antwoord gegeven hoeft te worden op een item, is het voor vwo veel gebruikelijker om ook naar een uitleg te vragen. De vwo-leerling zal dus vaker het 'waarom' van een antwoord moeten uitleggen.

Doordat daarnaast een havo-examen herkenbare contexten en meer reproductievragen bevat én de domeinen B en C oververtegenwoordigd zijn op havo, zal het examen een stuk voorspelbaarder ogen voor een leerling dan een vwo-examen, dat meer examendomeinen heeft.

De hogere p' -waarden bij de reproductievragen lijken erop te wijzen dat een gemiddelde vwo-examenkandidaat zich in de regel beter heeft voorbereid op de reproductievragen in het examen. Als een havoleerling examen wil doen op vwo-niveau zal deze leerling moeten beschikken over meer dan gemiddeld ontwikkelde executieve vaardigheden.

4.4 Deelconclusie

Uit de analyse van het vak natuurkunde komt naar voren dat overlappende concepten vaak abstracter en rekenkundiger worden getoetst naarmate het niveau toeneemt. Daarnaast worden er meer concepten getoetst. Uit de analyses volgt dat naarmate het niveau hoger is, er meer kennis en vaardigheden worden verwacht van de leerling. Daarnaast zijn de syllabi van enerzijds vmbo en anderzijds havo en vwo niet op elkaar afgestemd. Naar verwachting is het examen doen op een hoger niveau binnen het vmbo – vanwege de beperkte extra tijd die van een leerling wordt gevraagd – goed te doen. De overstap van vmbo-gt naar havo en de overstap van havo naar vwo zijn fors.

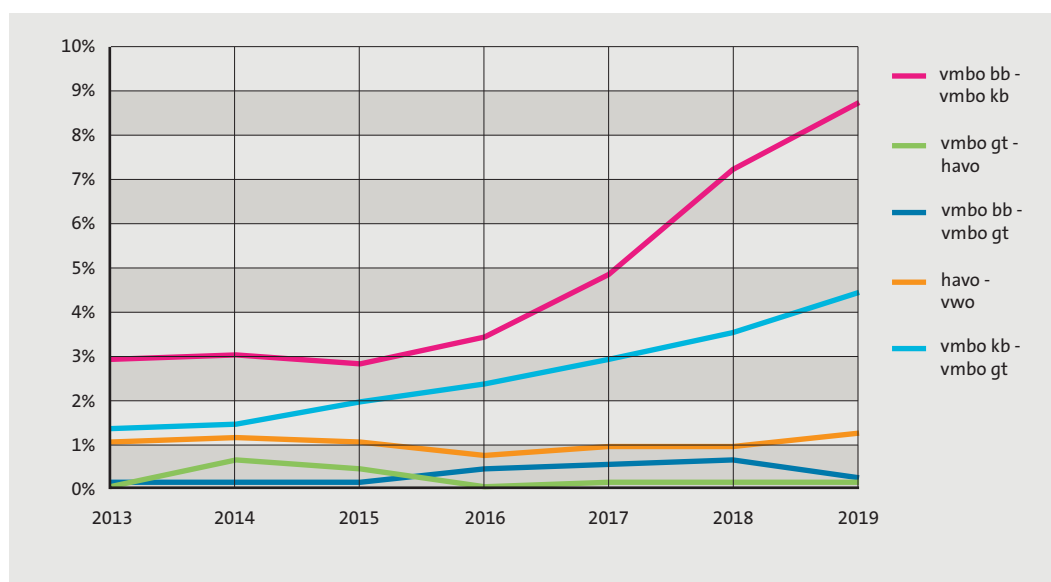
5 Conclusie

5 Conclusie

In het voortgezet onderwijs mogen leerlingen in een of meerdere vakken examens op een hoger niveau afleggen. Bij een voldoende resultaat op het eindexamen krijgen de leerlingen een vermelding op het diploma. Sinds het schooljaar 2017-2018 kunnen leerlingen bij een onvoldoende resultaat gebruikmaken van een terugvaloptie in het tweede tijdvak.

Uit de examenmonitor 2019 (DUO, 2020) blijkt dat in de praktijk maar weinig leerlingen examens doen op een hoger niveau (zie figuur 5). Binnen het vmbo komt flexibel examineren het meest voor in de leerwegen bb en kb: in 2019 deed 8,7% van de vmbo-bb-leerlingen examens in een of meerdere vakken op vmbo-kb-niveau. Slechts 0,10% van de vmbo-gt-leerlingen deed een examen op havoniveau en 1,2% van de havoleerlingen sloot voor een of meer vakken examens af op vwo-niveau.

Figuur 5 Percentage leerlingen dat examens doet in een of meerdere vakken op een hoger niveau



Bron: DUO examenmonitor 2019 (2020).

Uit eerder onderzoek komen praktische belemmeringen op organisatorisch vlak naar voren. Te denken valt aan problemen met roostering, het verschil in cursusduur tussen de niveaus en het categorale karakter van veel scholen (Josic, 2016; De Weerd et al., 2019; SEO, 2020).

Om in kaart te brengen hoe het examensysteem in de toekomst flexibeler gemaakt kan worden, onderzocht Stichting Cito wat de inhoudelijke belemmeringen voor leerlingen kunnen zijn om voor natuurkunde examens te doen op een hoger niveau. Hiervoor werden de examensyllabi voor vmbo, havo en vwo met elkaar vergeleken. Uit die analyses ontstaat een beeld van de investering die van een leerling gevraagd wordt om zich de extra vakinhoud eigen te maken. Aan de hand van inschattingen van docenten is een globale indicatie gegeven van die tijdsinvestering.

Voor natuurkunde is geconstateerd dat de complexiteit van concepten toeneemt en dat dit van leerlingen een forse extra tijdsinvestering vraagt om op een hoger niveau examens te kunnen doen. Daarnaast is uit de analyses naar voren gekomen dat de syllabi van enerzijds vmbo en anderzijds havo en vwo niet op elkaar zijn afgestemd. Docenten schatten in dat het hierdoor niet haalbaar is om examens te doen op een hoger niveau. Dit onderzoek sluit daarmee aan op de conclusie uit de examenmonitor van DUO (2019), waaruit blijkt dat leerlingen natuurkunde er niet voor kiezen om examens te doen op een hoger niveau.

6 Aanbevelingen en discussie

6 Aanbevelingen en discussie

Om de opties van flexibel examineren zo volledig mogelijk te kunnen benutten, is afstemming tussen de examenprogramma's van de verschillende niveaus nodig. Indien dit wordt gerealiseerd, zullen vakinhoudelijke verschillen tussen de leerniveaus verkleind worden, waardoor leerlingen in staat zijn om die extra inspanning te doen.

Een mogelijk verlies van de eigen identiteit van de verschillende leerniveaus kan hiervan een nadeel zijn. Daarnaast is het de vraag hoe de vakinhoudelijke verschillen en de verschillen in abstractieniveau en vaardigheden tussen de leerniveaus zouden moeten convergeren. Het kan betekenen dat het vmbo fors abstracter (en daarmee lastiger) wordt, of dat het vwo fors minder abstract (en daarmee makkelijker) wordt.

Stichting Cito laat in dit onderzoek zien dat voor het vak natuurkunde de verschillen tussen de leerniveaus groot zijn en dat hierdoor een forse extra tijdinvestering van een leerling wordt gevraagd als deze het natuurkunde-examen op een hoger niveau wil doen.

Als het voor een leerling niet haalbaar is om het hele examen voor een vak op een hoger niveau af te leggen, kan ook gekeken worden of de leerling een gedeelte van het vak op een hoger niveau zou kunnen doen. Een leerling kan dit uit interesse in het vak doen, als voorbereiding op de vervolopleiding, maar het kan ook voordelig zijn voor een leerling die later wil doorstromen.

Voor een vmbo-gt-leerling is het vrij eenvoudig om de schoolexamen-onderwerpen op een hoger niveau te bestuderen. Gedacht worden aan de volgende opties:

- **Optica**
In plaats van domein *K7 Licht en beeld* kan havodomein *B3 Optica* gedaan worden. Over het algemeen is de inhoud van het havokatern ook dekkend voor het vmbo-curriculum en daarmee is vast een keuzeonderwerp voor het havo-examen afgerond.
- **Stoffen en stoffeigenschappen**
Naast domein *K10 Bouw van de materie* kan havodomein *D1 Eigenschappen van stoffen en materialen* (en domein *D2 Functionele materialen*) gedaan worden.
- **Medische beeldvorming**
In plaats van domein *K11 Straling en stralingsbescherming* kan havodomein *B2 Medische beeldvorming* gedaan worden. Ook hierbij geldt dat het havodomein alle onderdelen van het vmbo-gt-programma omvat.
- **Overige onderwerpen**
Uiteraard kunnen ook andere onderwerpen aan bod komen. Denk hierbij aan *Kracht en beweging*, *Energieomzettingen*, *Elektriciteit* en *Zonnestelsel en heelal*. Er moet dan echter steeds opgelet worden dat de havosyllabus niet alles uit het vmbo-gt-programma afdekt.

Voor een havoleerling kan gedacht worden aan de volgende opties:

- **Vaardigheden en modellen [40 slu]**
In de domeinen A, H en I komen wiskundige vaardigheden en modelmatig denken aan bod. Door deze onderwerpen op vwo-niveau te bestuderen wordt het havoprogramma ook afgedekt. Daarnaast is het mogelijk bij de verschillende overige domeinen net een stapje verder te gaan in het doen van onderzoek. Wanneer een leerling na het behalen van zijn havodiploma een technische studie gaat doen, is het bezitten van deze vaardigheden een groot voordeel.

- **Informatieoverdracht [10 slv]**
Hierbij moet een havo-leerling een wiskundigere benadering toepassen en het begrip fase leren beheersen. Dit is een mooi voorbeeld van het verschil tussen havo en vwo dat goed gebruikt kan worden als kennismaking voor een leerling.
- **Elektrische systemen [5 slv]**
Hierbij moet een havo-leerling een de formelere wetten van Kirchhoff toepassen en het verband tussen spanning, energie en lading leren beheersen. Ook dit is een mooi voorbeeld van het verschil tussen havo en vwo dat goed gebruikt kan worden als kennismaking voor een leerling.
- **Elektrische en magnetische velden [35 slv]**
Dit domein is compleet nieuw voor een havo-leerling en is een mooie verdiepingsslag ten opzichte van het havo-programma.
- **Elektromagnetische straling en materie [30 slv]**
Dit domein is grotendeels nieuw voor een havo-leerling en is een mooie verdiepingsslag ten opzichte van het havo-domein *Zonnestelsel en heelal*.
- **Overige onderwerpen**
De overige onderwerpen, zoals *Medische beeldvorming, Kracht en beweging, Energie-omzettingen, Gravitatie* en *Quantumwereld* zijn minder geschikt. Hierbij is naast de vakinhoudelijke kennis ook een extra wiskundige vaardigheid nodig die vaak samengaat met domein A.

Verder kan het voor sommige leerlingen wellicht interessant zijn om een module Natuur, Leven en Techniek (Vereniging NLT, 2020) te volgen. Dit vak kan door de school worden aangeboden als keuzevak op havo en vwo. NLT kent geen centraal examen. Er is een ruim aanbod van 70 modules die door docenten zijn ontwikkeld en die te vinden zijn op de site van SLO (SLO, 2020). De modules hebben een studielast van ongeveer 40 uur. Om deze mogelijkheden praktisch verder uit te werken in concrete voorbeelden is verder onderzoek nodig.

Tot slot: Docenten en leerlingen zullen misschien geneigd zijn om te kijken naar de cijfers die een leerling al behaald heeft voor een vak voordat de keuze wordt gemaakt om flexibel examen te doen. Vanuit dit onderzoek willen we vier criteria meegeven die de kans op succes op vwo-niveau voor een havo-leerling lijken te vergroten:

- De leerling beschikt over een bovengemiddelde taalvaardigheid (er wordt op een hoger niveau gebruikgemaakt van abstracter taalgebruik en complexere zinnen).
- De leerling kan de leerstof niet alleen eendimensionaal toepassen, maar kan er ook flexibel mee redeneren.
- De leerling beschikt over voldoende wiskundige vaardigheden en volgt bij voorkeur wiskunde B.
- De leerling beschikt over bovengemiddeld goed ontwikkelde executieve vaardigheden.

Deze criteria kunnen meegenomen worden in het keuzeproces, bijvoorbeeld door meer dan gemiddeld aandacht te schenken aan contextrijke, kwalitatieve productievragen en er ook gericht op te oefenen.

7 Bibliografie

Bibliografie

Brekelmans, J. Fleur, E., Beliaeva, T. van Toly, R. (2017). *Maatwerkdiploma's in het voortgezet onderwijs en doorstroom naar vervolgonderwijs*. 's-Hertogenbosch: Expertisecentrum Beroepsonderwijs

CPB (2022), *Stapelen in het voortgezet onderwijs*, 15 februari 2022, <https://www.cpb.nl/stapelen-in-het-voortgezet-onderwijs#docid-160784>

Cito (2021). *Toets- en itemanalyse natuurkunde 2016*. Opgehaald van https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2016_havovwo/havo-tv1.htm en https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2016_havovwo/vwo-tv1.htm

Cito (2021). *Toets- en itemanalyse natuurkunde 2017*. Opgehaald van https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2017_havovwo/havo-tv1.htm en https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2017_havovwo/vwo-tv1.htm

Cito (2021). *Toets- en itemanalyse natuurkunde 2018*. Opgehaald van https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2018_havovwo/havo-tv1.htm en https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2018_havovwo/vwo-tv1.htm

Cito (2021). *Toets- en itemanalyse natuurkunde 2019*. Opgehaald van https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2019_havovwo/havo-tv1.htm en https://www2.cito.nl/vo/ce/ex2019_havovwo/vwo-tv1.htm

College voor Toetsen en Examen. (2020). *natuur- en scheikunde I vmbo | syllabus centraal examen 2022*. Utrecht: College voor Toetsen en Examen. Opgehaald van https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-naski-vmbo-2022/2022/vmbo-gl/f=/naski_vmbo_2022_versie_2.pdf

CvTE. (2021, augustus 20). *syllabus natuurkunde havo*. Opgehaald van Examenblad.nl: https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2022-natuurkunde-havo/2022/f=/natuurkunde_havo_2_versie_2022.pdf

CvTE. (2021, augustus 20). *syllabus natuurkunde vwo*. Opgehaald van Examenblad.nl: https://www.examenblad.nl/examenstof/syllabus-2022-natuurkunde-vwo/2022/vwo/f=/natuurkunde_2_versie_vwo_2022.pdf

Doorewaard, H. &. (2015). *Het ontwerpen van een onderzoek*. Amsterdam: Boom Lemma uitgevers.

DUO examenmonitor (2018, 2019)

Groenendijk- Hendriks, M (2020), *Scholen over maatwerkdiploma: 'We benadelen onze eigen studenten'*, Algemeen Dagblad van 19-03-2020.

Inspectie van het Onderwijs (2011), *Staat van het onderwijs*

Inspectie van het Onderwijs (2019), *Staat van het onderwijs*

Jolles, J. (2017) *Het tienerbrein. Over de adolescent tussen biologie en omgeving*. Amsterdam: AUP.

Josic A. (2016). Op weg naar maatwerk. bron: <https://www.laks.nl/wp-content/uploads/2018/09/Maatwerk-visiedocument-website-3-05.pdf>

Kamerstukken II 2018/2019, 35195, nr. 3, Memorie van Toelichting

Kamerstukken II 2011/12, 30 079, nr. 33

Kamerstukken II 2012/13, 30 079, nr. 38

Kamerstukken II, 2014/15, 30 079, nr. 62

Kamerstukken II 2016/17, 30 079, nr. 69

Kamerstukken II 2015/16, 31 332, nr. 53 en Kamerstukken II 2015/16, 31 289, nr. 307

Kamerstukken II 2016/17, 34 550 VIII, nr. 26

Kamerstukken II, 2016/17, 31 524, nr. 311

Kamerstukken II 2018/19, 31 289, nr. 392

Kamerstukken II 2015/16, 34 184, nr. 11

Kamerstukken II 2015/16, 34 184, nr. 17

Kamerstukken II 2015/16, 30 079, nr. 69

Koning, P. en K. Van der Wiel, 2013, Ranking the schools: how school-quality information affects school choice in the Netherlands, *Journal of the European Economic Association*, 11(2), 466-493

Naaijer, H. M., M. Spithoff, M. Osinga, N. Klitzing, H. Korpershoek en M.-C. Opdenakker, 2016, De overgang van primair naar voortgezet onderwijs in internationaal perspectief: Een systematische overzichtsstudie van onderwijstransities in relatie tot kenmerken van verschillende Europese onderwijsstelsels. Groningen: GION onderwijs/onderzoek

Oberon, 2018, Terecht overstaprecht: Doorstroom havo-vwo.

Onderwijsraad (2015). Maatwerk binnen wettelijke kaders: eindtoetsing als ijkpunt voor het funderend onderwijs. Onderwijsraad.

Parool (2009), Onderwijs stopt met flexibel examen, 10 november 2009.

Pater, de L. en Boer, de S. (2013), *Wiskunde tijdens de natuurkundeles: differentiatie op het gebied van wiskunde bij het vak natuurkunde*, Centrum voor Onderwijs en leren, Universiteit Utrecht

Regioplan Beleidsonderzoek (2012), Extra vakken en vakken op een hoger niveau in het voortgezet onderwijs.

Rijksoverheid (2017). Proef met recht op maatwerk op middelbare scholen. bron: <https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2017/04/06/proef-met-recht-op-maatwerk-op-middelbare-scholen>. G

Rijksoverheid (2019). Wanneer ben ik geslaagd voor het havo eindexamen? bron: <https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/eindexamens/havo/eindexameneisen-havo>

SEO Economisch onderzoek (2020), VO-diploma met vakken van verschillend niveau, Amsterdam.

SLO (2015), Vak(ken) afronden op een hoger niveau, een praktische handreiking voor het vmbo. SLO, Enschede.

Sniekers, J. et al. (2012), Een havodiploma voor meer leerlingen: een studie naar een geïntegreerde leerroute vmbo tl-havo. SLO, Enschede.

VO-raad (2019), Herijking centraal examen. bron: <https://www.vo-raad.nl/themas/toetsen-examens/onderwerpen/flexibilisering-centraal-examen>

VO-raad (2019), 'Terugvaloptie' bij vakken op een hoger niveau. Utrecht.

De Weerd, M., Dekker, B., Van Bergen, K. (2019), Pilot Recht op maatwerk. Amsterdam: Regioplan.

Bijlage

Bijlage 1 Wiskundige vaardigheden bij natuurkunde

Hieronder staat voor een aantal wiskundige vaardigheden uit het natuurkunde programma uitgewerkt of deze bij het vak wiskunde A en/of B in programma terugkomen.

vwo A: Vaardigheden	havo wiskunde A	havo wiskunde B
+ natuurkundige apparatuur herkennen en gebruiken: filters, spectroscop, elektroscop	nee	nee
+ modelleerprogrammatuur	nee	nee
+ absolute waarde toepassen	nee	nee, begrip absolute waarde is en notatie niet bekend.
+ oplossen van twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden	nee	ja, B2.6
+ toepassen van $\log x$, $\ln x$, e^{-ax} , e^{ax} , a^x , x^a , $\sin x$ en $\cos x$	ik weet niet zeker wat je met <i>toepassen</i> bedoelt, maar $\log x$: nee $\ln x$: nee e^{-ax} : nee e^{ax} : nee a^x : ja x^a : ja $\sin x$: nee $\cos x$: nee	$\log x$: ja $\ln x$: nee e^{-ax} : nee e^{ax} : nee a^x : ja x^a : ja $\sin x$: ja $\cos x$: ja
+ significantieregels bij logaritme	nee (log niet eens bekend)	nee
+ functievoorschriften opstellen van evenredige verbanden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch) en wortelverbanden	recht evenredig: ja omgekeerd evenredig: ja kwadratisch evenredig: nee omgekeerd kwadratisch evenredig: nee wortel: nee	recht evenredig: ja omgekeerd evenredig: ja kwadratisch evenredig: ja (maar niet deze letterlijke term) omgekeerd kwadratisch evenredig: ja (maar niet deze letterlijke term) wortel: ja

vwo A: Vaardigheden	havo wiskunde A	havo wiskunde B
<p>+ aflezen van diagrammen, waaronder logaritmische diagrammen en dubbellogaritmische diagrammen</p>	<p>bedoel je met diagram 'schaalverdeling'? dus log.diagram = op één as logverdeling? beide gevallen: aflezen sowieso, maar alleen met alle hulplijntje: zelf aangeven op schaal is dubieus wel of niet in syllabus (hoewel wij vinden dat dat eigenlijk hetzelfde is en dus: ja) Zie vraag 10 in dit examen.</p>	<p>bedoel je met diagram 'schaalverdeling'? dus log.diagram = op één as logverdeling? Eigenlijk: nee, maar: zie vraag 8 in dit examen: een logschaalverdeling hoeven ze niet te kennen/begrijpen, wel kan op een of twee assen log(variabele) staan. = coördinatentransformatie</p>
<p>+ differentiëren van lineaire en kwadratische functies, machtsfuncties, sinusfuncties en cosinusfuncties</p>	<p>alle: nee</p>	<p>lineair: ja kwadratisch: ja machtsfunctie: ja</p>
<p>+ 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;</p>	<p>nee</p>	<p>geregeld in examens op een of twee assen een functie van een variabele (zoals $\log(p)$ of x^2), maar het is geen standaard-syllabuswerk dat ze bij een rechte lijn dan direct moeten begrijpen/weten dat er sprake is van zo'n verband. Dan zit je echt op inzichtsniveau. Zie bijvoorbeeld vraag 10 in dit examen. Dus: zulke coördinatentransformaties kunnen ze wel begrijpen, maar niet met hetzelfde doel als natuurkunde.</p>

Flexibel examineren bij natuurkunde

Cito

Amsterdamseweg 13
Postbus 1034
6801 MG Arnhem
T (026) 352 11 11
klantenservice@cito.nl
www.cito.nl

Fotograaf: Gijs Versteeg
© Cito B.V. Arnhem (2022)

