



VERANTWOORDINGSDOCUMENT SYLLABUSCOMMISSIE NATUURKUNDE

Bij versie 0.4 van Syllabus natuurkunde havo en vwo – conceptsyllabus centraal examen 202X – augustus 2021

INLEIDING

De huidige syllabi natuurkunde havo en vwo zijn gebaseerd op de examenprogramma's die zijn vastgesteld in 2012 en zijn in hun huidige vorm sinds de centrale examens van 2015 in gebruik op havo en van 2016 op vwo. De afgelopen jaren zijn kleine wijzigingen doorgevoerd, die in de syllabi zichtbaar waren door gele markerings van de gewijzigde teksten.

Bij het gebruik van de syllabi, zowel door docenten als examenmakers, is gebleken dat de syllabi in hun huidige vorm niet in alle opzichten goed bruikbaar zijn. Om die reden zijn wij eind 2018 gestart met een verkenning in het veld om nader in kaart te brengen welke verbeteringen nodig zijn. Bij deze verkenning zijn docenten in verschillende regio's in de vorm van focusgroepen bevestigd over hun ervaringen met de syllabi. Ook zijn vertegenwoordigers van het vervolgonderwijs bevestigd over hun ervaring met de studenten die het nieuwe programma hebben gevolgd. Daarnaast is aan de examenmakers gevraagd ervaringen en aanbevelingen met het werken met de syllabi op een rij te zetten voor de syllabuscommissie. Meer informatie over deze verkenning en het eindrapport van die verkenning kunt u vinden op Examenblad.nl. De aanbevelingen daaruit vormen de basis voor de herziening van de syllabi.

Het belangrijkste signaal was dat op vwo het subdomein quantumwereld in de syllabus niet goed beschreven is en daardoor niet goed toetsbaar. Een ander signaal was dat het vaardigheidendomein A door veel docenten erg vaag wordt gevonden en daardoor in het onderwijs onderbelicht blijft. Daarnaast waren actualiteit en relevantie belangrijke uitgangspunten van de vakvernieuwing die geleid heeft tot de huidige examenprogramma's. Dat betekent dat we ook de syllabi regelmatig op deze punten moeten doornemen. De hoofdthema's van deze herziening van de syllabi zijn dan ook bruikbaarheid, actualiteit en relevantie.

In dit document leest u wat de belangrijkste wijzigingen zijn die de syllabuscommissie heeft doorgevoerd en waarom voor die wijzigingen is gekozen.

Aan de opdracht van de syllabuscommissie waren randvoorwaarden verbonden waardoor het niet mogelijk was de syllabus onbeperkt aan te passen. Deze randvoorwaarden hebben dus een rol gespeeld bij te maken keuzes. De syllabuscommissie heeft gewerkt binnen de volgende randvoorwaarden:

- De examenprogramma's worden niet aangepast.
- Het niveau en de omvang van de examenonderdelen in de syllabus blijven gelijk ten opzichte van de syllabus 2022. Kortom, er vindt geen verzwaring plaats.
- Minimaliseer inhoudelijke consequenties voor onderwijs en onderwijsmethodes (maximaal beperkte katervorm).
- Na consultatie van het onderwijsveld wordt besloten vanaf welk centraal examen de nieuwe syllabus in kan gaan.
- De wijzigingen in de syllabus zijn niet strijdig met en bij voorkeur in lijn met uitgangspunten en inhouden van de adviezen voor de bovenbouw van curriculum.nu.
- Waar mogelijk vind afstemming plaats tussen de syllabi voor biologie, natuurkunde en scheikunde en waar nodig wordt recht gedaan aan de eigenheid van de afzonderlijke vakken.

SAMENSTELLING SYLLABUSCOMMISSIE

De syllabuscommissie natuurkunde bestond uit de volgende leden:

Stefan Kooij, Universiteit Twente, voorzitter

Albert Ballast, docentlid en deelnemer verkenning

Liliane Bouma, docentlid hoger onderwijs en curriculum.nu

Joost van Buchem, docentlid en deelnemer verkenning

Philip Habing, docentlid NVON

Jos van Rijssel, docentlid en deelnemer verkenning.

Zij werden bijgestaan door
Bernadette Kruijver, Stichting Cito, toetsdeskundige
Erik Woldhuis, SLO, secretaris

Bij het gecombineerde traject voor biologie, natuurkunde en scheikunde is Harrie Eijkelhof als een expert betrokken om de afstemming tussen de verschillende vakken te coördineren.

QUANTUM

Zoals boven aangegeven was een belangrijk deel van onze opdracht het herzien van het subdomein quantumwereld (F1) voor vwo. Voor velen was dit een nieuw onderwerp en, zoals dat altijd gaat bij nieuwe dingen: de eerste keer levert een hoop nieuwe inzichten op. Als commissie hebben we vooral geprobeerd om, binnen de grenzen van het examenprogramma, een heldere opbouw neer te zetten. Van de eerste signalen van quantumgedrag naar de toepassingen die er uiteindelijk uit volgen. Deze opbouw zetten wij hieronder uiteen (de nummers verwijzen ook naar de specificaties uit de syllabus):

- 1 We beginnen met licht: er is diffractie, dus er is sprake van interferentie. Dit kunnen we beschrijven aan de hand van faseverschillen die het gevolg zijn van weglengteverschillen. Dit is de kern van golfgedrag. Daarnaast zien we dat de diffractiepatronen opgebouwd worden door individuele bijdragen, fotonen. Licht vertoont dus ook deeltjesgedrag.
- 2 Vervolgens kijken we naar elektronen: elektronen blijken ook diffractie te vertonen. Door te praten over interferentie door faseverschillen hoef je niet aan op en neer gaande elektronen te denken, je introduceert alleen een lengte waarover je periodiek bent: de deBroglie golflengte.
- 3 Dit roept de vraag op: "Wat is het nu, een golf of een deeltje?" Het golfgedrag, de interferentie tussen mogelijkheden, de superpositie van mogelijkheden, valt alleen op als er verschillende mogelijkheden zijn. Zo gauw je andere mogelijkheden uitsluit houd je inderdaad het gedrag van een deeltje over.
- 4 Interferentie in afgebakende ruimtes geeft staande golven die resulteren in een discreet energiespectrum, discrete toestanden. In deze specificatie spreken we niet over de interferentie zelf, dat hebben we bij 1 en 2 gedaan. Wel spreken we over het resultaat, de waarschijnlijkheidsverdeling, en de buiken en de knopen die je daarin terugziet. Dit wordt in een aantal model-systemen besproken, waaronder de eindig diepe rechthoekige put. Hier wordt het algemene verschijnsel zichtbaar dat bij eindige potentialen de knoop op de rand overgaat in een exponentieel aflopend staartje.
- 5 Het staartje in de wand van een eindig diepe put koppelen we aan het quantum-tunneleffect: bij een barrière die smal genoeg is, is er waarschijnlijkheid voorbij de barrière. De exponentiële gevoeligheid voor de dikte van de barrière en het energietekort maken we expliciet om te kunnen redeneren over veranderingen en om de gevoeligheid van STM en de extreme variatie in vervaltijden bij alfa-verval te kunnen duiden. We hebben hier formules opgenomen in de syllabus om leerlingen aan de hand van formules te laten redeneren. Hieraan rekenen is expliciet niet de bedoeling.
- 6 Vervolgens kijken we naar het praktisch zeer relevante geval van meer dan één elektron toevoegen aan een put. Dan kom je het uitsluitingsprincipe van Pauli tegen: maximaal twee elektronen in elke toestand, eentje spin omhoog, eentje spin naar beneden. De volgende stap is de putjes van afzonderlijke atomen combineren tot vaste stoffen. In dat geval combineren de discrete toestanden zich tot banden van zeer dicht bij elkaar liggende discrete toestanden, met daartussen eventuele band gaps.
- 7 Dit soort band gaps geeft aanleiding tot halfgeleiders. De simpelste voorbeelden van toepassingen zijn de NTC en LDR uit subdomein D1 (elektrische systemen): geleiding wordt mogelijk gemaakt door elektronen in de lege toestanden boven de gap te brengen. Dan wel door absorptie van licht, dan wel door de thermische energie die beschikbaar is.

Een opmerking hierbij: de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg bleek lastig op een bevredigende manier te bevragen en kon volgens meerdere publicisten binnen het vwo-programma niet echt recht worden gedaan. De onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg hebben we daarom niet *expliciet* opgenomen. Eén van de aspecten van Heisenberg is echter het niet tegelijkertijd kunnen praten over golfgedrag en deeltjesgedrag en dat is in specificatie 3 dus wel opgenomen.

ENERGIETRANSITIE

Een tweede belangrijk onderdeel van onze opdracht, aansluitend bij actualiteit en de uitkomsten van de verkenning, was het opnemen van (aanknopingspunten voor) de energietransitie. Zoals het verkenningsrapport al aangaf, zijn er (ruwweg, ten minste) twee manieren om dit te benaderen: via algemene principes en via specifieke toepassingen. Daarom hebben wij onszelf eerst de vraag gesteld waarom het belangrijk is dat leerlingen iets leren over de energietransitie.

Waarom

Het antwoord daarop is volgens ons tweeledig. Ten eerste komen verschillende aspecten van de energietransitie aan de orde in een breed scala aan vervolgopleidingen; het helpt leerlingen dus bij hun studiekeuze en als voorkennis. Ten tweede zullen leerlingen kwesties rond de energietransitie regelmatig tegenkomen in het dagelijks leven; zowel in het maatschappelijke debat als in persoonlijke beslissingen zoals bijvoorbeeld over de isolatie van hun huis. Omdat de ruimte in het programma beperkt is en de toekomst moeilijk te voorspellen, kunnen niet alle apparaten, principes, systemen en concepten waarmee leerlingen mogelijk in de toekomst in contact komen uitgebreid aan de orde komen. We moeten ons dus beperken tot de grote lijnen. Gelukkig past dit goed bij natuurkunde als discipline: het gaat om de algemene principes en niet om de details.

Energiebehoud

Het belangrijkste principe dat een rol speelt bij de energietransitie is de wet van behoud van energie. Met een natuurkundige blik naar de energietransitie kijken, betekent ernaar kijken in termen van omzetting, opslag en transport van energie. Daarom hebben wij ook voor die bril gekozen bij het opnemen van de energietransitie in de syllabus.

Kwantitatief

Natuurkundig naar de energietransitie kijken is ook: er kwantitatief over (kunnen) denken. Wij denken dat met rekenen aan vermogen en rendement je daarvoor 'het skelet' hebt geplaatst. Voor specifieke toepassingen komen daar bijvoorbeeld verbrandingswarmte, zwaarte-energie en soortelijke warmte bij. Wij stellen voor daar als ondersteuning het concept 'debiet' aan toe te voegen. Dit is een concept dat bij uiteenlopende contexten vanuit de energietransitie (denk aan windmolens, het aanvoeren van brandstof of juist van koelwater) gebruikt kan worden. Het is vooral nuttig omdat het je in staat stelt om hoeveelheden stof (die energie met zich meevoeren) te linken aan tijd en daarmee vermogen.

Apparaten

Om het maatschappelijk debat te kunnen volgen, moeten leerlingen wel een aantal termen voor apparaten kennen die in dat debat worden gebruikt. Bovendien moeten ze deze kunnen plaatsen in het natuurkundige kader van energie-omzetting en energiebehoud. Denk hierbij aan termen als windmolen, brandstof-/waterstofcel en warmtepomp. Van de meeste van deze apparaten is het genoeg als leerlingen kunnen benoemen hoe en in welke vorm er energie in gaat (bewegingsenergie via de wind, chemische energie opgeslagen in waterstof (en zuurstof)) en in welke vorm het eruit komt (elektrische energie in beide gevallen). Alleen voor de warmtepomp is dit lastig: hier stellen wij een beschouwing voor waarin thermische energie wordt verplaatst van een koudere naar een warmere plek. Omdat dit niet vanzelf gebeurt is er een input van energie nodig. (hoe een warmtepomp dit doet abstraheren we dus weg, net zoals hierboven bij de windmolen) Doordat er bij een warmtepomp twee bronnen van energie een rol spelen (opgenomen thermische energie en aandrijving) is de warmtepomp een interessante context om na te denken over efficiëntie: afhankelijk van de probleemstelling kan het bijvoorbeeld relevant zijn de geleverde warmte te vergelijken met de aandrijving of juist de opgenomen warmte.

Havo

Voor de havo levert de voorgestelde benadering slechts een beperkt aantal toevoegingen op. Niet alleen energiebehoud, rendement en vermogen zijn al onderdeel van het programma, ook het energetisch beschouwen van veel van de hierboven genoemde apparaten (subdomein G1 specificatie 4) en verwarmen en isoleren (subdomein D1 specificatie 2 en 3) komen al in de syllabus voor. Daarom zijn voor het havo-programma volgens ons drie toevoegingen wenselijk:

- Versterken van het gedeelte over opslag en transport van energie in subdomein G1
- Het toevoegen van het concept debiet, inclusief formule.

- Het toevoegen van een energetische beschouwing van de warmtepomp

Vwo

Voor vwo ligt dat anders. Hoewel energieomzetting, vermogen en rendement onderdeel zijn van het CE voor vwo, zijn zowel de verschillende apparaten als verwarmen en isoleren dat niet. In het vwo-programma even ver gaan als in het havo-programma zou een aanzienlijke verzwaring van het vwo-programma betekenen en er zouden dan aanzienlijke verlichtingen op andere punten tegenover moeten staan. Daarom hebben wij ervoor gekozen om voor vwo alleen op twee plekken, in subdomein C2 (energie en wisselwerking) en D1 (elektrische systemen), de mogelijke contexten te verbreden zodat de energietransitie hieronder valt. Belangrijk argument voor ons om hiervoor te kiezen was dat dit het eigenstandige karakter van het havo-programma versterkt en dat het goed past bij het vwo om je te beperken tot een beperkt aantal principes die breed toegepast moeten worden.

VAARDIGHEDEN EN SAMENHANG

Uit de verkenning kwam naar voren dat (meer) afstemming tussen de syllabi bij biologie, natuurkunde en scheikunde wenselijk en aan te bevelen is. Hier is door (afvaardigingen van) de verschillende syllabuscommissies over gesproken en heeft een aantal aanpassingen opgeleverd in vooral het A-domein (vaardigheden). Deze lichten we hieronder kort toe:

- De subdomeinen A5, A6 en A7 zijn gelijkgetrokken over de drie vakken. Ook zijn de specificaties voor de verschillende subdomeinen beter op *elkaar* afgestemd, zoals te zien is in appendix 1.
- Op verschillende plekken in de syllabus natuurkunde kwam het begrip model of modelleren voor. Het was niet altijd duidelijk of het hier ging om de nauwe betekenis van 'numeriek model(leren)' of de veel bredere betekenis van 'denken aan de hand van modellen'. Om hier duidelijkheid over te geven zijn alle specificaties die numeriek modelleren betreffen samengenomen in subdomein A14 (vakspecifiek gebruik van de computer). Hier is bovendien explicieter gespecificeerd wat van leerlingen verwacht kan worden. Op alle andere plekken waar nu in de syllabus over modelleren wordt gesproken, gaat het dus over modelleren in brede zin.
- Uit de verkenning kwam, vooral vanuit het vervolgonderwijs, naar voren dat redeneren met formules een aandachtspunt is. Daarom hebben wij dit in de nieuwe syllabus explicieter gespecificeerd en hebben we ook met een aantal bestaande specificaties verschoven om de ordening helderder te maken:
 - Subdomein A12 (rekenkundige en wiskundige vaardigheden) beperkt zich nu puur tot de wiskundige vaardigheden, zonder natuurkundige interpretatie.
 - Subdomein A13 (vaktaal) gaat over het 'lezen' van formuletaal.
 - Subdomein A15 (kwantificeren en interpreteren) gaat over het natuurkundig interpreteren en het gebruiken van formules, waaronder dus het redeneren met formules.
- Er was veel onduidelijkheid over wat precies de rol was van de verschillende inhouden die als 'bekend verondersteld' stonden vermeld maar niet expliciet in de specificaties waren opgenomen. Zowel de manier waarop die in de syllabus waren opgenomen als de toelichting verschilden bovendien per vak. Om hier zoveel mogelijk duidelijkheid en eenheid in te bewerkstelligen is ervoor gekozen alle onderdelen die als 'bekend verondersteld' waren opgenomen te verwerken in de specificaties zelf (en er dus dezelfde eisen aan te stellen als aan de rest van de specificaties)

VOORSTELLEN VERKENNINGSCOMMISSIE

De verkenningcommissie heeft op basis van meerdere gesprekken met groepjes docenten een hele reeks voorstellen gedaan voor aanpassing van de syllabus. Een groot gedeelte daarvan is in een tweede gespreksronde met voorgelegd aan een de docenten die ook de eerste bijeenkomsten hebben bezocht. Deze voorstellen hebben een plek gekregen in het eindrapport van de verkenningcommissie. Wij hebben alle voorstellen bekeken en beoordeeld of we deze voorstellen wel of niet overnemen. Voorstellen waarover het panel van gepeilde docenten erg positief was, hebben wij in principe overgenomen. Alleen als er zwaarwegende argumenten waren hebben we dat niet gedaan. Hieronder volgt een opsomming van alle voorstellen van de verkenningcommissie die niet onder één van de eerdere drie kopjes vielen. Per voorstel bespreken we de argumentatie voor onze beslissing.

Havo

De volgende voorstellen zijn door de gepeilde docenten positief beoordeeld en hebben wij overgenomen:

- MRI elimineren uit domein B2
- Toevoegen derde wet van Newton in domein C1
- Schrappen van het begrip 'geleidbaarheid' en vervangen van de formule voor vervangingsgeleidbaarheid door de formule voor vervangingsweerstand in domein G2

Eén voorstel dat door de gepeilde docenten positief is beoordeeld hebben we niet verwerkt: het toestaan van goniometrische oplossingsmethodes bij opgaven over het samenstellen of ontbinden van krachten in C1. Dit omdat dit onder de huidige syllabus al is toegestaan.

De volgende voorstellen zijn niet gepeild, of de gepeilde docenten reageerden verdeeld, en hebben we overgenomen:

- Schrappen van spanning en rek in domein D1: hoewel we dit een mooi onderwerp vinden om havo van vwo te onderscheiden, past het niet goed bij de eindterm en de andere specificaties in domein D1. Door mee te gaan in het voorstel dit onderdeel te schrappen maken we ruimte voor andere onderdelen, waaronder energietransitie dat havo ook mooi van vwo onderscheidt.
- Schrappen van de wet van Wien in domein E1: de wet van Wien sluit niet goed aan bij de eindterm en andere stof in het havo-programma. Het wordt daardoor een op zichzelf staand trucje. Door de wet van Wien te schrappen maken we ruimte voor stof die beter aansluit bij het geheel.
- Schrappen van de transformator en toevoegen van enkele moderne componenten in domein G2: de transformator hebben we inderdaad geschrapt omdat dit een los onderwerpje is, waarvan de inhoudelijke basis mist. We hebben daarentegen geen nieuwe componenten toegevoegd omdat de simpele componenten die hieronder vallen, zoals de LED, al in het programma zitten en ingewikkeldere componenten tegen hetzelfde probleem aanlopen als de transformator.

De volgende voorstellen zijn niet gepeild, of de gepeilde docenten reageerden verdeeld, en hebben we *niet* overgenomen:

- Het aspect 'verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen' beter terug laten komen in domein D1: in alle bestaande specificaties komt dit aspect, soms beperkt, al terug. We hebben ook enkele nieuwe specificaties overwogen waarin dit aspect een grotere rol speelt, maar deze vonden we niet sterk genoeg om toe te voegen.
- De formule voor de warmtestroom door een oppervlakte schrappen in domein D1: met de grotere rol die de energietransitie nu speelt in het havo-programma willen wij deze formule niet schrappen.
- Toevoegen van het begrip duurzaamheid aan domein H: De toevoegingen rond de energietransitie geven wat de commissie betreft voldoende handvatten om duurzaamheid aan de orde te laten komen.
- Toevoegen van stralenoptica als nieuw onderwerp: hoewel de commissie hier inhoudelijk in geïnteresseerd is, past het niet natuurlijk in het huidige examenprogramma. Bovendien zou het een aanzienlijke uitbreiding van het programma zijn.

Vwo

De volgende voorstellen zijn door de gepeilde docenten positief beoordeeld en hebben wij overgenomen:

- Dopplereffect kwalitatief toevoegen in domein B1 (plus een verwijzing naar deze term in domein E2)
- MRI verder specificeren in domein B2.
- Schrappen van het begrip 'geleidbaarheid' en vervangen van de formule voor vervangingsgeleidbaarheid door de formule voor vervangingsweerstand in domein D1

De volgende voorstellen zijn door de gepeilde docenten positief beoordeeld, maar hebben we toch niet overgenomen:

- Toevoegen van de bewegingsvergelijking aan C1: ten eerste zou deze toevoeging een aanzienlijke verzwaring van het programma zijn maar vooral ook een grote impact hebben op de methodes. Ten tweede heeft de vernieuwingscommissie er destijds bewust voor gekozen minder aandacht te besteden aan kinematica en meer aan dynamica. Ten derde is er in de huidige syllabus voor

gekozen om beweging vooral grafisch te bestuderen. De meest simpele vorm van de bewegingsvergelijking (alleen $\frac{1}{2}at^2$, zonder v_0 of x_0) sluit hier niet goed bij aan. Merk bovendien op dat docenten de bewegingsvergelijkingen wel mogen behandelen en dat leerlingen ze op het examen ook mogen gebruiken als dat binnen de opgave past.

- Toevoegen van impuls aan C1: de verkenningscommissie geeft aan dat dit didactische voordelen heeft. De commissie onderschrijft deze voordelen, maar is van mening dat dat niet betekent dat het in de syllabus opgenomen moet worden. Docenten kunnen er altijd voor kiezen in de les wel aandacht te besteden aan het begrip impuls. Om impuls genoeg inhoud te geven in de syllabus dat het ook daadwerkelijk robuust bevraagd kan worden op het examen moet het dermate groot worden, dat wij het de ruimte niet waard achten. Zonder impuls in domein C1 heeft volgens ons ook het toevoegen van impulsbehoud aan domein H geen meerwaarde.

De volgende voorstellen zijn niet gepeild, of de gepeilde docenten reageerden verdeeld, en hebben we overgenomen:

- Schrappen wetten van Kirchhoff in domein D1: We kiezen ervoor om de formules voor het gedrag van stroomsterkte en spanning in serie- en parallelschakelingen te behouden als uitwerkingen van de wetten van Kirchhoff in de syllabus. De expliciete wetten van Kirchoff schrappen we wel. Dit levert een tijdsparing op voor de kandidaat, terwijl grotendeels dezelfde kennis en vaardigheden kunnen worden bevraagd op het examen.
- Schrappen enkele sterrenkundige begrippen in domein E2: we hebben ervoor gekozen om zowel de specificatie over het hertzsprung-russelldiagram als over waarnemingen beperkender te formuleren, zodat van kandidaten minder inhoudelijke kennis wordt vereist.

De volgende voorstellen zijn niet gepeild, of de gepeilde docenten reageerden verdeeld, en hebben we *niet* overgenomen:

- Cirkelbeweging niet beperken tot de gravitatiecontext in domein C3: cirkelbewegingen zijn in de huidige syllabus niet beperkt tot gravitatiecontexten. De enige beperking is dat op het examen bij berekeningen maar één kracht de rol van de middelpuntzoekende kracht mag hebben (deze beperking geldt dus niet voor constructies, tekeningen en redeneringen). Deze beperking laten vallen zou weliswaar de context waarin berekeningen gemaakt kunnen worden verbreden, maar zou ook een flinke uitbreiding van het programma zijn.
- Wet van Hubble en uitdijing toevoegen in domein E2: de commissie heeft besloten dit onderwerp niet toe te voegen in verband met de beperkte ruimte in het vwo-programma.

APPENDIX 1 – OVEREENKOMSTEN TUSSEN SUBDOMEINEN A5, A6 EN A7

Havo

A5 Onderzoeken		A6 Ontwerpen		A7 Modelvorming	
De kandidaat kan:		De kandidaat kan:		De kandidaat kan:	
1	een natuurwetenschappelijk probleem herkennen/specificeren;	1	een ontwerpprobleem specificeren;	1	een natuurwetenschappelijk verschijnsel specificeren met als doel het te beschrijven, te verklaren of te voorspellen;
2	een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en);	2	<i>een ontwerpprobleem herleiden tot een aantal afzonderlijk uitwerkbare deelproblemen (taken, eigenschappen);</i>	2	een natuurwetenschappelijk verschijnsel vereenvoudigen en de essentiële kenmerken ervan identificeren;
		3	<i>voor een ontwerp een programma van eisen opstellen: randvoorwaarden, eisen, prioriteiten en wensen;</i>		
3	verbanden leggen tussen een onderzoeksvraag en natuurwetenschappelijke kennis;	4	verbanden leggen tussen natuurwetenschappelijke kennis en taken en eigenschappen van een ontwerp;	3	van een model de overeenkomsten en verschillen met de werkelijkheid benoemen met als doel de geschiktheid en het geldigheidsgebied van het model te bepalen;
4	een hypothese opstellen bij een onderzoeksvraag en verwachtingen formuleren;	5	<i>meerdere uitwerkingen of oplossingen per deelprobleem geven;</i>	4	van een model beoordelen in hoeverre het aansluit bij het doel waarvoor het ingezet wordt;
5	een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en);	6	<i>een beargumenteerd ontwerpvoorstel doen voor een ontwerp, rekening houdend met het programma van eisen;</i>	5	voor een model een geschikte fysieke, schematische of wiskundige weergave selecteren;
6	<i>voor de beantwoording van een onderzoeksvraag relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen;</i>				
7	meetgegevens verwerken en presenteren op een wijze die helpt bij de beantwoording van een onderzoeksvraag;				

A5 Onderzoeken		A6 Ontwerpen		A7 Modelvorming	
8	op grond van verzamelde gegevens van een uitgevoerd onderzoek conclusies trekken die aansluiten bij de onderzoeksvra(a)g(en) van het onderzoek;	7	<i>een prototype van een ontwerp realiseren;</i>	6	met een model eigenschappen van een natuurwetenschappelijk verschijnsel beschrijven, verklaren en/of voorspellen;
9	de uitvoering van een onderzoek en de conclusies evalueren;	8	<i>een ontwerpproces en -product testen en evalueren, rekening houdend met het programma van eisen;</i>		
		9	voorstellen doen voor verbetering van een ontwerp;	7	voorstellen doen voor de verbetering en/of uitbreiding van een model;
10	<i>een natuurwetenschappelijk onderzoek op een geschikte manier presenteren;</i>	10	<i>een ontwerpproces en -product op een geschikte manier presenteren.</i>	8	<i>het tot stand komen, de opbouw of het gebruik van een model presenteren.</i>
11	herkennen dat er naast een experimentele onderzoeks-aanpak ook andere onderzoeks-aanpakken zijn.				

Vwo

A5 Onderzoeken		A6 Ontwerpen		A7 Modelvorming	
De kandidaat kan:		De kandidaat kan:		De kandidaat kan:	
1	een natuurwetenschappelijk probleem specificeren;	1	een ontwerpprobleem specificeren;	1	een natuurwetenschappelijk verschijnsel specificeren met als doel het te beschrijven, te verklaren of te voorspellen;
2	een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en);	2	<i>een ontwerpprobleem herleiden tot een aantal afzonderlijk uitwerkbare deelproblemen (taken, eigenschappen);</i>	2	een natuurwetenschappelijk verschijnsel vereenvoudigen en de essentiële kenmerken ervan identificeren;
		3	<i>voor een ontwerp een programma van eisen opstellen: randvoorwaarden, eisen, prioriteiten en wensen</i>		
3	verbanden leggen tussen een onderzoeksvraag en natuurwetenschappelijke kennis;	4	verbanden leggen tussen natuurwetenschappelijke kennis en taken en eigenschappen van een ontwerp;	3	van een model de overeenkomsten en verschillen met de werkelijkheid benoemen met als doel de geschiktheid en het geldigheidsgebied van het model te bepalen;
4	een hypothese opstellen bij een onderzoeksvraag en verwachtingen formuleren;	5	<i>meerdere uitwerkingen of oplossingen per deelprobleem geven;</i>	4	van een model beoordelen in hoeverre het aansluit bij het doel waarvoor het ingezet wordt;
5	een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een (of meerdere) onderzoeksvra(a)g(en);	6	<i>een beargumenteerd ontwerpvoorstel doen voor een ontwerp, rekening houdend met het programma van eisen;</i>	5	voor een model een geschikte fysieke, schematische of wiskundige weergave selecteren en waar nodig kwantificeren;
6	<i>voor de beantwoording van een onderzoeksvraag relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen;</i>			6	<i>een adequaat model opstellen of bijstellen;</i>
7	meetgegevens verwerken en presenteren op een wijze die helpt bij de beantwoording van een onderzoeksvraag;				
8	op grond van verzamelde gegevens van een uitgevoerd onderzoek conclusies trekken die aansluiten bij de onderzoeksvra(a)g(en) van het onderzoek;	7	<i>een prototype van een ontwerp realiseren;</i>	7	met een model eigenschappen van een natuurwetenschappelijk verschijnsel beschrijven, verklaren en/of voorspellen;

A5 Onderzoeken		A6 Ontwerpen		A7 Modelvorming	
9	de uitvoering van een onderzoek en de conclusies evalueren, gebruik makend van de begrippen validiteit en betrouwbaarheid;	8	<i>een ontwerpproces en -product testen en evalueren, rekening houdend met het programma van eisen;</i>		
		9	voorstellen doen voor verbetering van een ontwerp;	8	voorstellen doen voor de verbetering en/of uitbreiding van een model;
10	<i>een natuurwetenschappelijk onderzoek op een geschikte manier presenteren;</i>	10	<i>een ontwerpproces en -product op een geschikte manier presenteren.</i>	9	<i>het tot stand komen, de opbouw of het gebruik van een model presenteren.</i>
11	toelichten dat er naast een experimentele onderzoeksaanpak ook andere onderzoeksaanpakken mogelijk zijn;				
12	de aard van de opbrengst van onderzoek duiden en daarbij de begrippen onzekerheid en waarschijnlijkheid hanteren.				