



College voor Examen

Werkversie 2
syllabus natuurkunde havo en vwo
bij het examenprogramma van
Nieuwe Natuurkunde

Geldig voor de examens 2011 en daarna

juni 2010 (24-6)

Verantwoording:

© 2010 College voor Examens vwo, havo, vmbo, Utrecht.

Alle rechten voorbehouden. Alles uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen, of enige andere manier zonder voorafgaande toestemming van de uitgever.

Inhoud

Voorwoord	3
1 Inleiding	4
1.1 Nieuwe Natuurkunde.....	4
1.2 Natuurkunde in de Tweede Fase.....	4
1.3 Contexten en concepten.....	4
2 Omschrijving van de domeinen en CE-toekenning	6
2.1 Het onderscheid tussen havo en vwo.....	6
2.2 Havo-domeinen met toelichting.....	7
2.3 Vwo-domeinen met toelichting.....	9
2.4 Toekenning CE&SE-domeinen.....	11
2.4.1 Havo.....	11
2.4.2 Vwo.....	12
2.4.3 Domein vaardigheden.....	12
3 Specificaties	13
3.1 Toelichting op de specificaties.....	13
3.1.1 Beheersingsniveaus.....	13
3.1.2 Formules en verbanden, kwalitatieve specificaties.....	14
3.1.3 Havo / vwo.....	14
3.1.4 Bekend verondersteld.....	15
3.1.5 Opzet specificatie per globale eindtermen.....	16
3.2 Specificaties havo.....	17
Domein A1. Algemene vaardigheden.....	17
Domein A2. Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden.....	18
Domein A3. Vakvaardigheden.....	20
Domein B. Beeld- en geluidstechniek.....	21
Domein C. Beweging en energie.....	23
Domein D. Materialen.....	25
Domein E. Aarde en heelal.....	26
Domein G. Meten en regelen.....	27
Domein H. Natuurkunde en technologie.....	28
3.3 Specificaties vwo.....	29
Domein A1. Algemene vaardigheden.....	29
Domein A2. Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden.....	29
Domein A3. Vakvaardigheden.....	32
Domein B. Communicatie.....	33
Domein C. Beweging en wisselwerking.....	34
Domein D. Lading en veld.....	37
Domein E. Straling en materie.....	39
Domein H. Natuurwetten.....	41
Bijlage 1a Examenprogramma havo	42
Bijlage 1b Examenprogramma vwo	45
Bijlage 2a Grootheden-en-eenhedenoverzicht – havo	48
Bijlage 2b Grootheden-en-eenhedenoverzicht – vwo	49
Bijlage 3 Specificatie-overzicht	50

Voorwoord

De commissie nieuwe natuurkunde heeft een voorstel voor een vernieuwd examenprogramma natuurkunde geformuleerd en een deel daarvan aangewezen voor de toetsing in het centraal examen (CE). Het betreft een programma dat mogelijk in 2013 landelijk wordt ingevoerd in leerjaar 4. Hiertoe levert de commissie nieuwe natuurkunde eind 2010 een advies op aan de minister van OCW, die op basis daarvan een beslissing zal nemen over invoering van dit vernieuwde programma.

In januari 2007 heeft de CEVO een breed samengestelde syllabuscommissie scheikunde ingesteld met de opdracht de globale subdomeinen voor het CE-deel nader te specificeren en voorbeelden van toetsvragen toe te voegen waarmee het karakter van de CE-bevraging bij het nieuwe examenprogramma wordt geïllustreerd.

Bij de eerste examendoorgangen is het echter noodzakelijk gebleken om diverse onderdelen uit de werkversie syllabus uit te sluiten voor examinering. Hiervoor zijn verschillende oorzaken aan te wijzen. Aangezien er niet eerder dan voor de examens van 2013 (havo) en 2014 (vwo) een nieuwe syllabus zal verschijnen, is er voor gekozen om tot die tijd te werken met een tijdelijke 'werkversie 2' van eerdergenoemde syllabus. Hierbij is het niet meer nodig om nog aanvullende uitsluitingen vast te stellen. Deze syllabus zal gelden voor de examens van 2011 en daarna, totdat een volledig nieuwe syllabus is verschenen.

In deze werkversie zullen geen nieuwe voorbeeldexamenopgaven worden opgenomen. De reeds afgenomen experimentele examens kunnen als voorbeeld dienen. Hierin is een ontwikkeling ingezet, die zal worden voortgezet in de komende jaren tot aan landelijke invoering.

1 Inleiding

De syllabus specificeert de eindtermen van het CE-deel van de nieuwe examenprogramma's. In dit verband memoreren wij hier eerst kort de achtergrond van het vernieuwingsproces.

1.1 Nieuwe Natuurkunde

In het kader van de vernieuwing van het onderwijs in de vijf bètavakken heeft het Ministerie van Onderwijs, Cultuur en Wetenschappen in februari 2005 de commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs havo/vwo ingesteld. Deze commissie heeft de opdracht een integraal examenprogramma te ontwerpen en te toetsen in een innovatietraject. In een cyclisch proces van testen in veldexperimenten en bijstellen worden de examenprogramma's voor havo en vwo ontwikkeld in samenwerking met het onderwijsveld. De commissie neemt daarbij de volgende criteria in acht:

- werken vanuit een visie op de plaats van het vak natuurkunde in het geheel van de natuurwetenschappen en de maatschappelijke toepassingen in de moderne samenleving;
- vanuit deze visie de kernconcepten en de kernvaardigheden natuurkunde benoemen die in de nieuwe natuurprofielen havo en vwo onderwezen moeten gaan worden;
- deze concepten en vaardigheden in voor leerlingen aansprekende maatschappelijke, beroepsgerichte, experimentele en theoretische contexten plaatsen;

De commissie moet daarbij betrekken:

- de samenhang met de andere natuurwetenschappelijke vakken;
- de samenhang met de profielgerichte wiskunde;
- de relatie met de onderbouw;
- de resultaten van didactisch onderzoek en relevante buitenlandse voorbeelden;
- de aansluiting bij een breed scala van vervolgopleidingen in de sectoren bèta en techniek.

Na validatie door het veld zal de commissie voorstellen doen voor de examenprogramma's en de examinering van het vak natuurkunde in HAVO en VWO, ter vaststelling door de minister. Landelijke invoering zal naar verwachting pas na 2010 plaatsvinden.

1.2 Natuurkunde in de Tweede Fase

Het vak natuurkunde is een verplicht profielvak in het profiel Natuur en Techniek. Het neemt daar een plaats in naast wiskunde B, scheikunde en één profielkeuzevak, te kiezen uit wiskunde D, biologie, informatica of het nieuwe bètavak NLT. In het profiel Natuur en Gezondheid is natuurkunde een profielkeuzevak, dat ter verdieping of verbreding in het profiel gekozen kan worden. In de profielen Economie en Maatschappij en Cultuur en Maatschappij is natuurkunde een keuze-examenvak. Het is aan een school toegestaan om het vak natuurkunde (of gedeelten daarvan, bijvoorbeeld in de vorm van modules) ook in het vrije deel aan te bieden.

Voor het vak natuurkunde havo is de omvang 400 SLU en voor het vwo 480 SLU. Hiervan beslaat het in deze syllabus gespecificeerde CE deel ongeveer 60%.

1.3 Contexten en concepten

Het begrip *context* wordt door de bèta vernieuwingscommissies gedefinieerd als een situatie, probleemstelling of praktijk waarin het leren plaatsvindt, en die voor leerlingen betekenis krijgt door (leer)activiteiten. Contexten geven betekenis aan concepten.

Verschillende soorten contexten kunnen verschillende functies in het leerproces hebben. Er zijn contexten die gekoppeld zijn aan een leerdoel, om een brug te slaan tussen kennis die de leerling al heeft (of kan vinden) en de natuurwetenschappelijke begrippen die het leerdoel vormen. Dit zijn contexten met een didactische functie, bijvoorbeeld de baan van een waterraket, golven in een golfbak of de tonen van een muziekinstrument. Zulke contexten spelen in het onderwijs en het lesmateriaal een belangrijke rol maar worden in een examenprogramma in het algemeen niet voorgeschreven.

Contexten kunnen ook op zichzelf van belang zijn voor de kennis van een vakgebied, bijvoorbeeld de toepassing van röntgenstraling in medische diagnostiek. De inhoudelijke relevantie van zo'n context kan dusdanig zijn dat de context in de eindtermen van het examenprogramma wordt vastgelegd.¹

Concepten zijn in de omschrijving van de vernieuwingscommissies mentale beelden die verwijzen naar belangrijke ideeën in de natuurwetenschappen en/of wiskunde. Concepten vormen het kader voor kennisopbouw. In het algemeen staan concepten niet alleen, maar zijn zij deel van een conceptueel netwerk van onderlinge verbanden en daarmee samenhangende kennis. Concepten en verbanden krijgen betekenis voor leerlingen door de contexten en (leer)activiteiten waarin ze gebruikt worden. Het doel van het onderwijs is dat leerlingen concepten en verbanden wendbaar kunnen hanteren in verschillende contexten. In het algemeen zijn de concepten in deze syllabus opgenomen in de hoofdzin van een specificatie, en nader gespecificeerd in de daarop volgende opsomming

¹ In andere gevallen, waarin zo'n context niet is voorgeschreven, mag van de kandidaat verwacht worden dat hij de betreffende kennis ook in andere contexten en situaties kan toepassen, mits de bij een vraag aangeboden informatie voldoende houvast biedt voor een correcte beantwoording van die vraag.

2 Omschrijving van de domeinen en CE-toekenning

In bijlage 1 vindt u de werkversies van de examenprogramma's havo en vwo. Het betreft hier de programma's met globale eindtermen, zoals die door de minister zijn vastgesteld en die door het College voor Examens in deze syllabus nader worden gespecificeerd.

In dit hoofdstuk vindt u de domeinindeling van deze examenprogramma's voor havo en vwo. Bij ieder domein is door de vernieuwingscommissie nieuwe natuurkunde een korte omschrijving van de centrale gedachte achter het domein gegeven. Omwille van de volledigheid is dit ook gebeurd voor de domeinen die alleen in het schoolexamen worden getoetst. Het hoofdstuk begint met een algemene afweging van de vernieuwingscommissie nieuwe natuurkunde, met betrekking tot de verschillen tussen havo en vwo.

De omschrijvingen in dit hoofdstuk dienen ter oriëntatie voor de gebruikers van het examenprogramma en moeten niet gelezen worden als specificaties van de globale eindtermen.

In de laatste paragraaf van dit hoofdstuk staat welke subdomeinen op het centraal examen geëxamineerd zullen worden. Voor deze subdomeinen zijn in hoofdstuk 3 de specificaties bij de globale eindtermen geformuleerd. **Aanpassingen ten opzichte van de oorspronkelijke werkversie syllabus zijn geel gemarkeerd. Daarnaast is een verwijderd onderdeel doorgehaald en een toegevoegd onderdeel onderstreept.**

Sommige onderdelen zijn voor een specifiek examen geheel of gedeeltelijk uitgesloten. Deze informatie is opgenomen in een voetnoot.

2.1 Het onderscheid tussen havo en vwo

De havo- en vwo-examenprogramma's zijn twee onderscheiden programma's die gelijktijdig ontwikkeld worden, maar met een verschillende inhoud. Het onderscheid tussen de twee examenprogramma's wordt bepaald door het verschil tussen havo- en vwo-leerlingen en het verschil in nadruk van de HBO- en WO-vervolgopleidingen: beroepsgericht versus wetenschappelijk. Deze verschillen weerspiegelen zich in de motivatie van havo- en vwo-leerlingen.

Vwo-leerlingen worden veelal gemotiveerd door nieuwsgierigheid, het werken met generalisaties, het ontwikkelen van modellen en de wens een fundamenteel begrip te verwerven van de wereld om hen heen. Havo-leerlingen laten zich in het algemeen motiveren door doen, het gebruiken van modellen, het plezier van dingen creëren en de wens om praktische oplossingen uit te werken voor concrete problemen. De havo-leerling gebruikt wiskunde vooral als gereedschap, voor de vwo-leerling is wiskunde ook een taal. Dit verschil in motivatie tussen havo- en vwo-leerlingen krijgt aandacht in de examenprogramma's.

Op het niveau van doelstellingen zijn de natuurkundeprogramma's voor havo en vwo gebaseerd op dezelfde uitgangspunten. Het verschil tussen havo- en vwo-onderwijs komt tot uitdrukking in de diepgang van de stof en de mate van uitdaging die deze de leerlingen naar verwachting biedt. In de keuze van domeinen is dit verschil tot uitdrukking gebracht in de aard van de gekozen contexten. Ook de balans tussen de aandacht voor toegepaste en theoretische contexten en concepten verschilt. Zowel havo- als vwo-leerlingen hebben baat bij contexten die hen aanspreken op hun respectievelijke kwaliteiten. Naast beroepsgerichte contexten voor beide groepen zijn de contexten voor havo meer maatschappelijk en toepassingsgericht en voor vwo meer theoretisch en onderzoeksgericht.

2.2 Havo-domeinen met toelichting

Het examenprogramma voor havo bestaat uit de volgende domeinen en subdomeinen:

Domein	Subdomein
A Vaardigheden	A1 Algemene vaardigheden A2 Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden A3 Natuurkundige vaardigheden
B Beeld- en geluidstechniek	B1 Informatieoverdracht Medische beeldvorming
C Beweging en energie	C1 Kracht en beweging C2 Energieomzettingen
D Materialen	D1 Eigenschappen van materialen D2 Functionele materialen
E Aarde en heelal	E1 Zonnestelsel en heelal E2 Aarde en klimaat
F Menselijk lichaam	
G Meten en regelen	G1 Gebruik van elektriciteit G2 Technische automatisering
H Natuurkunde en technologie	

De vernieuwingscommissie nieuwe natuurkunde heeft voor ieder domein (m.u.v. domein A) het centrale thema en een domeinbeschrijving geformuleerd.

Domein B. Beeld- en geluidstechniek

Centraal thema

- Golven zijn een middel tot informatieoverdracht.

Domeinbeschrijving

In dit domein gaat het om fysische en technische aspecten van communicatie door golven in de context van de digitalisering van informatieoverdracht. De leerlingen doen praktische ervaring op met signaalverwerking en data-analyse. De brede toepasbaarheid wordt geïllustreerd met voorbeelden uit de biomedische praktijk.

Domein C. Beweging en energie

Centrale thema's

- Verandering van beweging vereist kracht.
- Energie is behouden en veranderlijk.

Domeinbeschrijving

In dit domein komt het kwantitatieve verband tussen kracht en beweging in diverse toepassingen aan de orde voor constante krachten. Energie en arbeid worden behandeld in de context van energieomzettingen. Leerlingen gebruiken wiskundige en computervaardigheden bij het weergeven en berekenen van krachten, bewegingen en energieomzettingen.

Domein D. Materialen

Centraal thema

- Het ontwerpen en het gebruik van materialen.

Domeinbeschrijving

In dit domein worden de fysische eigenschappen van materialen behandeld in de context van technische en maatschappelijke toepassingen. In voorbeelden wordt geïllustreerd hoe resultaten van fundamenteel materiaalonderzoek nieuwe toepassingen mogelijk maken. De leerlingen onderzoeken eigenschappen van materialen met behulp van practicumproeven.

Domein E. Aarde en heelal

Centrale thema's

- Ontstaan en structuur van het heelal en het zonnestelsel.
- De invloed van de zon op het weer, het klimaat en de bestaansvoorwaarden voor leven op aarde.

Domeinbeschrijving

In dit domein komt de centrale rol van gravitatie en van energie aan de orde in het ontstaan en de structuur van het zonnestelsel en het heelal als geheel. De kanteling in het wereldbeeld naar heliocentrisch, die voor dat inzicht nodig was, evenals later naar een beeld waarin het heelal geen centrum kent, krijgt aandacht.

Geofysische verschijnselen en processen komen aan de orde als voorbeelden van deels uit andere domeinen bekende verschijnselen en processen, maar nu op de schaal van kilometers. De invloed die de zon heeft op tal van geofysische verschijnselen en processen verbindt de twee centrale thema's.

Domein F. Menselijk lichaam (SE-domein)

Centraal thema

- Het menselijk lichaam.

Domeinbeschrijving

In dit domein gaat het om fysische eigenschappen en processen die van belang zijn voor de werking van het menselijk lichaam. Prestaties van het menselijke lichaam worden in verband gebracht met fysische kenmerken en de invloed van omgevingsfactoren op gezondheid en veiligheid. Leerlingen kunnen door ontwerp- en modelleeropdrachten hun kennis verdiepen.

Domein G. Meten en regelen

Centraal thema

- De elektrische maatschappij.

Domeinbeschrijving

In dit domein komen basisprincipes van de elektriciteitsleer aan de orde in de context van moderne toepassingen. Leerlingen ontwerpen en construeren een meet-, regel- of stuursysteem.

Domein H. Natuurkunde en technologie

Centraal thema

- De cyclus van technisch ontwerpen en de plaats van natuurkunde daarin.

Domeinbeschrijving

In dit domein reflecteren leerlingen enerzijds op technisch ontwerpen en de rol die natuurkundige begrippen en modellen daarin spelen, anderzijds op de betekenis van technologie voor de ontwikkeling van natuurkundige kennis. Zij krijgen inzicht in de belangrijkste fasen in het ontwerpproces.

2.3 Vwo-domeinen met toelichting

Het examenprogramma voor vwo bestaat uit de volgende domeinen en subdomeinen:

Domein	Subdomein
A Vaardigheden	A1 Algemene vaardigheden A2 Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden A3 Natuurkundige vaardigheden
B Communicatie	B1 Informatieoverdracht B2 Medische beeldvorming
C Beweging en wisselwerking	C1 Kracht en beweging C2 Energie en wisselwerking C3 Gravitatie
D Lading en veld	D1 Elektrische systemen D2 Elektrische en magnetische velden
E Straling en materie	E1 Eigenschappen van stoffen en Materialen E2 Elektromagnetische straling en materie E3 Kern- en deeltjesprocessen
F Quantumwereld en relativiteit	F1 Quantumwereld F2 Relativiteitstheorie
G Leven en aarde	G1 Biofysica G2 Geofysica
H Natuurwetten	

De vernieuwingscommissie nieuwe natuurkunde heeft voor ieder domein (m.u.v. domein A) het centrale thema en een domeinbeschrijving geformuleerd.

Domein B. Communicatie

Centraal thema

- Golven zijn een middel tot informatieoverdracht.

Domeinbeschrijving

In dit domein gaat het om fysische aspecten van communicatie door golven in de context van de digitalisering van informatieoverdracht. De leerlingen doen praktische ervaring op met signaalverwerking en data-analyse. De brede toepasbaarheid wordt geïllustreerd met voorbeelden uit de sterrenkunde en de biomedische praktijk.

Domein C. Beweging en wisselwerking

Centrale thema's

- De verandering van beweging is het gevolg van kracht.
- Energie is behouden en veranderlijk.
- Gravitatie, de allesomvattende wisselwerking.

Domeinbeschrijving

In dit domein komt het kwantitatieve verband tussen kracht als uiting van wisselwerking en beweging in een en twee dimensies in diverse toepassingen aan de orde voor constante krachten. Energie en arbeid worden behandeld in de context van energieomzettingen. Leerlingen gebruiken wiskundige, computer- en modelleervaardigheden bij het berekenen van krachten, bewegingen en energieomzettingen.

Domein D. Lading en veld

Centrale thema's

- Lading en stroom zijn de bron van krachtvelden.
- Elektriciteit en magnetisme zijn verstrengeld.

Domeinbeschrijving

Elektromagnetische velden en krachten zijn van fundamentele betekenis in de natuurkunde voor het verklaren van de bindingskrachten tussen geladen deeltjes in atomen en moleculen en van elektromagnetische straling. In dit domein komen basisprincipes van het elektromagnetisme aan de orde gerelateerd aan een aantal belangrijke natuurverschijnselen en toepassingen uit de techniek. Leerlingen doen eenvoudige proeven of waarnemingen aan elektromagnetische verschijnselen en ontwerpen een meet-, regel- of stuursysteem.

Domein E. Straling en materie

Centrale thema's

- Atomen zijn fundamentele lichtbronnen.
- Atomaire kernen zijn een bron van ioniserende straling.
- Op microniveau is kracht de uitwisseling van deeltjes.

Domeinbeschrijving

Er wordt een verband gelegd tussen micro en macro door vanuit het atomaire model van de materie een aantal macroscopische eigenschappen van materie te verklaren als gemiddelden over een groot aantal deeltjes. De fundamentele wisselwerking tussen licht en materie wordt beschreven als emissie en absorptie van fotonen door atomen en moleculen in de context van de astrofysica. Behoudswetten en de equivalentie van massa en energie worden gebruikt om een aantal reactie- en vervalprocessen te beschrijven. Praktische aspecten van radioactiviteit en het gebruik van ioniserende straling komen aan de orde in biomedische toepassingen.

Domein F. Quantumwereld en relativiteit (SE-domein)

Centraal thema F1

- Deeltje-golfdualiteit.

Domeinbeschrijving F1

Op zeer kleine, atomaire schaal blijkt het gedrag van materie en licht zeer verrassend te zijn. Fotonen, elektronen en andere elementaire deeltjes gedragen zich als kwantumdeeltjes, deeltjes die aspecten van zowel golfgedrag als deeltjesgedrag vertonen. In dit domein komt aan de orde hoe dit uitgangspunt heeft geleid tot de kwantumtheorie voor atomaire en subatomaire verschijnselen. Leerlingen kunnen door practicum- en modelleeropdrachten hun kennis verdiepen.

Centraal thema F2

- De lichtsnelheid in vacuüm is constant.

Domeinbeschrijving F2

De relativiteitstheorie van Albert Einstein is gebaseerd op twee eenvoudige principes, de constantheid van de lichtsnelheid en het relativiteitsprincipe. De uitkomsten zijn echter ver reikend en lijken tot paradoxen te leiden. In dit domein worden de principes van de theorie uitgelegd waarin de begrippen gelijktijdigheid, ruimte-tijd, lengtekrimp en tijddilatatie een centrale rol spelen. Leerlingen leren vragen stellen en beantwoorden met behulp van ruimte-tijd diagrammen.

Domein G. Leven en aarde (SE-domein)

Centraal thema G1

- De levende cel.

Domeinbeschrijving G1

In dit domein worden fysische processen in de levende cel behandeld en gerelateerd aan fysische eigenschappen van organismen. Centrale fysische begrippen zijn kracht, wisselwerking, energie en potentiaal. Er wordt een verband gelegd tussen de werking van moleculaire machines en de prestaties van het lichaam. Moderne fysische technieken om de structuur van de cel waarneembaar te maken komen aan de orde. Leerlingen kunnen door practicum- en modelleeropdrachten hun kennis verdiepen.

Centraal thema G2

- Weer en klimaat.

Domeinbeschrijving G2

In dit domein gaat het om fysische begrippen en processen die een rol spelen in het beschrijven en verklaren van weer en klimaat. Gas- en stromingswetten spelen daarin een belangrijke rol. De ontstaansgeschiedenis van de aarde en atmosfeer komen aan de orde. In de context van de energiebalans van het aarde-zonsysteem worden het broeikaseffect en consequenties daarvan behandeld. Leerlingen kunnen door eigen waarnemingen en modelleeropdrachten hun kennis verdiepen.

Domein H Natuurwetten

Centraal thema

- Het natuurwetenschappelijk wereldbeeld.

Domeinbeschrijving

In dit domein reflecteren leerlingen op de betekenis van natuurkundige begrippen en verbanden. Het doel is dat leerlingen samenhang zien in het natuurwetenschappelijke wereldbeeld. Aan de hand van voorbeelden komt aan de orde hoe natuurkundige kennis tot stand komt en zich ontwikkelt.

2.4 Toekenning CE&SE-domeinen

2.4.1 Havo

Het **centraal examen havo** heeft betrekking op de subdomeinen B1, B2, C1, C2, D1, E1, G1 en H in combinatie met de vaardigheden uit domein A.

Tot het **schoolexamen havo** behoren tenminste de subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft: D2, E2, F en G2.

Daarbij kan het bevoegd gezag uit de subdomeinen E2 en G2 één subdomein kiezen, dan wel deze keuze aan de kandidaat laten. De hierboven genoemde subdomeinen worden ook in het SE geëxamineerd in combinatie met de eindtermen uit het domein A: 'Vaardigheden'.

Samengevat ziet de verdeling CE/SE er voor havo als volgt uit:

Domein		Subdomein		CE	moet in SE	mag in SE
A	Vaardigheden	A1	Algemene vaardigheden	X	X	
		A2	Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden	X	X	
		A3	Natuurkundige vaardigheden	X	X	
B	Beeld- en geluidstechniek	B1	Informatieoverdracht	X		X
			Medische beeldvorming	X		X
C	Beweging en energie	C1	Kracht en beweging	X		X
		C2	Energieomzettingen	X		X
D	Materialen	D1	Eigenschappen van materialen	X		X
		D2	Functionele materialen		X ^{*)}	
E	Aarde en heelal	E1	Zonnestelsel en heelal	X		X
		E2	Aarde en klimaat		X	
F	Menselijk lichaam				X	
G	Meten en regelen	G1	Gebruik van elektriciteit	X		X
		G2	Technische automatisering		X ^{*)}	
H	Natuurkunde en technologie			X		X

^{*)} Keuzedomeinen: kies één uit twee

2.4.2 Vwo

Het **centraal examen vwo** heeft betrekking op de subdomeinen B1, C1, C2, C3, D1, D2, E2, E3 en H in combinatie met de vaardigheden uit domein A

Tot het **schoolexamen vwo** behoren tenminste de subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft: B2, E1, F1, F2, G1 en G2.

Daarbij kan het bevoegd gezag uit de subdomeinen F1, F2, G1 en G2 twee subdomeinen kiezen, dan wel deze keuze aan de kandidaat laten. De hierboven genoemde subdomeinen worden ook in het SE geëxamineerd in combinatie met de eindtermen uit het domein A: 'Vaardigheden'.

Samengevat ziet de verdeling CE/SE er voor vwo als volgt uit:

Domein		Subdomeinen		CE	moet in SE	mag in SE
A	Vaardigheden	A1	Algemene vaardigheden	X	X	
		A2	Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden	X	X	
		A3	Natuurkundige vaardigheden	X	X	
B	Communicatie	B1	Informatieoverdracht	X		X
		B2	Medische beeldvorming		X	
C	Beweging en wisselwerking	C1	Kracht en beweging	X		X
		C2	Energie en wisselwerking	X		X
		C3	Gravitatie	X		X
D	Lading en veld	D1	Elektrische systemen	X		X
		D2	Elektrische en magnetische velden	X		X
E	Straling en materie	E1	Eigenschappen van stoffen en Materialen		X	
		E2	Elektromagnetische straling en materie	X		X
		E3	Kern- en deeltjesprocessen	X		X
F	Quantumwereld en relativiteit	F1	Quantumwereld		X ^{*)}	
		F2	Relativiteitstheorie		X ^{*)}	
G	Leven en aarde	G1	Biofysica		X ^{*)}	
		G2	Geofysica		X ^{*)}	
H	Natuurwetten			X		X

^{*)} Keuzedomeinen: kies twee uit vier.

2.4.3 Domein vaardigheden

Een deel van de subdomeinen van het vaardigheden domein A is nader gespecificeerd. Bij de subdomeinen A1 en A2 zullen deze specificaties nog nader worden afgestemd met de andere bètavakken. Ten behoeve van de examenpilots achtte de syllabuscommissie het nodig om ze voor het vak natuurkunde wel alvast uit te werken.

3 Specificaties

3.1 Toelichting op de specificaties

3.1.1 Beheersingsniveaus

Iedere specificatie geeft een indicatie van het beheersingsniveau dat van de kandidaat wordt verwacht. Er wordt hierbij onderscheid gemaakt tussen vier niveaus (naar Bloom). De vier niveaus zijn zo opgebouwd dat beheersing op een bepaald niveau alle onderliggende niveaus veronderstelt.

Omschrijving van de niveaus:

1. Beheersing op het eerste niveau houdt in dat de kandidaat de leerstof kan reproduceren, variërend van specifieke feiten tot complete theorieën.
2. Beheersing op het tweede niveau betekent dat de kandidaat de leerstof die hij op niveau 1 kan reproduceren, ook begrijpt. Onder begrijpen wordt verstaan: inzicht hebben op het laagste niveau.

De kandidaat kan dit laten zien door materiaal te vertalen van de ene vorm in de andere (bijvoorbeeld: woorden in cijfers omzetten door een formule in te vullen; een theorie in eigen woorden uitleggen), door het geleerde te interpreteren (uitleggen of samenvatten) of door het te gebruiken in analoge situaties.

3. Beheersing op het derde niveau houdt in dat geleerde en begrepen leerstof gebruikt kan worden in nieuwe en concrete situaties, zonder dat gezegd wordt welke regels, principes, formules, stellingen gebruikt moeten worden: de kandidaat moet zelf het geschikte principe of de juiste regel kunnen vinden en in een nieuwe situatie kunnen toepassen. Het gaat in het algemeen wél om opdrachten, waarvoor een vaststaand oplossingspad bestaat.
4. Beheersing op het vierde niveau houdt in dat de kandidaat de leerstof die hij kent, begrijpt en kan gebruiken langs een vaststaand oplossingspad, ook kan gebruiken om problemen op te lossen, waarvoor het oplossingspad niet evident of vaststaand is. Beheersing op het vierde niveau betekent dus dat de kandidaat een eigen strategie moet uitzetten.

Voor dit beheersingsniveau worden drie subniveaus onderscheiden:

- a. Het oplossen van een gesteld probleem door het te analyseren: de inhoud zodanig ontleden in de samenstellende delen dat de onderlinge afhankelijkheid van denkbeelden duidelijk wordt gemaakt.
- b. Het oplossen van het gestelde probleem door na de probleemanalyse te synthetiseren: de delen en elementen samenvoegen tot een geheel, door het arrangeren en combineren van elementen zodanig dat een patroon of structuur ontstaat die tevoren niet duidelijk herkenbaar was.
- c. Het oplossen van een gesteld probleem door middel van evaluatie: het gaat om het toetsen van feiten, gegevens en oplossingen aan de hand van bepaalde criteria (stelling, onderzoeksrapport, ontwerp). Men moet hiervoor ver boven de stof staan en uiteenlopende oplossingen kunnen beoordelen op hun waarde.

De moeilijkheidsgraad voor de kandidaat hangt uiteindelijk af van de combinatie van complexiteit van de materie (één losse formule of een complete theorie) in combinatie met het gewenste beheersingsniveau (hoe hoger hoe moeilijker). Ook speelt hierin nog een rol of van de kandidaat een kwalitatieve of kwantitatieve benadering wordt verwacht, waarbij het wederom van de complexiteit van de materie afhangt wat hierbij als 'eenvoudiger' wordt beschouwd.

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van in de specificaties gebruikte werkwoorden met bijbehorend beheersingsniveau.

werkwoord in specificatiestam	beheersingsniveau
benoemen	1
(wiskundig) beschrijven	2
interpreteren	2
laten zien	2
onderscheiden	2
rekenen	2
toelichten	2
uitleggen	2
verklaren	2
vergelijken	2
(grafisch) weergeven	2
bepalen	3
gebruiken	3
hanteren	3
(berekeningen) maken	3
opstellen	3
toepassen	3
analyseren	4a
(problemen) oplossen	4a
ontwerpen	4b

3.1.2 Formules en verbanden, kwalitatieve specificaties

De Vernieuwingscommissie Nieuwe Natuurkunde wil meer nadruk leggen op conceptuele toetsing en op het verbeteren van wiskundige vaardigheden, en minder op het 'rekenen'.

Om tegemoet te komen aan de wens tot meer conceptuele toetsing wordt expliciet vermeld, dat voor alle genoemde specificaties van de kandidaten een kwalitatieve beheersing wordt verwacht. Dat wil zeggen dat van kandidaten wordt verwacht dat zij ook zonder expliciete kwantitatieve gegevens vragen kunnen beantwoorden dan wel problemen kunnen oplossen.

In dit kader is ervoor gekozen formules in eerste instantie te beschouwen als *verbanden*: kandidaten moeten aan de hand van (de vorm van) het verband ook zonder te rekenen uitspraken kunnen doen over processen.

Om daarnaast te benadrukken dat wiskunde de taal van de natuurwetenschap is, en om de wiskundige vaardigheden van de kandidaat te kunnen toetsen, wordt naast deze kwalitatieve beheersing voor een deel van de specificaties ook een kwantitatieve beheersing van de kandidaat verwacht. In specificaties waarvoor dit geldt is dit expliciet opgenomen (herkenbaar aan woorden als berekenen, bepalen, kwantitatief hanteren, etc.). Formules die horen bij deze specificaties moeten niet alleen als verband maar ook als rekenvoorschrift worden beheerst.

Bij de specificaties is ervoor gekozen om bij het vwo onderscheid te maken in de notatie van scalaire grootheden en vectoren. Dit is gedaan ter versterking van het conceptuele begrip van vectoren. Het opnemen van deze vectornotatie betekent echter niet dat kandidaten geacht worden om zelf bij het noteren van formules dit onderscheid aan te brengen.

3.1.3 Havo / vwo

Sommige domeinen zijn specifiek voor havo of vwo, andere domeinen overlappen. Vooral bij de overlappende domeinen is geprobeerd de omschrijvingen zoveel mogelijk met elkaar overeen te stemmen, zodat daar waar de omschrijvingen verschillend zijn de gebruiker ervan uit kan gaan dat voor havo en vwo verschillende eisen worden gesteld.

De verschillen tussen havo en vwo betreffen:

1. *De inhoud*

Er zijn inhoudelijke verschillen tussen de specificaties voor havo en vwo: andere begrippen, contexten en formules.

2. *Het kwalitatief vs. kwantitatief/wiskundig karakter*

Van vwo-kandidaten wordt voor meer specificaties naast de kwalitatieve beheersing een kwantitatieve aanpak of een wiskundige beschrijving verlangd dan van havo-kandidaten

3. *De beheersingsniveaus*

Er is verschil in de vereiste beheersingsniveaus tussen havo en vwo. Ook waar de globale eindterm een gelijk beheersingsniveau aangeeft is dit verschil soms gemaakt door bij vwo meer specificaties op het hoogste beheersingsniveau voor te schrijven dan voor havo.

3.1.4 Bekend verondersteld

Per domein is aangegeven wat bekend wordt verondersteld.

De als "bekend verondersteld" aangeduide leerstof dient geïnterpreteerd te worden in het licht van de daarop volgende subdomeinen: het gaat om onderdelen die nodig kunnen zijn bij de behandeling en bevraging van de betreffende subdomeinen, maar die niet meer expliciet in de specificaties bij die domeinen vermeld wordt.

De toetsing van als "bekend verondersteld" aangeduide leerstof vormt geen doel op het Centraal Examen. De bekend veronderstelde leerstof kan echter wel een onderdeel vormen van vragen over voor het CE gespecificeerde doelen.

Bijvoorbeeld:

Dichtheid is opgenomen bij de bekend veronderstelde leerstof.

Het berekenen van de dichtheid is geen doel op zich, maar bij het maken van vragen op het CE kan het wel nodig zijn om de dichtheid van een stof in de berekening te betrekken.

3.1.5 Opzet specificatie per globale eindtermen

Iedere domeinspecificatie is op dezelfde wijze opgezet.

Domein+naam

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- ...
Vaardigheden die de leerling moet beheersen, ook formules waarmee gerekend moet kunnen worden

De leerling kent

- De volgende verschijnselen:
Kwalitatieve, beschrijvende kennis wordt verondersteld
- De volgende begrippen:
Kwalitatieve, beschrijvende kennis wordt verondersteld
- De volgende grootheden met bijbehorende eenheid:
- De volgende (kwalitatieve) verbanden:
Verbanden die kwalitatief beheerst moeten worden, geen formules of berekeningen

Subdomein+naam

Eindterm

Specificatie

De kandidaat kan

- x. Specificatie met beheersingsniveaus en evt. vakbegrippen en contexten
 - Zo nodig: beperking/afbakening
 - Zo nodig: activiteiten die daarbij beheerst moeten worden
 - Zo nodig: daarbij te beheersen vakbegrippen
Genoemde vakbegrippen worden ook bij andere specificaties uit hetzelfde domein bekend verondersteld
Bij grootheden wordt altijd de bijbehorende eenheid bekend verondersteld
 - Zo nodig: context(en) waarin de vakkennis minimaal moet kunnen worden toegepast
- y. Specificatie van formules, incl. beheersingsniveau
Hierbij wordt aangegeven of de formules kwalitatief of kwalitatief en kwantitatief beheerst moeten worden

3.2 Specificaties havo

Domein A1. Algemene vaardigheden

Subdomein A1.1. Informatievaardigheden

Eindterm

De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

Specificatie

De kandidaat kan

1. informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen, mede met behulp van ICT,
2. informanten kiezen en informanten bevragen,
3. benodigde gegevens halen uit grafieken, tekeningen, simulaties, schema's, diagrammen en tabellen en deze gegevens interpreteren, mede met behulp van ICT:
- onder andere het in tabellen opzoeken van grootheden, symbolen, eenheden en formules,
4. gegevens weergeven in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen, mede met behulp van ICT,
5. hoofd- en bijzaken onderscheiden,
6. feiten met bronnen verantwoorden,
7. informatie en meetresultaten analyseren, schematiseren en structureren, mede met behulp van ICT.
8. de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor het op te lossen probleem of ontwerp.

Subdomein A1.2. Communiceren

Eindterm

De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

Subdomein A1.3. Reflecteren op leren

Eindterm

De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

Subdomein A1.4. Studie en beroep

Eindterm

De kandidaat kan toepassingen en effecten van vakkennis en vaardigheden in verschillende studiebenoemingen herkennen en benoemen en kan een verband leggen tussen de praktijk van deze studies en beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en belangstelling.

specificaties havo

Domein A2. Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden

Subdomein A2.1. Onderzoeken

Eindterm

De kandidaat kan een vraagstelling in een geselecteerde context analyseren gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken.

Specificatie

De kandidaat kan

1. een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren,
2. verbanden leggen tussen een probleemstelling en natuurwetenschappelijke kennis,
3. een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een onderzoeksvraag,
4. een hypothese opstellen en verwachtingen formuleren,
5. een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een onderzoeksvraag,
6. relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen,
7. conclusies trekken op grond van verzamelde gegevens van uitgevoerd onderzoek,
8. de uitvoering van het onderzoek en de conclusies evalueren.

Subdomein A2.2. Ontwerpen

Eindterm

De kandidaat kan een ontwerp op basis van een gesteld probleem voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen/theorie gebruiken.

Specificatie

De kandidaat kan

1. een technisch probleem herkennen en specificeren,
2. voor een ontwerp een programma van eisen en wensen opstellen,
3. verschillende uitwerkingen geven voor functies en eigenschappen van het ontwerp,
4. een beargumenteerd voorstel doen voor het ontwerp, rekening houdend met prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden,
5. een werkplan maken voor het uitvoeren van het ontwerp,
6. een prototype van het ontwerp bouwen,
7. het ontwerpproces en -product evalueren, rekening houdend met ontwerpeisen en randvoorwaarden,
8. voorstellen doen voor verbetering van het ontwerp.

Subdomein A2.3. Modelvorming

Eindterm

De kandidaat kan een realistische contextsituatie analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren en het model toetsen en beoordelen.

Specificatie

De kandidaat kan

1. relevante grootheden en relaties in een situatie identificeren en selecteren,
2. specificaties havo
3. door het doen van aannamen en het maken van vereenvoudigingen een probleemsituatie
4. inperken tot een onderzoekbare vraagstelling,
5. een beargumenteerde schatting maken voor parameterwaarden op basis van gegevens,
6. toetsbare verwachtingen formuleren over het gedrag van het model,
7. een model evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens,
8. modellen, modeluitkomsten en evaluatieresultaten presenteren en toelichten.

Subdomein A2.4. Redeneren

Eindterm

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

Subdomein A2.5. Waarderen en oordelen

Eindterm

De kandidaat kan een beargumenteerd oordeel over een situatie in de natuur of een technische toepassing geven en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten en persoonlijke uitgangspunten.

Subdomein A2.6. Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan:

1. basisrekenvaardigheden uitvoeren:
 - gebruiken van de voorrangregels,
 - een rekenmachine gebruiken,
 - rekenen met verhoudingen, verhoudingstabel, procenten, breuken, eenvoudige machten, vierkantswortels,
 - rekenen met machten van 10 met gehele exponenten,
 - het metrieke stelsel en de standaardeenheden gebruiken,
 - omtrek en oppervlakte berekenen van eenvoudige meetkundige figuren (cirkel, driehoek, rechthoek),
 - de juiste benamingen gebruiken voor de bewerkingen,
 - de juiste schrijfwijze van getallen en bewerkingstekens gebruiken,
2. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren:
 - formules zoals vermeld bij "bekend verondersteld" bij de vakinhoudelijke subdomeinen,
3. wiskundige technieken toepassen:
 - werken met en omwerken van eenvoudige formules,
 - rekenen met evenredigheden (recht en omgekeerd),
 - oplossen van lineaire vergelijkingen,
 - toepassen van de stelling van Pythagoras,
 - gebruik maken van sinus, cosinus en tangens.
 - grafieken tekenen van rechtevenredige en omgekeerd evenredige verbanden.

Eindterm

De kandidaat kan een aantal voor het vak relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en routinematig toepassen bij vakspecifieke probleemsituaties.

Specificatie

De kandidaat kan

1. een grafische rekenmachine gebruiken,
2. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren:
 - formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen,
3. wiskundige technieken toepassen:
 - omwerken van wiskundige betrekkingen,
 - rekenen met evenredigheden (recht en omgekeerd);
 - oplossen van lineaire vergelijkingen;
 - toepassen van de stelling van Pythagoras;
 - gebruik maken van sinus, cosinus en tangens.
 - optellen, aftrekken en ontbinden van vectoren en vermenigvuldigen met een scalar, berekeningen bij ontbinden alleen bij twee onderling loodrechte richtingen, berekeningen van grootte en richting bij samenstellen van vectoren alleen bij twee onderling loodrechte assen,
 - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift,

- interpoleren en extrapoleren in grafiek, tabellen en diagrammen,
 - grafieken tekenen en functievoorschriften opstellen van lineaire, rechtevenredige en omgekeerd evenredige verbanden,
 - tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen,
 - de oppervlakte onder een grafiek bepalen.
4. in natuurkundige formules eenheden afleiden en controleren,
 5. uitkomsten schatten en beoordelen.
 6. uitkomsten van berekeningen weergeven in een aanvaardbaar aantal significante cijfers: een uitkomst mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is.

Subdomein A2.7. Kennisvorming

Eindterm

De kandidaat kan weergeven hoe natuurwetenschappelijke kennis ontstaat, welke vragen natuurwetenschappelijke onderzoekers kunnen stellen en hoe ze aan betrouwbare antwoorden komen.

Subdomein A2.8. Toepassing van kennis

Eindterm

De kandidaat kan analyseren hoe natuurwetenschappelijke en technische kennis wordt toegepast en kan reflecteren op de wisselwerking tussen natuurwetenschap, techniek en samenleving.

Subdomein A2.9. De invloed van natuurwetenschap en techniek

Eindterm

De kandidaat kan oordelen over de betrouwbaarheid van toegepaste natuurwetenschappelijke kennis en een eigen mening over maatschappelijk-natuurwetenschappelijke vraagstukken vormen.

Domein A3. Vakvaardigheden

Subdomein A3.1. Technisch-instrumentele vaardigheden

Eindterm

De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor het vak relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

Specificatie

De kandidaat kan

1. gebruik maken van materialen, instrumenten en apparaten:
 - voor het in de praktijk uitvoeren van experimenten en technisch ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud, voor zover veiligheid, milieueisen, kosten en beschikbaar instrumentarium dat toelaten,
 - in elk geval de volgende materialen en apparatuur:
 - o krachtmeter, hefboom, katrol, tandwiel,
 - o videocamera (videometen),
 - o sensor en computer, lichtpoortje, reedcontact, stroboscoop,
 - o stemvork, toongenerator, luidspreker, microfoon, oscilloscoop,
 - o prisma, filters, optische schijf, brekingslichamen, glasvezels,
 - o (vloeistof)thermometer, meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal,
 - o elektroscop, batterij, voedingsapparaat, schuifweerstand, stroommeter, spanningsmeter, kWh-meter, ohmse weerstand, LDR, NTC, PTC, gloeilamp, LED,
 - o transformator;
2. bij het raadplegen, verwerken en presenteren van informatie en bij het inzichtelijk maken van processen gebruik maken van toepassingen van ICT;
3. gebruik maken van micro-elektronicasystemen voor meten, sturen en regelen van grootheden;
4. aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten;

5. verantwoord omgaan met materialen en instrumenten, zonder daarbij schade te berokkenen aan mensen, dieren en milieu.

Subdomein A3.2. Vaktaal

Eindterm

De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

Subdomein A3.3. Vakspecifiek gebruik van de computer

Eindterm

De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

Subdomein A3.4. Kwantificeren en interpreteren

Eindterm

De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

Domein B. Beeld- en geluidstechniek

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- eenvoudige berekeningen maken met $f = \frac{1}{T}$
- frequenties bepalen uit een oscillogram,
- bij een positieve lens het beeld van een voorwerp construeren.

De leerling kent

- de volgende verschijnselen:
 - geluid, in de context van spraak en muziek,
 - licht, breking en reflectie (spiegelend en diffuus),
 - beeldvorming door een positieve lens in de context van het menselijk oog en eenvoudige optische instrumenten,
 - kleurschifting in een prisma,
 - het spectrum van elektromagnetische straling en het gebruik daarvan in een aantal communicatietoepassingen;
- de volgende begrippen:
 - geluidstrilling, toonhoogte en zuivere toon;
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheden:
 - geluidssnelheid, trillingstijd, frequentie,
 - brandpuntafstand, voorwerpsafstand, beeldafstand,
 - spanning, stroomsterkte, elektrisch vermogen;
- de volgende (kwalitatieve) verbanden:
 - het verband tussen golflengte en type elektromagnetische straling,
 - het verband tussen de amplitude van een oscillogram en de geluidssterkte van de geregistreerde toon.

Subdomein B1. Informatieoverdracht

Eindterm

De kandidaat kan de eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van informatieoverdracht.

Specificatie

De kandidaat kan

- trillingsverschijnselen in de natuur, in de techniek en bij natuurkundige proeven kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]
- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: uitwijking, amplitude, trillingstijd, frequentie, periode, harmonische trilling, slinger, massa-veersysteem;
2. golfverschijnselen in de natuur, in de techniek en bij natuurkundige proeven kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]
- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: lopende golven, golflengte, voortplantingssnelheid, geluidssnelheid, lichtsnelheid, transversaal, longitudinaal;
3. aan de hand van een meetreeks (u,t) resp. (u,x) -diagrammen maken [3] van trillingen en golven en uit (u,t) en (u,x) -diagrammen de fysische eigenschappen (zie specificaties 1 en 2) van de trillingen en golven bepalen [3]
- en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: oscillogram,
 - minimaal in de context van een cardiogram;
4. het verschijnsel staande golf uitleggen [2] en het verband tussen de golflengte en de lengte van het trillende medium met behulp van een schets toelichten [2]
- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: knopen, buiken, resonantie, golflengte, grondtoon, boventoon,
 - minimaal in de context van muziekinstrumenten;
6. informatieoverdracht tussen een zender en ontvanger uitleggen [2]
- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: draaggolf, modulatie, digitale codering, pulsmodulatie, amplitudemodulatie, frequentiemodulatie, 3-dB bandbreedte, bit, datatransfer rate,
 - □ minimaal in de volgende contexten: GSM (Global System for Mobile Communications); TDMA (Time Division Multiple Access);
6. de volgende formules kwalitatief en bij berekeningen hanteren [3]:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{C}} \quad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad f = \frac{1}{T} \quad v = f\lambda$$

Subdomein B2. Medische beeldvorming

Eindterm

De kandidaat kan in de context van medische beeldvorming fysische principes en technieken beschrijven en analyseren en hun diagnostische functie voor de gezondheid toelichten.

Specificatie

De kandidaat kan

1. emissie, voortplanting en absorptie van elektromagnetische straling uitleggen [2] en toelichten aan de hand van röntgenstraling
- en daarbij de verbanden tussen fotonenergie en frequentie en tussen lichtsnelheid, frequentie en golflengte gebruiken,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: elektromagnetische golf, foton, golflengte, voortplantingssnelheid, frequentie, energie, absorptie, ioniserende straling, doordringend vermogen,
 - minimaal in de context van medisch diagnostisch gebruik van röntgenstraling;
2. de verschillende soorten ioniserende straling, hun ontstaan, hun bronnen en hun eigenschappen benoemen [1], evenals de risico's van deze vormen van straling voor mens en milieu, en dosisberekeningen maken [3]
- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: radioactief verval, isotoop, kern, proton, neutron, elektron, reactievergelijking, atoomnummer, massagetal, atomaire massa eenheid, ioniserend en doordringend vermogen, röntgenstraling, α -, β - en γ -straling, achtergrondstraling, bestraling, besmetting, activiteit, halveringstijd, stralingsdosis, equivalente dosis, effectieve totale lichaamsdosis, dosimeter,
 - minimaal in de volgende contexten: nucleaire (diagnostische) geneeskunde, stralingsbescherming;
3. in medische contexten kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [3] waarbij de halveringstijd of halveringsdikte een rol speelt

- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: doorlaatkromme, vervalkromme,
 - minimaal in de context van medische diagnostiek;
4. eigenschappen van geluidsgolven kwalitatief toepassen [3] op ultrasone geluidsgolven
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: golflengte, voortplantingssnelheid, geluidssnelheid, breking, terugkaatsing, ultrageluid,
 - minimaal in de context van echografie;
 5. uitleggen [2] hoe fotonen zwarting op een fotografische plaat dan wel een markering op een digitaal scherm teweeg kunnen brengen, en uitleggen hoe digitaal opgeslagen beeldinformatie verwerkt kan worden tot zichtbare beelden
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: belichting, zwarting, pixel, beeldkwaliteit, grijswaarden, ruisonderdrukking, contouren, verbetering van contrast, valse kleuren,
 - minimaal in de context van medische beeldvorming;
 6. de volgende formules kwalitatief hanteren [2]:

$$E_f = hf \quad c = \lambda f \quad H = QD$$

7. de volgende formules kwalitatief en kwantitatief hanteren [3]:

$$D = \frac{E}{m} \quad H = QD \quad A = N + Z$$

$$A(n) = A(0) \left(\frac{1}{2} \right)^n, \text{ waarbij } n \text{ een geheel aantal malen de halveringstijd is}$$

$$I(n) = I(0) \left(\frac{1}{2} \right)^n, \text{ waarbij } n \text{ een geheel aantal malen de halveringsdikte is}$$

Domein C. Beweging en energie

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formules:

$$s = vt \quad \rho = \frac{m}{V} \quad F = Cu$$

- minimaal de volgende krachten herkennen en benoemen: veerkracht, zwaartekracht, wrijvingskracht,
- plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen interpreteren: aflezen, beschrijven van bewegingen.

De leerling kent

- de volgende verschijnselen:
 - kracht als oorzaak van bewegingsverandering,
 - wrijving,
 - hefboomwerking,
 - energieomzetting en energiebehoud;
- de volgende begrippen:
 - energie in de context van verkeer en vervoer,
 - energiebalans, energieopslag;
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheden:
 - afstand, snelheid, gemiddelde snelheid, versnelling,
 - kracht,
 - energie, rendement, vermogen,
 - dichtheid, massa, volume,
 - veerconstante, uitrekking;

Subdomein C1. Kracht en beweging

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

Specificatie

De kandidaat kan

1. eigenschappen van bewegingen bepalen [3] aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen,
 - te beperken tot rechtlijnige ~~eenparige~~ bewegingen, ~~rechtlijnige eenparig versnelde bewegingen vanuit rust (waaronder vrije val) en valbewegingen met wrijving,~~
 - en daarbij
 - de gemiddelde snelheid bepalen,
 - de snelheid bepalen zo nodig met behulp van een raaklijn,
2. krachten op een systeem aan de hand van een vectortekening analyseren [4a], waaronder het samenstellen en ontbinden in componenten met behulp van een parallellogram en het bepalen van grootte en/of richting van krachten uit een vectortekening,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: krachterevenwicht, grootte, richting, zwaartekracht, wrijvingskracht, normaalkracht, spankracht, spierkracht, veerkracht;
3. de eerste wet van Newton uitleggen [2] aan de hand van voorbeelden en gebruiken bij het verklaren[2] van rechtlijnige bewegingen en het maken van berekeningen [3] aan rechtlijnige eenparige bewegingen
 - en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: traagheid;
4. berekeningen maken [3] met de tweede wet van Newton aan rechtlijnige eenparig versnelde bewegingen
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: plaats, tijd, snelheid, (val)versnelling, resulterende kracht, massa, gewicht, zwaartekracht, normaalkracht, spankracht, vrije val;
5. de momentenwet toepassen [3] op twee krachtmomenten in evenwicht, bij berekeningen en tekeningen op schaal,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: krachtmoment, zwaartepunt, aangrijpingspunt, drager/werklijn
 - minimaal in de context van het menselijk lichaam;
6. de volgende formules kwalitatief en bij berekeningen hanteren [3]:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{s}{\Delta t} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2 \quad (v_b = 0) \quad v(t) = at \quad (v_b = 0)$$

$$F_z = mg \quad F_{\text{res}} = ma$$

$$M = Fr \quad M_{\text{linksom}} = M_{\text{rechtsom}}$$

Subdomein C2. Energieomzettingen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan

1. berekeningen maken [3] met betrekking tot kracht, arbeid en vermogen in situaties van systemen bij constante snelheden, waarbij de richting van de kracht evenwijdig is aan de verplaatsing,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: luchtwrijving, schuifwrijving, rolwrijving;
2. de wet van behoud van energie en de relatie tussen arbeid en kinetische energie kwalitatief en kwantitatief toepassen [3] op versnelde en vertraagde bewegingen (waaronder de vrije val, de verticale worp omhoog) en op veersystemen
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: kinetische energie, zwaarte-energie, energieopslag, (positieve en negatieve) arbeid, arbeid door de zwaartekracht, energiebalans;
3. energieomzettingen bij verplaatsingen kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: energieomzetting, stookwaarde, warmteontwikkeling, wrijvingsarbeid, warmte, rendement,
 - minimaal in de volgende contexten: energiegebruik en energiebesparing in het verkeer, de bewegende mens;

4. met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_z = mgh$$

$$E_{\text{tot,in}} = E_{\text{tot,uit}}$$

$$W = Fs \quad W_{\text{tot}} = \Delta E_k$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad P = \frac{W}{t} \quad P = Fv$$

$$\eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \quad \eta = \frac{E_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}} \quad \eta = \frac{P_{\text{uit}}}{P_{\text{in}}}$$

Domein D. Materialen

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- eenvoudige berekeningen maken met $\rho = \frac{m}{V}$

De leerling kent

- de volgende verschijnselen:
 - warmtetransport door stroming, straling en geleiding,
 - atomaire opbouw van stoffen,
 - de structuur van het atoom, bestaande uit een kern en elektronen,
 - licht, breking en reflectie;
- de volgende begrippen:
 - fasen, faseovergang, molecuul, atoom, kern, elektronen;
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheid:
 - dichtheid, massa, volume, temperatuur, druk;
- het (kwalitatieve) verband tussen temperatuur en moleculaire beweging.

Subdomein D1. Eigenschappen van materialen

Eindterm

De kandidaat kan fysische eigenschappen van gassen, vloeistoffen en vaste stoffen beschrijven en verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen.

Specificatie

De kandidaat kan

- het atomaire model van materie gebruiken bij het verklaren [2] van fasen en faseovergangen
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: gas, vloeistof, vaste stof, smelten, stollen, verdampen, condenseren, sublimeren, rijpen;
- macroscopische eigenschappen en verschijnselen verklaren [2] met behulp van materiemodellen,
 - te weten de volgende eigenschappen en verschijnselen: temperatuur, soortelijke warmte, warmtetransport, absorptie en emissie van elektromagnetische straling, druk, kleur, soortelijke weerstand,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: moleculaire beweging, dichtheid, elektronenschil;
- warmtegeleidingprocessen beschrijven [2] en daaraan berekeningen maken [3]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: warmtegeleidingcoëfficiënt, thermisch geleidingsvermogen,
 - minimaal in de context van energiebesparing door isolatie;
- berekeningen maken [3] met de wet van Hooke en de begrippen spanning, treksterkte en elastische vervorming toelichten [2]
 - en daarbij spanning-rekdiagrammen maken en interpreteren;
- beschrijven [2] hoe licht door een glasvezelkabel getransporteerd wordt en daarbij het begrip breking uitleggen [2]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: brekingsindex, grenshoek, totale terugkaatsing,

- en daarbij het verband leggen tussen de grenshoek en de brekingsindex;
6. de volgende formules kwalitatief hanteren[3]:

$$c = \frac{Q}{m\Delta T}$$

$$p = \frac{F}{A}$$

7. de volgende formules bij berekeningen hanteren[3]:

$$P = kA \frac{\Delta T}{d}$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$F = Cu$$

Domein E. Aarde en heelal

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kent de opbouw van ons zonnestelsel: zon, maan en planeten

Subdomein E1. Zonnestelsel en heelal

Eindterm

De kandidaat kan het ontstaan, de ontwikkeling en eigenschappen van het heelal en structuren daarin beschrijven en bewegingen in het zonnestelsel analyseren en verklaren.

Specificatie

De kandidaat kan

- het ontstaan en de structuur van het zonnestelsel beschrijven [2] en verklaren [2]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: zon, planeet, maan, komeet, meteoriet, gravitatiekracht, middelpuntzoekende kracht,
 - en daarbij waarnemingen van maanfasen en de hemelbaan van zon, maan en sterren kwalitatief interpreteren;
- de baan van planeten om de zon en satellieten om de aarde analyseren [4a] en berekeningen maken [3] met behulp van de gravitatiewet van Newton
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: eenparige cirkelbeweging (als benadering van de ellipsbaan), baanstraal, omlooptijd, geostationaire baan;
- de verschillen tussen het heliocentrisch en het geocentrisch wereldbeeld beschrijven [2] en daarbij aangeven wat de invloed van deze verandering van het wereldbeeld op het menselijk denken is geweest;
- de invloed van de massa en de straal van een planeet op het gewicht van een voorwerp verklaren [2], evenals het verschijnsel gewichtloosheid,
 - en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: valversnelling;
- het ontstaan, de structuur en de ontwikkeling van het heelal beschrijven [2] en rekenen [2] met de afstand in lichtjaar
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: oerknal, uitdijend heelal, lichtsnelheid,
 - en daarbij uitleggen hoe de afstand van een ster en de tijd tussen uitzenden en waarnemen van het sterlicht met elkaar samenhangen;
- beschrijven [2] hoe in het totale spectrum van elektromagnetische straling waarnemingen aan het heelal worden verricht en dat een deel van die elektromagnetische straling afkomstig is van de warmtestraling van zon en andere sterren
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: telescoop, radiotelescoop, ruimtetelescoop, frequentie, golflengte, kleur van een ster, wet van Wien,
 - minimaal in de context van LOFAR (Low-Frequency Array);

7. de volgende formules kwalitatief en ~~(alleen in de context van zonnestelsel en heelal)~~ (alleen in situaties waar slechts één kracht de rol van middelpuntzoekende kracht heeft) bij berekeningen hanteren [3]:

$$F_{\text{grav}} = G \frac{Mm}{r^2} \quad F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r} \quad v = \frac{2\pi r}{T} \quad \lambda_{\text{max}} T = k_w$$

Domein G. Meten en regelen

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- schakelschema's tekenen,
- eenvoudige schakelingen bouwen aan de hand van een schakelschema,
- stroommeter en spanningsmeter adequaat gebruiken,
- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formules:

$$U = IR$$

$$U = U_1 + U_2 \quad I = I_1 = I_2 \quad R_v = R_1 + R_2$$

$$U = U_1 = U_2 \quad I = I_1 + I_2$$

$$P = \frac{E}{t} \quad P = UI$$

De leerling kent

- het verschijnsel elektriciteit,
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheid:
 - spanning, stroomsterkte, weerstand,
 - elektrische energie, vermogen, rendement;
- de volgende begrippen:
 - lading, spanningsbron, wet van Ohm,
 - geleiders en isolatoren,
 - serieschakeling, parallelschakeling,
 - eenvoudig atoommodel: positieve kern met elektronen;
- de volgende toepassingen:
 - kWh-meter, zekering, aardlekschakelaar.

Subdomein G1. Gebruik van elektriciteit

Eindterm

De kandidaat kan aan de hand van fysische begrippen opwekking, transport en toepassingen van elektriciteit beschrijven en analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan

1. het verschijnsel elektrische stroom uitleggen [2] als verplaatsing van lading onder een aangelegde spanning
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: geleidingsvermogen, vrije elektronen, ionen, afstotende en aantrekkende elektrische kracht, weerstand, soortelijke weerstand, spanningsbron,
 - en daarbij de definitie van stroomsterkte, als lading per tijdseenheid gebruiken;
2. stroomkringen kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a] en daarbij voor serie- en parallelschakelingen van ohmse weerstanden berekeningen maken over spanning, stroomsterkte en weerstand
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: wet van Ohm, vervangingsweerstand, stroomdeling, spanningsdeling, kortsluiting, zekering, aardlekschakelaar,
 - en daarbij de functie van de volgende componenten toelichten: relais, diode, LDR, NTC, PTC, ohmse weerstand, gloeilamp;
3. het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]

- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: elektrische energie, Joule, kilowattuur,
 - minimaal in de volgende contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, LED, elektromotor en verwarmingselement), energiegebruik, energiebesparing;
4. verschillende wijzen van opwekking van elektrische energie vergelijken op basis van berekeningen [3] aan vermogen, rendement en energiedichtheid, evenals de energetische aspecten van opslag en transport van elektrische energie
- en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: generator, batterij, accu, zonnecel, transformator (als component),
 - minimaal de volgende wijzen van opwekkingswijzen: (kern)centrale, zonnecel, waterkrachtcentrale, windturbine,
 - minimaal in de context van energiebesparing;
5. de volgende formules kwalitatief gebruiken [3]:

$$I = GU \quad I = \frac{Q}{t}$$

6. met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$U = IR \quad R = \rho \frac{l}{A}$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots \quad I = I_1 = I_2 = \dots \quad R_v = R_1 + R_2 + \dots$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots \quad I = I_1 + I_2 + \dots \quad \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

$$P = UI \quad P = \frac{E}{t} \quad P = I^2 R$$

$$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{el}}}$$

Domein H. Natuurkunde en technologie

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan een technisch ontwerp maken en daarbij een programma van eisen opstellen, het ontwerp uitvoeren, testen en evalueren.

Eindterm

De kandidaat kan de rol van fysische principes en wetmatigheden in de ontwikkeling van technologie beschrijven. Daarnaast kan de kandidaat aangeven wat bij de ontwikkeling van technologie de rol is van de verschillende fasen in het ontwerpproces.

Specificatie

De kandidaat kan

1. de belangrijkste fasen in het ontwerpproces onderscheiden [2],
 - te weten: analyseren van het probleem, programma van eisen opstellen, (deel)uitwerkingen formuleren, ontwerpvoorstel formuleren, ontwerp realiseren, ontwerp testen en evalueren,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: ontwerpcyclus, taak, eigenschap, functie, ideeëntabel, prototype;
2. fysische principes en wetmatigheden toepassen [3] op bestaande en nieuw te ontwerpen producten
 - en daarbij in deze syllabus gespecificeerde natuurkundige kennis hanteren;
3. voorbeelden gebruiken [3] om de betekenis van technologie voor de ontwikkeling van natuurkundige kennis toe te lichten
 - en daarbij de verschillen en overeenkomsten tussen technisch ontwerpen en experimenteel onderzoek beschrijven.

3.3 Specificaties vwo

Domein A1. Algemene vaardigheden

Subdomein A1.1. Informatievaardigheden

Eindterm

De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

Specificatie

De kandidaat kan

1. informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen, mede met behulp van ICT,
2. informanten kiezen en informanten bevragen,
3. benodigde gegevens halen uit grafieken, tekeningen, simulaties, schema's, diagrammen en tabellen en deze gegevens interpreteren, mede met behulp van ICT:
 - onder andere het in tabellen opzoeken van grootheden, symbolen, eenheden en formules,
4. gegevens weergeven in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen, mede met behulp van ICT,
5. hoofd- en bijzaken onderscheiden,
6. feiten met bronnen verantwoorden,
7. informatie en meetresultaten analyseren, schematiseren en structureren, mede met behulp van ICT,
8. de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor het op te lossen probleem of ontwerp.

Subdomein A1.2. Communiceren

Eindterm

De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

Subdomein A1.3. Reflecteren op leren

Eindterm

De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

Subdomein A1.4. Studie en beroep

Eindterm

De kandidaat kan toepassingen en effecten van vakkennis en vaardigheden in verschillende studietoestand en beroepssituaties herkennen en benoemen en kan een verband leggen tussen de praktijk van deze studies en beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en belangstelling.

specificaties vwo

Domein A2. Natuurwetenschappelijke, technische en wiskundige vaardigheden

Subdomein A2.1. Onderzoeken

Eindterm

De kandidaat kan een vraagstelling in een geselecteerde context analyseren gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken.

Specificatie

De kandidaat kan

1. een natuurwetenschappelijk probleem herkennen en specificeren,

2. verbanden leggen tussen een probleemstelling en natuurwetenschappelijke kennis,
3. een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een onderzoeksvraag,
4. een hypothese opstellen en verwachtingen formuleren,
5. een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter
6. beantwoording van een onderzoeksvraag,
7. relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen,
8. conclusies trekken op grond van verzamelde gegevens van uitgevoerd onderzoek,
9. de uitvoering van het onderzoek en de conclusies evalueren.

Subdomein A2.2. Ontwerpen

Eindterm

De kandidaat kan een ontwerp op basis van een gesteld probleem voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen/theorie gebruiken.

Specificatie

De kandidaat kan

1. een technisch probleem herkennen en specificeren,
2. voor een ontwerp een programma van eisen en wensen opstellen,
3. verschillende uitwerkingen geven voor functies en eigenschappen van het ontwerp,
4. een beargumenteerd voorstel doen voor het ontwerp, rekening houdend met prioriteiten, mogelijkheden en randvoorwaarden,
5. een werkplan maken voor het uitvoeren van het ontwerp,
6. een prototype van het ontwerp bouwen,
7. het ontwerpproces en -product evalueren, rekening houdend met ontwerpeisen en randvoorwaarden,
8. voorstellen doen voor verbetering van het ontwerp.

Subdomein A2.3. Modelvorming

Eindterm

De kandidaat kan een realistische contextsituatie analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren en het model toetsen en beoordelen.

Specificatie

De kandidaat kan

1. relevante grootheden en relaties in een probleemsituatie identificeren en door aannamen en vereenvoudigingen het probleem inperken tot een onderzoekbare vraagstelling,
2. waarden en foutmarges van modelparameters schatten op basis van gegevens,
3. toetsbare verwachtingen formuleren over het gedrag van het model,
4. modellen die geformuleerd zijn in termen van differentievergelijkingen² omzetten naar een werkend computermodel en dit model met een geschikte tijdstap doorrekenen,
5. standaard modelstructuren herkennen en het gedrag van deze modelstructuren toelichten en onderzoeken. In ieder geval verval/groei (1e orde) en oscillaties (2e orde),
6. een model evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens, rekening houdend met eventuele foutmarges in modelparameters,
7. modellen, modeluitkomsten en evaluatieresultaten op geschikte manieren presenteren en toelichten,
8. aan de hand van voorbeelden uitleggen hoe grenzen aan de voorspelbaarheid kunnen voortkomen uit: onzekerheden in het model; beperkte rekencapaciteit en chaoticiteit.

Subdomein A2.4. Redeneren

Eindterm

² niet te verwarren met differentiaalvergelijkingen, bedoeld worden vergelijkingen met differenties, aangegeven

met Δ , bv. $v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$

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

Subdomein A2.5. Waarderen en oordelen

Eindterm

De kandidaat kan een beargumenteerd oordeel over een situatie in de natuur of een technische toepassing geven en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten en persoonlijke uitgangspunten.

Subdomein A2.6. Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan:

1. basisrekenvaardigheden uitvoeren:
 - gebruiken van de voorrangregels,
 - een rekenmachine gebruiken,
 - rekenen met verhoudingen, verhoudingstabel, procenten, breuken, eenvoudige machten, vierkantswortels,
 - rekenen met machten van 10 met gehele exponenten,
 - het metrieke stelsel en de standaardeenheden gebruiken,
 - omtrek en oppervlakte berekenen van eenvoudige meetkundige figuren (cirkel, driehoek, rechthoek),
 - de juiste benamingen gebruiken voor de bewerkingen,
 - de juiste schrijfwijze van getallen en bewerkingstekens gebruiken,
2. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren:
 - formules zoals vermeld bij "bekend verondersteld" bij de vakinhoudelijke subdomeinen.
3. wiskundige technieken toepassen
 - werken met en omwerken van eenvoudige formules;
 - rekenen met evenredigheden (recht, omgekeerd en kwadratisch);
 - oplossen van lineaire vergelijkingen;
 - toepassen van de stelling van Pythagoras;
 - gebruik maken van sinus, cosinus en tangens.
 - grafieken tekenen van evenredige verbanden (recht, omgekeerd en kwadratisch) en exponentiële verbanden.

Eindterm

De kandidaat kan een aantal voor het vak relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij vakspecifieke probleemsituaties:

Specificatie

De kandidaat kan

1. basisrekenvaardigheden uitvoeren:
 - een (grafische) rekenmachine gebruiken;
 - de oppervlakte berekenen van een bol;
 - het volume berekenen van een cilinder en een bol;
 - absolute waarde toepassen;
2. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren:
 - formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen.
3. wiskundige technieken toepassen:
 - omwerken van wiskundige betrekkingen,
 - rekenen met evenredigheden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch en wortel),
 - oplossen van lineaire en tweedegraads vergelijkingen,
 - oplossen van twee lineaire vergelijkingen met twee onbekenden,
 - toepassen van de stelling van Pythagoras,
 - gebruik maken van sinus, cosinus en tangens.
 - toepassen van de sinus-, en cosinusfunctie,

- optellen, aftrekken en ontbinden van vectoren en vermenigvuldigen met een scalar; berekeningen bij ontbinden alleen bij twee onderling loodrechte richtingen; berekeningen van grootte en richting bij samenstellen van vectoren alleen bij twee onderling loodrechte assen,
 - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift,
 - interpoleren en extrapoleren in grafiek, tabellen en diagrammen,
 - de grafiek tekenen en het functievoorschrift opstellen bij lineaire en evenredige verbanden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch en wortel),
 - tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen,
 - de oppervlakte onder een grafiek bepalen,
 - relaties van de vorm $y = ax^2$, $y = ax^{-1}$, $y = ax^{-2}$, $y = ax^{1/2}$ door coördinatentransformatie weergeven als grafieken met een rechte lijn,
 - radiaal als hoekmaat,
 - benadering van sinus en tangens voor kleine hoeken,
 - gebruik van $\log x$, $\ln x$, e^{-ax} , e^{ax} , a^x en x^a .
4. in natuurkundige formules eenheden afleiden en controleren.
 5. uitkomsten schatten en beoordelen.
 6. uitkomsten van berekeningen weergeven in een aanvaardbaar aantal significante cijfers: een uitkomst mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is.

Domein A3 Vakvaardigheden

Subdomein A3.1. Technisch-instrumentele vaardigheden

Eindterm

De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor het vak relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

Specificatie

De kandidaat kan

1. gebruik maken van materialen, instrumenten en apparaten:
 - voor het in de praktijk uitvoeren van experimenten en technisch ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud, voor zover veiligheid, milieueisen, kosten en beschikbaar instrumentarium dat toelaten,
 - in elk geval de volgende materialen en apparatuur:
 - o krachtmeter, hefboom, katrol, tandwiel
 - o videocamera (videometen)
 - o sensor en computer, lichtpoortje, reedcontact, stroboscoop
 - o stemvork, toongenerator, luidspreker, microfoon, oscilloscoop
 - o prisma, filters, optische schijf, brekingslichamen, glasvezels
 - o (vloeistof)thermometer, meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal
 - o elektroscop, batterij, voedingsapparaat, schuifweerstand, stroommeter, spanningsmeter, kWh-meter, ohmse weerstand, LDR, NTC, PTC, gloeilamp, LED
 - o permanente magneten, stroomspoel, dynamo, transformator
 - o GM-teller;
2. bij het raadplegen, verwerken en presenteren van informatie en bij het inzichtelijk maken van processen gebruik maken van toepassingen van ICT;
3. gebruik maken van micro-elektronicasystemen voor meten, sturen en regelen van grootheden,
4. aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten;
5. verantwoord omgaan met materialen en instrumenten, zonder daarbij schade te berokkenen aan mensen, dieren en milieu.

Subdomein A3.2. Vaktaal

Eindterm

De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

Subdomein A3.3. Vakspecifiek gebruik van de computer

Eindterm

De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

Subdomein A3.4. Kwantificeren en interpreteren

Eindterm

De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

Domein B. Communicatie

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formules:

$$f = \frac{1}{T}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{v} + \frac{1}{b} \text{ (voor een positieve lens in de context van het menselijk oog en eenvoudige optische instrumenten),}$$

- frequenties bepalen uit een oscillogram,
- bij een positieve lens het beeld van een voorwerp construeren.

De leerling kent

- de volgende verschijnselen:
 - geluid, in de context van spraak en muziek,
 - licht, breking en reflectie (spiegelend en diffuus),
 - beeldvorming door een positieve lens in de context van het menselijk oog en eenvoudige optische instrumenten,
 - kleurschifting in een prisma,
 - het spectrum van elektromagnetische straling en het gebruik daarvan in een aantal communicatietoepassingen;
- de volgende begrippen:
 - geluidstrilling, toonhoogte en zuivere toon;
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheden:
 - geluidssnelheid, trillingstijd, frequentie,
 - brandpuntafstand, voorwerpsafstand, beeldafstand;
- de volgende kwalitatieve verbanden:
 - verband tussen golflengte en type elektromagnetische straling,
 - verband tussen de amplitude van een oscillogram en de geluidsterkte van de geregistreerde toon.

Subdomein B1. Informatieoverdracht

Eindterm

De kandidaat kan de eigenschappen van trillingen en golven gebruiken in het analyseren en verklaren van informatieoverdracht.

Specificatie

De kandidaat kan

1. trillingsverschijnselen in de natuur, in de techniek en bij natuurkundige proeven kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a], wiskundig beschrijven [2] en grafisch weergeven [2],
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: uitwijking, amplitude, trillingstijd, frequentie,
 - periode, fase, gereduceerde fase, faseverschil, harmonische trilling, slinger, massaveersysteem, oscillogram,

- minimaal in de context van een cardiogram;
- golfverschijnselen in de natuur, in de techniek en bij natuurkundige proeven kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a], wiskundig beschrijven [2] en grafisch weergeven [2],
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: lopende golf, golflengte, voortplantingsnelheid geluidsnelheid, lichtsnelheid, fase, gereduceerde fase, faseverschil, transversaal, longitudinaal;
 - het ontstaan van staande golven uitleggen [2]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: superpositie, interferentie, resonantie, knoop, buik, grondtoon, boventoon,
 - minimaal in de context van muziekinstrumenten;
 - informatieoverdracht tussen een zender en ontvanger uitleggen [2]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: draaggolf, modulatie, digitale codering, pulsmodulatie, amplitudemodulatie, frequentiemodulatie, bemonsteringsfrequentie, 3-dB bandbreedte, bit, datatransfer rate,
 - minimaal in de volgende contexten: digitale muziek, e-mail, ~~LOFAR (Low Frequency Array)~~;
 - de volgende formules kwalitatief hanteren [3]:

$$l = n \frac{1}{2} \lambda$$

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

- met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$f = \frac{1}{T} \quad u(t) = A \sin(2\pi ft) \quad v_{\max} = \frac{2\pi A}{T} \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta t}{T}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{C}} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

$$v = \lambda f \quad \Delta\varphi = \frac{\Delta x}{\lambda}$$

Domein C. Beweging en wisselwerking

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formules:

$$s = vt \quad s = \frac{1}{2} at^2$$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$F = Cu$$

- minimaal de volgende krachten herkennen en benoemen: veerkracht, zwaartekracht, wrijvingskracht,
- plaats-tijd diagrammen interpreteren: aflezen, beschrijven van bewegingen,
- snelheid-tijd diagrammen interpreteren: aflezen, beschrijven van bewegingen, helling interpreteren als snelheid, oppervlakte interpreteren als verplaatsing,
- krachten samenstellen in een vectortekening,
- met de hefboomwet krachten berekenen in toepassingen van twee krachtmomenten in evenwicht.

De leerling kent

- de volgende verschijnselen:
 - kracht als oorzaak van bewegingsverandering,
 - wrijving,
 - hefboomwerking,
 - energieomzetting en energiebehoud,
 - opbouw van ons zonnestelsel: zon, maan en planeten;
- de volgende begrippen:
 - vector,
 - eenparige beweging, eenparig versnelde beweging,
 - energie in de context van verkeer en vervoer

- energiebalans, energieopslag;
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheden:
 - plaats, verplaatsing, afgelegde weg, afstand, snelheid, gemiddelde snelheid, versnelling, relatieve snelheid,
 - kracht,
 - energie, rendement, vermogen,
 - dichtheid, massa, volume,
 - veerconstante, uitrekking;

Subdomein C1. Kracht en beweging

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen kwalitatief en kwantitatief analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

Specificatie

De kandidaat kan

1. eigenschappen van bewegingen bepalen [3] aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen,
 - te beperken tot rechtlijnige ~~eenparige bewegingen, rechtlijnige eenparig versnelde bewegingen vanuit rust (waaronder vrije val) en valbewegingen met wrijving,~~
 - en daarbij:
 - de snelheid bepalen zo nodig met behulp van een raaklijn,
 - de gemiddelde snelheid bepalen,
 - de versnelling bepalen uit een snelheid-tijddiagram,
 - de verplaatsing bepalen uit een snelheid-tijddiagram door middel van oppervlaktebepaling;
2. vraagstukken met betrekking tot eenparige bewegingen en eenparig versnelde bewegingen oplossen [4a] en deze bewegingen wiskundig beschrijven [2]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: plaats, tijd, snelheid, (val)versnelling, vrije val, horizontale worp, baan;
3. krachten op een systeem aan de hand van een vectortekening analyseren [4a], waaronder het samenstellen en ontbinden in componenten met behulp van een parallellogram en het bepalen van grootte en/of richting van krachten uit een vectortekening,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: krachtenevenwicht, grootte, richting, zwaartekracht, wrijvingskracht, normaalkracht, spankracht, spierkracht, veerkracht;
4. de eerste wet van Newton uitleggen [2] aan de hand van voorbeelden en gebruiken bij het verklaren [2] van bewegingen
 - en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: traagheid;
5. met de tweede wet van Newton problemen kwalitatief en kwantitatief oplossen [4a]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: resulterende kracht, versnelling, massa, zwaartekracht, gewicht, veerkracht, normaalkracht, spankracht, definitie van de eenheid van kracht;
6. de derde wet van Newton toepassen [3] bij het beschrijven van krachtenparen in verschillende toepassingen en bij het maken van berekeningen [3]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: actiekracht, reactiekracht;
7. een rekenmodel ontwerpen [4b] en gebruiken [3] voor de beweging van een voorwerp op basis van een analyse van aanwezige krachten, en die beweging analyseren [4a] door de modelparameters te manipuleren,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: iteratief proces, luchtwrijving,
 - en daarbij een computermodel gebruiken;
- ~~8. situaties met krachtmomenten in evenwicht kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a] met de momentenwet~~
 - ~~• en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: krachtmoment, zwaartepunt, aangrijpingspunt, drager/werklijn,~~
 - ~~• minimaal in de context van het menselijk lichaam;~~
9. met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{s}{\Delta t} \quad a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$s(t) = \frac{1}{2}at^2 \quad (v_b = 0) \quad v(t) = at$$

$$x(t) = v_x t \quad v_x(t) = v(0) \quad y(t) = \frac{1}{2}gt^2 \quad v_y(t) = gt$$

$$\vec{F}_{\text{res}} = \sum \vec{F}_i = m\vec{a}$$

$$\vec{F}_{\text{veer}} = -C\vec{u} \quad F_{w,l} = \frac{1}{2}\rho c_w Av^2$$

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

$$\sum M_i = 0 \quad \text{---} M = Fr$$

Subdomein C2. Energie en wisselwerking

Eindterm

De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

Specificatie

De kandidaat kan

- berekeningen maken [3] met betrekking tot kracht, arbeid en vermogen in situaties van systemen bij constante snelheden
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: luchtwrijving, schuifwrijving, rolwrijving,
 - en daarbij de arbeid van de kracht bepalen uit een kracht-verplaatsingsdiagram;
- versnelde en vertraagde bewegingen, waaronder de vrije val, de verticale worp omhoog, de slinger, trillende veersystemen en stuiteren zonder wrijving, kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a] met behulp van de wet van behoud van energie en de relatie tussen arbeid en kinetische energie,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: kinetische energie, potentiële energie, zwaarte-energie, veerenergie, veerconstante, energieopslag, (positieve en negatieve) arbeid, arbeid door de zwaartekracht, energiebalans van een systeem, verklaring van periodieke bewegingen;
- energieomzettingen bij verplaatsingen kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: stookwaarde, warmteontwikkeling, wrijvingsarbeid, warmte, rendement,
 - minimaal in de volgende contexten: energiegebruik en energiebesparing in het verkeer, de bewegende mens;
- de wet van behoud van impuls toepassen [3] bij eendimensionale botsingen,
 - uitsluitend kwalitatief bij volkomen elastische botsingen, kwalitatief en kwantitatief bij volkomen inelastische botsingen;
- met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$W = Fs \cos \alpha \quad \sum W = \Delta E_k$$

$$P = \frac{\Delta E}{\Delta t} \quad P = \frac{W}{t} \quad P = Fv$$

$$E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_z = mgh \quad E_{\text{veer}} = \frac{1}{2}Cu^2$$

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

$$E_{\text{chem}} = r_v V \quad E_{\text{chem}} = r_m m \quad \eta = \frac{W_{\text{uit}}}{E_{\text{in}}}$$

$$p = mv \quad \sum p_{\text{voor}} = \sum p_{\text{na}}$$

Subdomein C3. Gravitatie

Eindterm

De kandidaat kan structuren en bewegingen in het heelal analyseren en verklaren aan de hand van de gravitatiewisselwerking.

Specificatie

De kandidaat kan

1. de baan van voorwerpen in een zwaartekrachtsveld analyseren [4a] en berekeningen maken [3] met behulp van de gravitatiewet van Newton
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: gravitatiewisselwerking, gravitatiekracht, middelpuntzoekende kracht, eenparige cirkelbeweging, baanstraal, omlooptijd, geostationaire baan,
 - minimaal in de volgende contexten: planeetbaan, satelliet,
 - en daarbij met een computersimulatie de bewegingen van planeten, kometen en andere hemellichamen analyseren;
- ~~2. de bewegingen van voorwerpen in een zwaartekrachtsveld beschrijven [2]
 - en daarbij het volgende vakbegrippen hanteren: gravitatie energie;~~
- ~~3. de volgende formules kwalitatief hanteren [3]:~~

$$E_{\text{grav}} = -G \frac{mM}{r}$$

4. de volgende formules kwalitatief en (alleen in situaties waar slechts één kracht de rol van middelpuntzoekende kracht heeft) bij berekeningen hanteren [3]:

$$F_{\text{grav}} = G \frac{mM}{r^2} \quad F_{\text{mpz}} = \frac{mv^2}{r} \quad T = \frac{2\pi r}{v}$$

Domein D. Lading en veld

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- schakelschema's tekenen,
- eenvoudige schakelingen bouwen aan de hand van een schakelschema,
- stroommeter en spanningsmeter adequaat gebruiken,
- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formules:

$$U = IR$$

$$U = U_1 + U_2 \quad I = I_1 = I_2 \quad R_v = R_1 + R_2$$

$$U = U_1 = U_2 \quad I = I_1 + I_2$$

$$P = \frac{E}{t} \quad P = UI$$

De leerling kent

- het verschijnsel elektriciteit,
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheid:
 - spanning, stroomsterkte, weerstand,
 - elektrische energie, vermogen, rendement;
- de volgende begrippen:
 - lading, spanningsbron, wet van Ohm,
 - geleiders en isolatoren,
 - serieschakeling, parallelschakeling,
 - eenvoudig atoommodel: positieve kern met elektronen;
- de volgende toepassingen:
 - kWh-meter, zekering, aardlekschakelaar.

Subdomein D1. Elektrische systemen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten elektrische schakelingen analyseren en ontwerpen en de functie en werking van de componenten beschrijven.

Specificatie

De kandidaat kan

- het verschijnsel elektrische stroom uitleggen [2] als verplaatsing van lading onder een aangelegde spanning
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: geleidingsvermogen, vrije elektronen, ionen, geleidingsband, afstotende en aantrekkende elektrische kracht, weerstand, spanning, spanningsbron, batterij, accu,
 - en daarbij de definitie van stroomsterkte, als lading per tijdseenheid, en spanning, als energie per ladingseenheid gebruiken;
- stroomkringen kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a] en daarbij voor serie- en parallelschakelingen van ohmse weerstanden berekeningen maken over spanning, stroomsterkte en weerstand
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: wet van Ohm, vervangingsweerstand, soortelijke weerstand, stroomdeling, spanningsdeling, kortsluiting, zekering, aardlekschakelaar,
 - en daarbij de functie van de volgende componenten toelichten: relais, diode, LDR, NTC, PTC, ohmse weerstand, gloeilamp;
- het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: elektrische energie, Joule, kilowattuur,
 - minimaal in de volgende contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, LED, elektromotor en verwarmingselement), energiegebruik, energiebesparing;
- een eenvoudig intelligent systeem ontwerpen [4b] met diverse verwerkingscomponenten³
 - en daarbij de volgende componenten toepassen: sensor, comparator, inverter, EN-poort, OFpoort, geheugencel, teller, actuator,
 - en daarbij de microprocessor kennen als verzameling geïntegreerde componenten
 - en daarbij getallen in het binaire en decimale stelsel in elkaar kunnen omrekenen ten behoeve van het gebruik van de teller;
- de volgende formules kwalitatief gebruiken [3]:

$$I = GU \quad I = \frac{Q}{t} \quad U = \frac{E}{Q}$$

- met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$U = IR$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots \quad I = I_1 = I_2 = \dots \quad R_v = R_1 + R_2 + \dots$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots \quad I = I_1 + I_2 + \dots \quad \frac{1}{R_v} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

$$R = \rho \frac{l}{A}$$

$$P = UI \quad P = \frac{E}{t} \quad P = I^2 R$$

$$\eta = \frac{P_{\text{nuttig}}}{P_{\text{el}}}$$

Subdomein D2. Elektrische en magnetische velden

Eindterm

De kandidaat kan in contexten elektromagnetische verschijnselen beschrijven, analyseren en verklaren.

Specificatie

De kandidaat kan

- elektrische velden en elektrische veldsterkte beschrijven [2] als gevolg van de aanwezigheid van elektrische lading
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: veldlijnen, homogeen elektrisch veld;

³ Over specificatie D1.4 kunnen in het centraal examen van 2011 nog vragen worden gesteld. In 2012 en daarna niet meer.

2. met behulp van het verband tussen elektrische potentiaal en kinetische energie de energieverandering van een geladen deeltje in een elektrisch veld kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]
 - en daarbij de eenheid elektronvolt hanteren,
 - minimaal in de volgende contexten: oscilloscoop, röntgenbuis, lineaire versneller, onweer, ontlading;
3. de begrippen magnetisch veld, magnetische veldsterkte en flux toepassen [3] op magnetische verschijnselen
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: homogeen magnetisch veld, veldlijnen, permanente magneet, elektromagneet, rechte stroomdraad, spoel,
 - minimaal in de volgende contexten: aardmagnetisch veld, relais, luidspreker;
4. het gedrag van elektrische stroom en bewegende lading in een magnetisch veld beschrijven [2] en daarbij de grootte en richting van de lorentzkracht op stroomdraden en geladen deeltjes bepalen [3]
 - en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: halleffect,
 - minimaal in de volgende contexten: elektromotor, noorder- en zuiderlicht, synchrotron;
5. elektromagnetische inductieverschijnselen (waaronder een bewegende magneet in een spoel en een draaiend draadraam in een homogeen magneetveld) kwalitatief analyseren [4a]⁴
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: fluxverandering en inductiespanning,
 - minimaal in de volgende contexten: dynamo, microfoon;
6. de volgende formules kwalitatief hanteren [3]:

$$F_{\text{el}} = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\vec{F}_{\text{el}} = q \vec{E} \quad U_{\text{el}} = \frac{\Delta E_{\text{el}}}{q}$$

$$U_{\text{ind}} = -N \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

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

7. met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$\Delta E_k = qU$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$F_L = BIl \quad F_L = qvB$$

Domein E. Straling en materie

Bekend verondersteld uit de onderbouw

De leerling kan

- eenvoudige berekeningen maken met $\rho = \frac{m}{V}$

De leerling kent

- de volgende verschijnselen:
 - atomaire opbouw van stoffen,
 - de structuur van het atoom, bestaande uit een kern met protonen, neutronen en elektronen,
 - verschillende soorten elektromagnetische straling,
 - het bestaan van sterren en sterstelsels en het feit dat deze licht uitzenden;
- de volgende begrippen:
 - fasen, faseovergang, molecuul, atoom, kern, protonen, neutronen, elektronen,
- de volgende grootheden met bijbehorende eenheid:
 - dichtheid, massa, volume, temperatuur, druk,
- het (kwalitatieve) verband tussen temperatuur en moleculaire beweging.

⁴ Over specificatie D2.5 en de bijbehorende formules in D2.6 kunnen in het centraal examen van 2011 geen vragen worden gesteld. In 2012 en daarna kunnen hierover alleen kwalitatieve vragen gesteld worden.

Subdomein E2. Elektromagnetische straling en materie

Eindterm

De kandidaat kan in astrofysische contexten verschijnselen beschrijven en verklaren aan de hand van de begrippen continu en lijnspectrum, absorptie, emissie en stralingsenergie.

Specificatie

De kandidaat kan

1. het atoommodel van Bohr beschrijven [2] met behulp van het golfkarakter van materie
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: de-brogliegolflengte, waterstofspectrum, deeltje-golfdualiteit;
2. spectra van het licht van sterren kwalitatief en kwantitatief analyseren [4a]
 - en daarbij uit energieniveauschema's golflengtes en frequenties van spectraallijnen bepalen,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: absorptie- en emissiespectrum, fraunhoferlijnen, spectrale classificatie van sterren, dopplerverschuiving, de radiale snelheid van sterren, lijnverbreding;
3. het verband tussen de kleur en de temperatuur van een voorwerp beschrijven [2]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: planckkromme, elektromagnetisch spectrum, infrarood straling, zichtbaar licht, ultraviolet licht, continu spectrum, verschuivingswet van Wien,
 - minimaal in de context van de kleur en temperatuur van gloeilampen en sterren;
4. verklaren [2] hoe luminositeit (totale lichtkracht), grootte, temperatuur en afstand van een ster met elkaar samenhangen
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: kwadratenwet, wet van Stefan-Boltzmann,
 - minimaal in de context van het vermogen van de zon;
5. beschrijven [2] hoe in het totale spectrum van elektromagnetische straling waarnemingen aan het heelal worden verricht
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: telescoop, radiotelescoop, ruimtetelescoop,
 - minimaal in de context van LOFAR (Low Frequency Array);
6. de volgende formules kwalitatief hanteren [3]:

$$\lambda = \frac{h}{p} \quad \lambda_{\max} T = k_w \quad I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad \frac{P}{A} = \sigma T^4 \quad L = 4\pi R^2 \sigma T^4$$

7. met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$E_f = hf \quad E_f = \frac{hc}{\lambda} \quad E_f = |E_m - E_n| \quad v = \frac{\Delta\lambda}{\lambda} c$$

Subdomein E3. Kern- en deeltjesprocessen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten behoudswetten en de equivalentie van massa en energie gebruiken in het beschrijven en analyseren van kernprocessen. Daarbij kan de kandidaat eigenschappen en ontstaan van ioniserende straling beschrijven, toepassingen verklaren en de effecten op mens en milieu beschrijven.

Specificatie

De kandidaat kan

1. de verschillende soorten ioniserende straling, hun bronnen en hun eigenschappen benoemen [1], evenals de risico's van deze vormen van straling voor mens en milieu en berekeningen maken [3] met (equivalente) dosis
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: isotopen, atomaire massa eenheid, ioniserend en doordringend vermogen, dracht, röntgenstraling, α -, β - en γ -straling, kosmische straling, bestraling, besmetting, activiteit, stralingsdosis, equivalente dosis, effectieve totale lichaamsdosis, dosimeter;
2. in technische en medische contexten kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a] waarbij de halveringstijd of halveringsdikte een rol speelt
 - en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: doorlaatkromme,
 - minimaal in de context van C14-datering;

3. reactievergelijkingen voor kern- en deeltjesprocessen opstellen en hanteren [3] door gebruik te maken van symmetrie en behoudswetten voor energie, elektrische lading en lepton- en baryongetal
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: atoomnummer, massagetal, classificatie van deeltjes in het standaardmodel (alleen 1_e generatie), α -verval en β -verval;
4. eenvoudige deeltjesinteracties met behulp van diagrammen beschrijven [2]
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: paarcreatie, paarannihilatie,
 - minimaal in de context van PET (Positron Emission Tomography);
5. kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a] over de energie die vrijkomt bij kernfusie en kernsplijting
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: kritische massa, kettingreactie, bindingsenergie, massadefect, kernreactor;
6. detectiemethoden van elementaire deeltjes beschrijven [2]
 - en daarbij het volgende vakbegrip hanteren: achtergrondstraling;
7. met de volgende formules kwalitatieve en kwantitatieve problemen oplossen [4a]:

$$E = mc^2 \quad A = N + Z \quad A(t) = -\frac{\Delta N(t)}{\Delta t} \quad N(t) = N(0)\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{t_{1/2}}} \quad I(x) = I(0)\left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{x}{d_{1/2}}}$$

$$D = \frac{E}{m} \quad H = QD$$

Domein H. Natuurwetten

Eindterm

De kandidaat kan op micro-, macro- en kosmische schaal fysische principes en wetmatigheden benoemen, toepassen en met elkaar verbinden. Daarnaast kan de kandidaat aangeven wat in de natuurwetenschap de rol is van waarneming, experiment, theorie en model.

Specificatie

De kandidaat kan

1. voorbeelden die aansluiten bij de vwo-domeinen C en E uit deze syllabus gebruiken [3] om te laten zien hoe natuurkundige kennis tot stand komt en welke eisen aan dit proces worden gesteld
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: waarneming, theorie, verklaring, hypothese, voorspelling, experiment, meting, analyse, nauwkeurigheid, betrouwbaarheid, verificatie, falsificatie, reproduceerbaarheid, toeval, serendipiteit, systeem, analogie;
2. voorbeelden die aansluiten bij de vwo-domeinen C en E uit deze syllabus gebruiken [3] om de wederzijdse beïnvloeding van technologie en natuurkundige kennis toe te lichten en de rol van meetinstrumenten en waarnemingsmethoden daarin te beschrijven;
3. voorbeelden die aansluiten bij de vwo-domeinen C en E uit deze syllabus gebruiken [3] 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
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: schaalmodel, rekenmodel, computermodel;
4. in de vwo-domeinen van deze syllabus beschreven fysische verschijnselen en processen gebruiken [3] om aan te tonen hoe deze op microschaal, macroschaal en kosmische schaal verklaard en geanalyseerd kunnen worden aan de hand van dezelfde principes, en daarbij de grenzen van de toepasbaarheid van deze principes aangeven,
 - en daarbij de volgende vakbegrippen hanteren: afstand- en tijdschalen, model, patroonherkenning, natuurwet, natuurconstanten, verband, vergelijking,
 - minimaal aan de hand van de volgende principes: behoudswetten, wisselwerking, deeltjesmodel van materie.

Bijlage 1a Examenprogramma havo

Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

Domein A Vaardigheden

Domein B Beeld- en Geluidstechniek

Domein C Beweging en energie

Domein D Materialen

Domein E Aarde en Heelal

Domein F Menselijk Lichaam

Domein G Meten en regelen

Domein H Natuurkunde en technologie

Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, B2, C1, C2, D1, E1, G1 en H in combinatie met de vaardigheden uit domein A.

De CEVO kan bepalen, dat het centraal examen ten dele betrekking heeft op andere subdomeinen, mits de subdomeinen van het centraal examen tezamen dezelfde studielast hebben als de in de vorige zin genoemde.

De CEVO stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

De CEVO maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A en:

- ten minste de domeinen en subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft; daarbij kan het bevoegd gezag uit de subdomeinen E2 en G2 één subdomein kiezen, dan wel deze keuze aan de kandidaat laten.
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: een of meer domeinen of subdomeinen waarop het centraal examen betrekking heeft;
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: andere vakonderdelen, die per kandidaat kunnen verschillen.

De examenstof

Domein A1: Algemene Vaardigheden - profieloverstijgend niveau

A1.1 Informatievaardigheden

De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

A1.2 Communiceren

De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

A1.3 Reflecteren op leren

De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

A1.4 Studie en beroep

De kandidaat kan toepassingen en effecten van vakkennis en vaardigheden in verschillende studie- en beroepssituaties herkennen en benoemen en kan een verband leggen tussen de praktijk van deze studies en beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en belangstelling.

Domein A2: Wiskundige, natuurwetenschappelijke en technische vaardigheden
- profielniveau

A2.1 Onderzoeken

De kandidaat kan een vraagstelling in een geselecteerde context analyseren gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken.

A2.2 Ontwerpen

De kandidaat kan een ontwerp op basis van een gesteld probleem voorbereiden, uitvoeren, testen

en evalueren en daarbij relevante begrippen/theorie gebruiken.

A2.3 Modelvorming

De kandidaat kan een realistische contextsituatie analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren en het model toetsen en beoordelen.

A2.4 Redeneren

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

A2.5 Waarderen en oordelen

De kandidaat kan een beargumenteerd oordeel over een situatie in de natuur of een technische toepassing geven en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten en persoonlijke uitgangspunten.

A2.6 Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

De kandidaat kan een aantal voor het vak relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij vakspecifieke probleemsituaties.

A2.7 Kennisvorming

De kandidaat kan weergeven hoe natuurwetenschappelijke kennis ontstaat, welke vragen natuurwetenschappelijke onderzoekers kunnen stellen en hoe ze aan betrouwbare antwoorden komen.

A2.8 Toepassing van kennis

De kandidaat kan analyseren hoe natuurwetenschappelijke en technische kennis wordt toegepast en kan reflecteren op de wisselwerking tussen natuurwetenschap, techniek en samenleving.

A2.9 De invloed van natuurwetenschap en techniek

De kandidaat kan oordelen over de betrouwbaarheid van toegepaste natuurwetenschappelijke kennis en een eigen mening over maatschappelijk-natuurwetenschappelijke vraagstukken vormen.

Domein A3: Natuurkundige vaardigheden

A 3.1 Technisch-instrumentele vaardigheden

De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor het vak relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

A3.2 Vaktaal

De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

A3.3 Vakspecifiek gebruik van de computer

De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

A3.4 Kwantificeren en interpreteren

De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

Domein B Beeld- en Geluidstechniek

Subdomein B1. Informatieoverdracht

De kandidaat kan de eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van informatieoverdracht.

Subdomein B2. Medische beeldvorming

De kandidaat kan in de context van medische beeldvorming fysische principes en technieken beschrijven en analyseren en hun diagnostische functie voor de gezondheid toelichten.

Domein C Beweging en energie

Subdomein C1. Kracht en beweging

De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

Subdomein C2. Energieomzettingen

De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

Domein D Materialen

Subdomein D1. Eigenschappen van materialen

De kandidaat kan fysische eigenschappen van gassen, vloeistoffen en vaste stoffen beschrijven en verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen.

Subdomein D2. Functionele materialen

De kandidaat kan in de context van de ontwikkeling van functionele materialen fysische begrippen gebruiken en de mogelijke toepassingen van deze materialen toelichten en verklaren.

Domein E Aarde en Heelal

Subdomein E1. Zonnestelsel & Heelal

De kandidaat kan het ontstaan, de ontwikkeling en eigenschappen van het heelal en structuren daarin beschrijven en bewegingen in het zonnestelsel analyseren en verklaren.

Subdomein E2. Aarde en klimaat

De kandidaat kan in geofysische contexten fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

Domein F Menselijk Lichaam

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

Domein G Meten en regelen

Subdomein G1. Gebruik van elektriciteit

De kandidaat kan aan de hand van fysische begrippen opwekking, transport en toepassingen van elektriciteit beschrijven en analyseren.

Subdomein G2. Technische automatisering

De kandidaat kan een meet-, regel- of stuursysteem construeren en de functie en werking van de componenten beschrijven.

Domein H Natuurkunde en technologie

De kandidaat kan de rol van fysische principes en wetmatigheden in de ontwikkeling van technologie beschrijven. Daarnaast kan de kandidaat aangeven wat bij de ontwikkeling van technologie de rol is van de verschillende fasen in het ontwerpproces.

Bijlage 1b Examenprogramma vwo

Het eindexamen

Het eindexamen bestaat uit het centraal examen en het schoolexamen.

Het examenprogramma bestaat uit de volgende domeinen:

Domein A Vaardigheden

Domein B Communicatie

Domein C Beweging en Wisselwerking

Domein D Lading en veld

Domein E Straling en Materie

Domein F Quantumwereld en Relativiteit

Domein G Leven en aarde

Domein H Natuurwetten

Het centraal examen

Het centraal examen heeft betrekking op de subdomeinen B1, C1, C2, C3, D1, D2, E2, E3 en H in combinatie met de vaardigheden uit domein A.

De CEVO kan bepalen, dat het centraal examen ten dele betrekking heeft op andere subdomeinen, mits de subdomeinen van het centraal examen tezamen dezelfde studielast hebben als de in de vorige zin genoemde.

De CEVO stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

De CEVO maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A en:

- ten minste de domeinen en subdomeinen waarop het centraal examen geen betrekking heeft; daarbij kan het bevoegd gezag uit subdomeinen F1, F2, G1 en G2 twee subdomeinen kiezen, dan wel deze keuze aan de kandidaat laten.
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: een of meer domeinen of subdomeinen waarop het centraal examen betrekking heeft;
- indien het bevoegd gezag daarvoor kiest: andere vakonderdelen, die per kandidaat kunnen verschillen.

De examenstof

Domein A1. Algemene Vaardigheden - profieloverstijgend niveau

A1.1 Informatievaardigheden

De kandidaat kan doelgericht informatie zoeken, beoordelen, selecteren en verwerken.

A1.2 Communiceren

De kandidaat kan adequaat schriftelijk, mondeling en digitaal in het publieke domein communiceren over onderwerpen uit het desbetreffende vakgebied.

A1.3 Reflecteren op leren

De kandidaat kan bij het verwerven van vakkennis en vakvaardigheden reflecteren op eigen belangstelling, motivatie en leerproces.

A1.4 Studie en beroep

De kandidaat kan toepassingen en effecten van vakkennis en vaardigheden in verschillende studie- en beroepssituaties herkennen en benoemen en kan een verband leggen tussen de praktijk van deze studies en beroepen en de eigen kennis, vaardigheden en belangstelling.

Domein A2. Wiskundige, natuurwetenschappelijke en technische vaardigheden

— profielniveau

A2.1 Onderzoeken

De kandidaat kan een vraagstelling in een geselecteerde context analyseren gebruik makend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken.

A2.2 Ontwerpen

De kandidaat kan een ontwerp op basis van een gesteld probleem voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen/theorie gebruiken.

A2.3 Modelvorming

De kandidaat kan een realistische contextsituatie analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren en het model toetsen en beoordelen.

A2.4 Redeneren

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

A2.5 Waarderen en oordelen

De kandidaat kan een beargumenteerd oordeel over een situatie in de natuur of een technische toepassing geven en daarin onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten en persoonlijke uitgangspunten.

A2.6 Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

De kandidaat kan een aantal voor het vak relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden correct en geroutineerd toepassen bij vakspecifieke probleemsituaties.

Domein A3. Natuurkundige vaardigheden

A 3.1 Technisch-instrumentele vaardigheden

De kandidaat kan op een verantwoorde wijze omgaan met voor het vak relevante materialen, instrumenten, apparaten en ICT-toepassingen.

A3.2 Vaktaal

De kandidaat kan de specifieke vaktaal en vakterminologie interpreteren en produceren, waaronder formuletaal, conventies en notaties.

A3.3 Vakspecifiek gebruik van de computer

De kandidaat kan de computer gebruiken bij modelleren en visualiseren van verschijnselen en processen, en voor het verwerken van gegevens.

A3.4 Kwantificeren en interpreteren

De kandidaat kan fysische grootheden kwantificeren en mathematische uitdrukkingen in verband brengen met relaties tussen fysische begrippen.

Domein B. Communicatie

Subdomein B1. Informatieoverdracht

De kandidaat kan de eigenschappen van trillingen en golven gebruiken in het analyseren en verklaren van informatieoverdracht.

Subdomein B2. Medische beeldvorming

De kandidaat kan in de context van medische beeldvorming fysische principes en technieken beschrijven en analyseren en hun diagnostische functie voor de gezondheid verklaren.

Domein C. Beweging en Wisselwerking

Subdomein C1. Kracht en beweging

De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen kwalitatief en kwantitatief analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.

Subdomein C2. Energieomzettingen

De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.

Subdomein C3. Gravitatie

De kandidaat kan structuren en bewegingen in het heelal analyseren en verklaren aan de hand van de gravitatiewisselwerking.

Domein D. Lading en veld

Subdomein D1. Elektrische systemen

De kandidaat kan in contexten elektrische schakelingen analyseren en ontwerpen en de functie en werking van de componenten beschrijven.

Subdomein D2. Elektrische en magnetische velden

De kandidaat kan in contexten elektromagnetische verschijnselen beschrijven, analyseren en verklaren.

Domein E. Straling en Materie

Subdomein E1. Eigenschappen van stoffen en materialen

De kandidaat kan fysische eigenschappen van gassen, vloeistoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.

Subdomein E2. Elektromagnetische straling en materie

De kandidaat kan in astrofysische contexten verschijnselen beschrijven en verklaren aan de hand van de begrippen continu en lijnspectrum, absorptie, emissie en stralingsenergie.

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 kernprocessen. Daarbij kan de kandidaat eigenschappen en ontstaan van ioniserende straling beschrijven, toepassingen verklaren en de effecten op mens en milieu beschrijven.

Domein F. Quantumwereld en Relativiteit

Subdomein F1. Quantumwereld

De kandidaat kan de golf-deeltjedualiteit toelichten aan de hand van enkele verschijnselen, en macroscopisch gedrag in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig kwantumfysica deeltjesmodel. De kandidaat kan markante verschillen aangeven tussen klassieke en kwantumfysische materiemodellen.

Subdomein F2. Relativiteitstheorie

De kandidaat kan de verschijnselen tijdrek en lengtekrimp verklaren aan de hand van de begrippen lichtsnelheid, gelijktijdigheid en referentiestelsel.

Domein G. Leven en aarde

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 geofysische contexten fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.

Domein H. Natuurwetten

De kandidaat kan op micro-, macro- en kosmische schaal fysische principes en wetmatigheden benoemen, toepassen en met elkaar verbinden. Daarnaast kan de kandidaat aangeven wat in de natuurwetenschap de rol is van waarneming, experiment, theorie en model.

Bijlage 2a Grootheden-en-eenhedenoverzicht – havo

grootheid	symbool	eenheid	symbol
<i>kwantitatief</i>			
aantal neutronen in kern	N	-	-
activiteit	A	per seconde, becquerel	1/s, Bq
afstand	x, y, \dots	meter	m
arbeid	W	joule	J
atoomnummer	Z	-	-
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg/m ³
dosis	D	gray	Gy
energie	E	joule	J
equivalente dosis	H	sievert	Sv
frequentie	f	hertz	Hz
golflengte	λ	meter	m
hoek	α, β, \dots	graad	°
kracht	F	newton	N
lengte	l	meter	m
massa	m	kilogram	kg
massagetal	A	-	-
moment	M	newton meter	Nm
oppervlakte	A	vierkante meter	m ²
rendement	η	-	-
snelheid	v	meter per seconde	m/s
soortelijke weerstand	ρ	ohm meter	Ω m
spanning	U	volt	V
spanning	σ	newton per vierkante meter	N/m ²
straal	r	meter	m
stralingsweegfactor	Q	-	-
stroomsterkte	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin, graad celcius	K, °C
tijd	t	seconde	s
treksterkte ⁵	σ	newton per vierkante meter	N/m ²
trillingstijd	T	seconde	s
uitwijking, uitrekking	u	meter	m
valversnelling	g	meter per secondekwadraat	m/s ²
veerconstante	C	newton per vierkante meter	N/m ²
vermogen	P	watt	W
verplaatsing	s	meter	m
versnelling	a	meter per seconde	m/s
volume	v	kubieke meter	m ³
warmte	Q	joule	J
warmtegeleidingscoëfficiënt	k	watt per meter per kelvin	W/mK
warmtestroom	P	watt	W
weerstand	R	ohm	Ω
<i>kwalitatief</i>			
druk	p	newton per vierkante meter	N/m ²
fotonenergie	E_f	joule	J
geleidbaarheid	G	siemens	S
lading	Q	coulomb	C
soortelijke warmte	c	joule per kilogram per kelvin	J/kgK
<i>natuurconstanten</i>			
constante van Planck	h	$6,6261 \cdot 10^{-34}$ Js	
gravitatieconstante	G	$6,6726 \cdot 10^{-11}$ Nm ² /kg ²	
lichtsnelheid	c	$2,9989 \cdot 10^8$ m/s	

N.B.: differenties worden aangegeven met Δ , bv $v = \Delta s / \Delta t$

⁵ treksterkte = maximale mechanische spanning bij plastische vervorming

Bijlage 2b Grootheden-en-eenhedenoverzicht – vwo

grootheid	symbool	eenheid	symbol
<u>kwantitatief</u>			
aantal neutronen in kern	N	-	-
activiteit	A	per seconde, becquerel	1/s, Bq
afstand	x, y, \dots	meter	m
amplitudo	A	meter	m
arbeid	W	joule	J
atoomnummer	Z	-	-
brekingsindex	n	-	-
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	kg m ⁻³
dosis	D	gray	Gy
effectieve dosis	H	sievert	Sv
energie	E	joule	J
equivalente dosis	H	sievert	Sv
fase	φ	-	-
frequentie	f	hertz	Hz
golflengte	λ	meter	m
hoek	α, β, \dots	graad	°
impuls	p	kilogram meter per seconde	kg m s ⁻¹
intensiteit	I	watt per vierkante meter	W m ⁻²
intensiteit	I	deeltjes per vierkante meter	m ⁻²
kracht	F	newton	N
lading	q, Q	coulomb	C
lengte	l	meter	m
luchtwrijvingscoëfficiënt	c_w	-	-
magnetische inductie	B	tesla	T
massa	m	kilogram	kg
massagetal	A	-	-
moment	M	newton meter	Nm
oppervlakte	A	vierkante meter	m ²
rendement	η	-	-
snelheid	v	meter per seconde	m s ⁻¹
soortelijke weerstand	ρ	ohm meter	Ω m
spanning	U	volt	V
stookwaarde	r_v	joule per kubieke meter, joule per kilogram	J m ⁻³ , J kg ⁻¹
straal	r	meter	m
stralingsweegfactor	Q	-	-
stroomsterkte	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin, graad celcius	K, °C
tijd	t	seconde	s
trillingstijd	T	seconde	s
uitwijking, uitrekking	u	meter	m
valversnelling	g	meter per secondekwadraat	m s ⁻²
veerconstante	C	newton per vierkante meter	N m ⁻²
vermogen	P	watt	W
verplaatsing	s	meter	m
versnelling	a	meter per seconde	m s ⁻¹
volume	v	kubieke meter	m ³
warmte	Q	joule	J
weerstand	R	ohm	Ω
<u>kwitatief</u>			
druk	p	newton per vierkante meter	N m ⁻²
flux	Φ	weber	Wb
geleidbaarheid	G	siemens	S
soortelijke warmte	c	joule per kilogram per kelvin	J kg ⁻¹ K ⁻¹
lichtkracht	L	watt	W
<u>natuurconstanten</u>			
elektrische constante	$k(1/4\pi\epsilon_0)$	8,9875·10 ⁹ N m ² C ⁻²	
gravitatieconstante	G	6,6726·10 ⁻¹¹ N m ² kg ⁻²	
lichtsnelheid	c	2,9989·10 ⁸ m s ⁻¹	
constante van Planck	h	6,6261·10 ⁻³⁴ J s	
constante van Stefan-Boltzmann	σ	5,6705·10 ⁻⁸ W m ⁻² K ⁻⁴	
constante van Wien	k_w	2,8978·10 ⁻³ m K	

N.B.: differenties worden aangegeven met Δ , bv $v = \Delta s / \Delta t$

Bijlage 3 Specificatie-overzicht

In onderstaande tabel vindt u een overzicht van alle havo-specificaties, met daarbij aangegeven

- het niveau waarop de specificatie voorgeschreven is
- of de specificatie naast kwalitatieve beheersing ook kwantitatieve beheersing voorschrijft
- welke vwo specificatie eventueel met de betreffende havo-specificatie correspondeert.

subdomein havo	specificatie	niveau	kwantitatief?	toelichting	corresponderende vwo specificatie
B1	1	4a	ja		B1-1
	2	4a	ja		B1-2
	3	3	ja		
	4	2	nee		B1-3
	5	2	nee	B1-4	
	6	3	ja		B1-6
B2	1	2	nee		
	2	1	nee	benoemen	E3-1
		3	ja	berekeningen	
	3	3	ja		E3-2
	4	3	nee		
	5	2	nee		
	6	2	nee		
	7	3	ja		E3-7
C1	1	3	ja		C1-1
	2	4a	ja		C1-3
	3	2	nee	uitleggen, verklaren	C1-4
		3	ja	berekeningen	
	4	3	ja		C1-5
	5	3	ja		C1-8
C2	6	3	ja		C1-9
	1	3	ja		C2-1
	2	3	ja		C2-2
	3	4a	ja		C2-3
	4	4a	ja		C2-5
D1	1	2	nee		
	2	2	nee		
	3	2	nee	beschrijven	
		3	ja	berekenen	
	4	3	ja	berekenen	
		2	nee	toelichten	
	5	2	nee		
6	3	nee			
	7	3	ja		
E1	1	2	nee		
	2	4a	nee	analyseren	C3-1
		3	ja	berekenen	
	3	2	nee		
	4	2	nee		
	5	2	nee	beschrijven	
		2	ja	rekenen	
	6	2	nee		E2-5
	7	3	ja		C3-4
G1	1	2	nee		D1-1
	2	4a	nee		D1-2
	3	4a	ja		D1-3
	4	3	ja		
	5	3	nee		D1-5
	6	4a	ja		D1-6
H	1	2	nee		
	2	3	nee		
	3	3	nee		

In onderstaande tabel vindt u een overzicht van alle vwo-specificaties, met daarbij aangegeven

- het niveau waarop de specificatie voorgeschreven is
- of de specificatie naast kwalitatieve beheersing ook kwantitatieve beheersing voorschrijft
- welke havo specificatie eventueel met de betreffende vwo-specificatie correspondeert.

subdomein vwo	specificatie	niveau	kwantitatief?	toelichting	corresponderende havo specificatie	
B1	1	4a	ja	analyseren	B1-1	
		2	ja	wiskundig beschrijven, grafische weergeven		
	2	4a	ja	Analyseren	B1-2	
		2	ja	wiskundig beschrijven, grafische weergeven		
	3	2	nee		B1-4	
	4	2	nee		B1-5	
C1	5	3	nee			
	6	4a	ja		B1-6	
	1	3	ja		C1-1	
		2	4a	ja	vraagstukken oplossen	
		2	ja	wiskundig beschrijven		
	3	4a	ja		C1-2	
	4	2	nee		C1-3	
	5	4a	ja		C1-4	
	6	3	ja			
	7	4b	ja			
8	4a	ja		C1-5		
C2	9	4a	ja		C1-6	
	1	3	ja		C2-1	
		2	4a	ja		C2-2
	3	4a	ja		C2-3	
	4	3	ja	volkomen inelastisch		
			nee	volkomen elastisch		
	5	4a	ja		C2-4	
	C3	1	4a	nee	analyseren	E1-2
			3	ja	berekeningen maken	
2		2	nee			
3		3	nee			
D1	4	3	ja		E1-7	
	1	2	nee		G1-1	
		4a	ja		G1-2	
	3	4a	ja		G1-3	
	4	4b	ja	kwantitatief: omrekenen binair – decimaal, verder kwalitatief		
			nee		G1-5	
6	4a	ja		G1-6		
D2	1	2	nee			
	2	4a	ja			
	3	3	nee			
	4	2	nee	beschrijven		
			ja	bepalen		
	5	4a	nee			
	6	3	nee			
7	4a	ja				
E2	1	2	nee			
	2	4a	ja			
	3	2	nee			
	4	2	nee			
	5	2	nee		E1-6	
	6	3	nee			
E3	1	1	nee	benoemen		
		3	ja	dosisberekeningen		
	2	4a	ja			

	3	3	ja		
	4	2	nee		
	5	4a	ja		
	6	2	nee		
	7	4a	ja		
H	1	3	nee		
	2	3	nee		
	3	3	nee		
	4	3	nee		