



College voor Toetsen en Examens

NATUURKUNDE HAVO

SYLLABUS CENTRAAL EXAMEN 2020

Versie 2, juni 2018

© 2018 College voor Toetsen en Examens, 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	4
1 Inleiding	5
1.1 Het centraal examen natuurkunde	5
1.2 Domeinindeling en CE-toekenning	5
2 Specificaties	6
2.1 Toelichting op de specificaties	6
2.1.1 Bekend verondersteld	6
2.1.2 Contexten	6
2.1.3 Vakbegrippen en instrumenten	7
2.1.4 Formules	8
2.1.5 Verschillen en overeenkomsten tussen havo en vwo	8
2.1.6 Opzet van de specificaties bij de globale eindtermen	9
2.2 Specificaties	10
Bijlage 1: Examenprogramma	25
Bijlage 2: Grootheden- en eenhedenoverzicht	30
Bijlage 3: Examenwerkwoorden bij natuurkunde	32
Bijlage 4: De correctie van het centraal examen natuurkunde	34

Voorwoord

De minister heeft de examenprogramma's op hoofdlijnen vastgesteld. In het examenprogramma zijn de exameneenheden aangewezen waarover het centraal examen (CE) zich uitstrekt: het CE-deel van het examenprogramma. Het examenprogramma geldt tot nader order.

Het College voor Toetsen en Examens (CvTE) geeft in een syllabus, die in beginsel jaarlijks verschijnt, een toelichting op het CE-deel van het examenprogramma. Behalve een beschrijving van de exameneisen voor een centraal examen kan de syllabus verdere informatie over het centraal examen bevatten, bijvoorbeeld over een of meer van de volgende onderwerpen: specificaties van examenstof, begrippenlijsten, bekend veronderstelde onderdelen van domeinen of exameneenheden die verplicht zijn op het schoolexamen, bekend veronderstelde voorkennis uit de onderbouw, bijzondere vormen van examinering (zoals computerexamens), voorbeeldopgaven, toelichting op de vraagstelling, toegestane hulpmiddelen.

Ten aanzien van de syllabus is nog het volgende op te merken. De functie ervan is een leraar in staat te stellen zich een goed beeld te vormen van wat in het centraal examen wel en niet gevraagd kan worden. Naar zijn aard is een syllabus dus niet een volledig gesloten en afgebakende beschrijving van alles wat op een examen zou kunnen voorkomen. Het is mogelijk, al zal dat maar in beperkte mate voorkomen, dat op een CE ook iets aan de orde komt dat niet met zo veel woorden in deze syllabus staat, maar dat naar het algemeen gevoelen in het verlengde daarvan ligt.

Een syllabus is zodoende een hulpmiddel voor degenen die anderen of zichzelf op een centraal examen voorbereiden. Een syllabus kan ook behulpzaam zijn voor de producenten van leermiddelen en voor nascholingsinstanties. De syllabus is niet van belang voor het schoolexamen. Daarvoor zijn door de SLO handreikingen geproduceerd die niet in deze uitgave zijn opgenomen.

Deze syllabus geldt voor het examenjaar 2020. Syllabi van eerdere jaren zijn niet meer geldig en kunnen van deze versie afwijken. Voor het examenjaar 2021 wordt een nieuwe syllabus vastgesteld.

Het CvTE publiceert uitsluitend digitale versies van de syllabi. Dit gebeurt via Examenblad.nl (www.examenblad.nl), de officiële website voor de examens in het voortgezet onderwijs.

Een syllabus kan zo nodig ook tussentijds worden aangepast, bijvoorbeeld als een in de syllabus beschreven situatie feitelijk veranderd is. De aan een centraal examen voorafgaande Septembermededeling is dan het moment waarop dergelijke veranderingen bekendgemaakt worden. Kijkt u voor alle zekerheid jaarlijks in september op Examenblad.nl. Wijzigingen ten opzichte van de vorige syllabus worden duidelijk zichtbaar gemaakt. Inhoudelijke wijzigingen zijn geel gemarkeerd. Het is ook mogelijk dat een syllabus geen inhoudelijke veranderingen heeft ondergaan.

Voor opmerkingen over syllabi houdt het CvTE zich steeds aanbevolen. U kunt die zenden aan info@cvte.nl.

De voorzitter van het College voor Toetsen en Examens,
Drs. P.J.J. Hendrikse

1 Inleiding

Deze syllabus specificeert de eindtermen van het CE-deel van het examenprogramma natuurkunde havo. De syllabus natuurkunde is afgestemd met die voor scheikunde en biologie voor wat betreft de inhoudsopgave en de specificaties voor domein A.

1.1 Het centraal examen natuurkunde

De zitting en de zittingsduur van het centraal examen worden gepubliceerd op www.examenblad.nl. Ook wordt daar een lijst gepubliceerd met hulpmiddelen die bij het examen zijn toegestaan.

Bij het maken van het centraal examen wordt ernaar gestreefd dat 50% van het totaal aantal scorepunten dat door de kandidaat behaald kan worden, afkomstig is van vragen waarbij voor de beantwoording een expliciete berekening noodzakelijk is.

In bijlage 4 van deze syllabus wordt informatie gegeven over de correctie van het centraal examen natuurkunde.

1.2 Domeinindeling en CE-toekenning

Het examenprogramma staat in bijlage 1. Het betreft hier het programma met globale eindtermen, waarvan het CE-deel in hoofdstuk 2 van deze syllabus wordt gespecificeerd. Het SE-deel is nader gespecificeerd in een [handreiking](#) van SLO. In de handreiking zijn suggesties opgenomen voor het SE-deel welke dus niet bindend zijn.

In de onderstaande tabel staat vermeld welke subdomeinen op het centraal examen geëxamineerd kunnen worden:

Domein		Subdomein		in CE	moet in SE	mag in SE
A	Vaardigheden			X	X	
B	Beeld- en geluidstechniek	B1	Informatieoverdracht	X		X
		B2	Medische beeldvorming	X		X
		B3*	Optica		bk*	
C	Beweging en energie	C1	Kracht en beweging	X		X
		C2	Energieomzettingen	X		X
D	Materialen	D1	Eigenschappen van stoffen en materialen	X		X
		D2	Functionele materialen		X	
E	Aarde en heelal	E1	Zonnestelsel en heelal	X		X
		E2*	Aarde en klimaat		bk*	
F*	Menselijk lichaam				bk*	
G	Meten en regelen	G1	Gebruik van elektriciteit	X		X
		G2*	Technische automatisering		bk*	
H	Natuurkunde en technologie			X		X
I	Onderzoek en ontwerp	I1	Experiment		X	
		I2	Modelstudie		X	
		I3	Ontwerp		X	

* bk = beperkte keuze: uit deze vier (sub)domeinen worden er twee gekozen.
 Let op: D2 en I zijn verplicht voor het SE.

2 Specificaties

2.1 Toelichting op de specificaties

2.1.1 *Bekend verondersteld*

Per domein is aangegeven wat bij het betreffende domein bekend wordt verondersteld. Daarbij gaat het om natuurkundige kennis en vaardigheden, waarvan wordt aangenomen dat deze *in de onderbouw of in de voorbereiding op het SE* behandeld zijn. Let op: voorkennis die bij een domein vermeld staat, kan ook voor andere domeinen relevant zijn.

De als 'bekend veronderstelde' leerstof dient geïnterpreteerd te worden in het licht van de daarop volgende subdomeinen. Dat wil zeggen: de als bekend veronderstelde leerstof betreft onderdelen uit de onderbouw of uit het SE die nodig (kunnen) zijn bij de bevraging van de betreffende subdomeinen, maar niet expliciet in de specificaties bij die subdomeinen vermeld worden.

Voorbeeld:

Bij domein B is als voorkennis opgenomen:

het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreeerde toon.

Bij het CE kan het nodig zijn dat een kandidaat dit verband hanteert bij het beantwoorden van een vraag die betrekking heeft op een specificatie uit domein B of een ander domein uit de syllabus.

2.1.2 *Contexten*

Het begrip *context* wordt door de bètavernieuwingscommissies gedefinieerd als: *de omgeving waarin leren plaatsvindt; een situatie of probleemstelling die voor leerlingen betekenis heeft of krijgt door de uit te voeren (leer)activiteiten¹.*

In deze syllabus is bij een aantal specificaties aangegeven in welke context(en) de kennis en vaardigheden uit de specificatie minimaal beheerst moeten worden. Contexten die in de syllabus vermeld staan, worden op het centraal examen bekend verondersteld. Dat wil zeggen dat vragen binnen deze context niet veel toelichting nodig hebben.

Van de kandidaten wordt daarnaast verwacht dat ze hun kennis en vaardigheden *wendbaar* kunnen toepassen. Dat wil zeggen dat ze bij het CE de betreffende kennis en vaardigheden ook in andere contexten en situaties kunnen toepassen, mits de bij een vraag aangeboden informatie voldoende houvast biedt voor een correcte beantwoording van die vraag.

¹ Bron: Boersma et al., 2003. De relatie tussen context en concept. Te downloaden via: www.betanova.nl

Voorbeeld:

In specificatie B1.5 staat

De kandidaat kan uit (u,t) en (u,x) -diagrammen de fysische eigenschappen van de trillingen en golven bepalen,

Met als toevoeging: *minimaal in de context: cardiogram;*

Dit betekent dat de kandidaten bekend zijn met een cardiogram en daaruit bijvoorbeeld de frequentie van de hartslag kunnen bepalen. Indien bij het CE deze specificatie in een andere context wordt getoetst, dan moet deze context in het vraagstuk worden toegelicht.

Bij een aantal specificaties is door middel van een voetnoot aangegeven, dat de natuurkundige kennis en vaardigheden uit de specificatie *niet wendbaar* hoeven te worden toegepast.

Voorbeeld:

Bij specificatie B2.4 staat in een voetnoot dat de kandidaat kennis en vaardigheden uit deze specificatie niet wendbaar hoeft te kunnen toepassen.

Dit betekent dat de 'natuurkundige achtergronden' die in deze specificatie worden genoemd (voor zover deze niet elders in de syllabus ook staan) alleen toegepast hoeven te worden in de context van medische beeldvormingstechnieken.

2.1.3

Vakbegrippen en instrumenten

Bij veel specificaties zijn vakbegrippen of instrumenten opgenomen.

Onder een *vakbegrip* wordt verstaan: een begrip uit het natuurkundig vakjargon, d.w.z. een begrip dat binnen de natuurkunde een vast omschreven betekenis heeft. Deze betekenis kan afwijken van de betekenis in het dagelijks leven.

Als een *vakbegrip* opgenomen is bij een specificatie, dan moet de kandidaat:

- bekend zijn met de natuurkundige betekenis van het begrip: "..., in de natuurkunde noemen we dat <vakbegrip>";
- de natuurkundige betekenis in voorkomende gevallen kunnen onderscheiden van de betekenis in het dagelijks leven;
- de natuurkundige betekenis van het begrip kunnen toepassen.

Het is níet nodig dat de kandidaat de achterliggende verklaringen en theorieën van een dergelijk vakbegrip kent.

Voorbeeld:

Bij specificatie B1.6 staan de vakbegrippen 'amplitudemodulatie' en 'frequentiemodulatie'.

De kandidaat moet bekend zijn met de betekenis van deze begrippen. *Bijvoorbeeld:* "Bij informatieoverdracht wordt gebruik gemaakt van het combineren van een gegevenssignaal met een draaggolf met een hogere frequentie. Dit noemen we modulatie. Er zijn twee vormen van modulatie, bij amplitudemodulatie wordt de amplitude van de draaggolf gevarieerd, bij frequentiemodulatie de frequentie."

De kandidaat moet deze kennis ook kunnen toepassen, bijvoorbeeld bij het onderscheiden van het (u,t) -diagram van een amplitude-gemoduleerd signaal of van een frequentie-gemoduleerd signaal van dat van het oorspronkelijke signaal.

De kandidaat hoeft de techniek achter de amplitude- en frequentiemodulatie en de wiskundige beschrijvingen ervan niet te kennen.

Als een *instrument* of *apparaat* opgenomen is bij een specificatie, dan moet de kandidaat:

- bekend zijn met het natuurkundig gebruik van het instrument / apparaat: "..., in de natuurkunde gebruiken we hiervoor een <instrument / apparaat>";
- de kennis over het natuurkundig gebruik van het instrument / apparaat kunnen toepassen.

Het is níet nodig dat de kandidaat de achterliggende verklaringen en theorieën of de werking van het instrument of apparaat kent.

Voorbeeld:

Bij specificatie G1.5 staat het apparaat 'transformator'.

De kandidaat moet bekend zijn met het natuurkundig gebruik van de transformator. *Bijvoorbeeld:* "Om twee stroomkringen (met wisselstroom) aan elkaar te koppelen, waarbij de spanning in de tweede stroomkring verhoogd / verlaagd kan worden ten opzichte van die in de eerste stroomkring gebruiken we een transformator."

De kandidaat moet deze kennis ook kunnen toepassen, bijvoorbeeld bij het beschrijven van het transport van elektriciteit door hoogspanningskabels.

De kandidaat hoeft de werking van het apparaat en de achterliggende theorie rond elektromagnetisme en inductie niet te kennen.

2.1.4 *Formules*

Bij ieder subdomein staat vermeld welke *formules* erbij horen.

Kandidaten moeten:

- berekeningen kunnen maken met deze formules;
- kunnen redeneren met deze formules (zie subdomein A15, specificatie 3);
- de grootheden kennen die in de formules voorkomen, evenals de bijbehorende eenheden. Zie ook bijlage 2.

2.1.5 *Verschillen en overeenkomsten tussen havo en vwo*

Sommige (sub)domeinen zijn specifiek voor havo of vwo, andere (sub)domeinen overlappen.

Bij de overlappende subdomeinen is geprobeerd de omschrijvingen zoveel mogelijk gelijkkluidend te maken. Daar waar de omschrijvingen verschillend zijn, kan ervan uitgegaan worden 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 wiskundig karakter:
Van vwo-kandidaten wordt voor meer specificaties een wiskundige beschrijving verlangd dan van havo-kandidaten.
- 3 De notatie:
De gekozen notaties bij vwo zijn formeler dan bij havo,
 - bij de havo wordt geen gebruik gemaakt van vectornotatie, bij het vwo wel (overigens alleen waar de richting van de vector van belang is; bij vectorgrootheden die genoteerd staan zonder vectornotatie wordt alleen de grootte van de vector bedoeld);
 - bij vwo wordt gebruik gemaakt van het sommatieteken, bij havo niet;

- bij vwo wordt gebruik gemaakt van differentie-notatie, bij havo niet.

2.1.6

Opzet van de specificaties bij de globale eindtermen

Iedere domeinspecificatie is op dezelfde wijze opgezet:

Domein

Bekend verondersteld: (Zie paragraaf 2.1.1)

De kandidaat kan:

Vaardigheden die de kandidaat moet beheersen, ook formules waarmee gerekend moet kunnen worden

- ...

De kandidaat kent:

Beschrijvende kennis

- de volgende verschijnselen:
- de volgende vakbegrippen:
- de volgende verbanden:

Subdomein + naam

Eindterm

Eindterm uit het examenprogramma

Specificaties

De kandidaat kan:

x. *Specificatie*

- (Evt.) verdere beperking/afbakening of nadere aanduiding
- (Evt.) vakbegrippen: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) instrumenten / apparaten: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) minimaal in de contexten: (zie paragraaf 2.1.2)

y. *Specificatie*

- (Evt.) verdere beperking/afbakening
- (Evt.) vakbegrippen: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) instrumenten / apparaten: (zie paragraaf 2.1.3)
- (Evt.) minimaal in de contexten: (zie paragraaf 2.1.2)

z. *Specificatie ...*

De volgende formules horen bij deze specificaties:

Opsomming van bij de specificaties behorende formules (zie paragraaf 2.1.4)

2.2 Specificaties

Domein A. Vaardigheden

De vaardigheden zijn onderverdeeld in drie categorieën:

Subdomeinen A1 t/m A4: Algemene vaardigheden (profieloverstijgend niveau);

Subdomeinen A5 t/m A9: Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden (bètaprofielniveau);

Subdomeinen A10 t/m A15: Natuurkunde – specifieke vaardigheden.

De eerste categorie met algemene, profieloverstijgende vaardigheden worden in deze syllabus niet verder gespecificeerd. De specificaties van de subdomeinen A5 t/m A9 zijn afgestemd met de syllabuscommissies scheikunde en biologie.

Sommige vaardigheden of onderdelen daarvan zullen *niet op het centraal examen getoetst worden*. Omwille van de volledigheid, zijn deze vaardigheden wel in de syllabus opgenomen, maar *cursief en grijs* afgedrukt.

Subdomein A1. Informatievaardigheden gebruiken

Eindterm

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

Subdomein A2. Communiceren

Eindterm

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

Subdomein A3. Reflecteren op leren

Eindterm

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

Subdomein A4. Studie en beroep

Eindterm

De kandidaat kan aangeven op welke wijze natuurwetenschappelijke kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan zijn belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.

Subdomein A5. Onderzoeken

Eindterm

De kandidaat kan in contexten instructies voor onderzoek op basis van vraagstellingen uitvoeren en conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Specificatie

De kandidaat kan gebruik makend van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden:

1. *een natuurwetenschappelijk probleem herkennen;*
2. *een natuurwetenschappelijk probleem herleiden tot een (of meer) onderzoeksvra(a)g(en);*
3. verbanden leggen tussen een onderzoeksvraag en natuurwetenschappelijke kennis;
4. waar nodig een hypothese opstellen bij een onderzoeksvraag en verwachtingen formuleren;
5. een werkplan maken voor het uitvoeren van een natuurwetenschappelijk onderzoek ter beantwoording van een (of meer) onderzoeksvra(a)g(en);
6. *voor de beantwoording van een onderzoeksvraag relevante waarnemingen verrichten en (meet)gegevens verzamelen;*
7. meetgegevens verwerken en presenteren op een wijze die helpt bij de beantwoording van een onderzoeksvraag;
8. op grond van verzamelde gegevens van een uitgevoerd onderzoek conclusies trekken die aansluiten bij de onderzoeksvra(a)g(en) van het onderzoek;
9. de uitvoering van een onderzoek en de conclusies evalueren, gebruik makend van de begrippen *validiteit*, nauwkeurigheid, reproduceerbaarheid en betrouwbaarheid;
10. *een natuurwetenschappelijk onderzoek presenteren.*

Subdomein A6. Ontwerpen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten op basis van een gesteld probleem een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen hanteren.

Specificatie

De kandidaat kan gebruik makend van relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen:

1. *een technisch-ontwerpprobleem analyseren en beschrijven;*
2. *voor een ontwerp een programma van eisen en wensen opstellen;*
3. verbanden leggen tussen natuurwetenschappelijke kennis en taken en eigenschappen van een ontwerp;
4. verschillende (deel)uitwerkingen geven voor taken en eigenschappen van een ontwerp;
5. *een beargumenteerd ontwerpvoorstel doen voor een ontwerp, rekening houdend met het programma van eisen, prioriteiten en randvoorwaarden;*
6. *een prototype van een ontwerp bouwen;*
7. een ontwerpproces en -product *testen en* evalueren, rekening houdend met het programma van eisen;
8. voorstellen doen voor verbetering van een ontwerp;
9. *een ontwerpproces en -product presenteren.*

Subdomein A7. Modelvorming

Eindterm

De kandidaat kan in contexten een probleem analyseren, een adequaat model selecteren, en modeluitkomsten genereren en interpreteren. De kandidaat maakt

daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Specificatie

De kandidaat kan gebruik makend van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden:

1. relevante grootheden en relaties in een probleemsituatie identificeren en selecteren;
2. door het doen van aannamen en het maken van vereenvoudigingen een natuurwetenschappelijk probleem inperken tot een onderzoekbare vraagstelling;
3. *bij een natuurwetenschappelijk probleem een model selecteren dat geschikt is om het probleem te bestuderen;*
4. *een beargumenteerde schatting maken voor parameterwaarden van een model op basis van gegevens;*
5. *toetsbare verwachtingen formuleren over het gedrag van een model;*
6. *een model met een geschikte tijdstap doorrekenen;*
7. *een model evalueren op basis van uitkomsten, verwachtingen en (meet)gegevens;*
8. *een modelstudie presenteren.*

Subdomein A8. Natuurwetenschappelijk instrumentarium

Eindterm

De kandidaat kan in contexten een voor de natuurwetenschappen relevant instrumentarium hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om instrumenten voor dataverzameling en -bewerking, vaktaal, vakconventies, symbolen, formuletaal en rekenkundige bewerkingen².

Specificatie

De kandidaat kan:

1. informatie verwerven en selecteren uit schriftelijke, mondelinge en audiovisuele bronnen *mede met behulp van ICT*:
 - gegevens halen uit grafieken, tabellen, tekeningen, simulaties, schema's en diagrammen;
 - grootheden, eenheden, symbolen, formules en gegevens opzoeken in geschikte tabellen;
2. informatie, gegevens en meetresultaten analyseren, weergeven en structureren in grafieken, tekeningen, schema's, diagrammen en tabellen *mede met behulp van ICT*;
3. uitleggen wat bedoeld wordt met de significantie van meetwaarden en uitkomsten van berekeningen weergeven in het juiste aantal significante cijfers,
 - bij het optellen en aftrekken van meetwaarden wordt de uitkomst gegeven met evenveel decimalen als de gegeven meetwaarde met het kleinste aantal decimalen;
 - bij het delen en vermenigvuldigen wordt de uitkomst gegeven in evenveel significante cijfers als de gegeven meetwaarde met het kleinste aantal significante cijfers;

² Zie voor de specificaties van de rekenkundige bewerkingen subdomein A12.

- gehele getallen die verkregen zijn door discrete objecten te tellen, vallen niet onder de regels van significante cijfers (dit geldt ook voor mathematische constanten en geldbedragen);
4. aangeven met welke technieken en apparaten de belangrijkste grootheden uit de natuurwetenschappen worden gemeten;
 5. *verantwoord omgaan met materialen, instrumenten, organismen en milieu.*

Subdomein A9. Waarderen en oordelen

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. een beargumenteerd oordeel geven over een situatie waarin natuurwetenschappelijke kennis een belangrijke rol speelt, dan wel een beargumenteerde keuze maken tussen alternatieven bij vraagstukken van natuurwetenschappelijke aard;
2. onderscheid maken tussen wetenschappelijke argumenten, normatieve maatschappelijke overwegingen en persoonlijke opvattingen;
3. feiten met bronnen verantwoorden;
4. de betrouwbaarheid beoordelen van informatie en de waarde daarvan vaststellen voor de beantwoording van het betreffende vraagstuk.

Subdomein A10. Kennisontwikkeling en -toepassing

Eindterm

De kandidaat kan in contexten analyseren op welke wijze natuurkundige en technologische kennis wordt ontwikkeld en toegepast.

Geen nadere specificatie

Subdomein A11. Technisch-instrumentele vaardigheden

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. gebruik maken van kennis over materialen, meetinstrumenten en apparaten voor het uitvoeren van experimenten en technisch ontwerpen met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud,
 - in elk geval de volgende materialen, meetinstrumenten en apparaten:
 - meetlint, maatglas, stopwatch en weegschaal;
 - stemvork, toongenerator, luidspreker, microfoon, oscilloscoop, GM-teller;
 - krachtmeter, hefboom, luchtkussenbaan, stroboscoop;

- (vloeistof)thermometer, joulemeter, veer;
 - voedingsapparaat, regelbare weerstand;
2. gebruik maken van kennis over ICT-toepassingen voor het uitvoeren van experimenten met betrekking tot de in de domeinen genoemde vakinhoud,
- in elk geval de volgende toepassingen:
 - computer met sensoren, lichtpoortje;
 - videometen, meetprogrammatuur;
 - programmatuur voor het verwerken en analyseren van meetgegevens.

Subdomein A12. Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. basisrekenvaardigheden uitvoeren,
 - rekenen met verhoudingen, procenten, breuken, machten en wortels;
 - de omtrek en de oppervlakte berekenen van een cirkel, een driehoek en een rechthoek;
 - het volume berekenen van een balk en een cilinder;
 - de oppervlakte en het volume berekenen van een bol.
2. wiskundige technieken toepassen,
 - herleiden van formules;
 - redeneren met evenredigheden (recht, omgekeerd, kwadratisch, omgekeerd kwadratisch);
 - oplossen van lineaire en tweedegraads vergelijkingen;
 - toepassen van x^n ;
 - in een rechthoekige driehoek met twee zijdes of met één zijde en één hoek gegeven, de overige zijdes en hoeken uitrekenen, gebruik makend van sinus, cosinus, tangens en de stelling van Pythagoras;
 - grafisch optellen en ontbinden van vectoren;
 - grafieken tekenen bij een meetserie;
 - functievoorschriften opstellen van lineaire verbanden;
 - grafieken tekenen met behulp van een functievoorschrift;
 - aflezen van diagrammen, waaronder diagrammen met asonderbrekingen;
 - interpoleren en extrapoleren in diagrammen en tabellen;
 - tekenen van de raaklijn aan een kromme en de steilheid bepalen;
 - de oppervlakte onder een grafiek bepalen;
3. berekeningen uitvoeren met bekende grootheden en relaties en daarbij de juiste formules en eenheden hanteren,
 - formules zoals vermeld bij de vakinhoudelijke subdomeinen **of gegeven in het examen**;
 - substitueren van formules;
 - eenheden **omrekenen**, afleiden en controleren.

Subdomein A13. Vaktaal

Eindterm

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

Geen nadere specificatie (Zie A8)

Subdomein A14. 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.

Geen nadere specificatie (Zie A8)

Subdomein A15. Kwantificeren en interpreteren

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. gebruik maken van beredeneerde schattingen voor onbekende grootheden bij het oplossen van natuurkundige vraagstukken;
2. vooraf de orde van grootte van een grootheid of uitkomst inschatten en achteraf beoordelen in hoeverre de uitkomst van een vraagstuk juist kan zijn;
3. redeneren met natuurkundige verbanden.

Domein B. Beeld- en geluidstechniek

Bekend verondersteld:

De kandidaat kent:

- de volgende verschijnselen:
 - geluid;
 - echo;
- de volgende verbanden:
 - het verband tussen de amplitude van een oscillogram en de geluidssterkte van de geregistreerde toon;
 - het verband tussen de frequentie van een oscillogram en de toonhoogte van de geregistreerde toon.

Subdomein B1. Informatieoverdracht

Eindterm

De kandidaat kan in contexten eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van onder andere informatieoverdracht.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. trillingsverschijnselen analyseren,
 - vakbegrippen: uitwijking, amplitude, periode, harmonische trilling;
2. berekeningen maken aan de eigentrilling van een massa-veersysteem,
 - vakbegrippen: eigenfrequentie, resonantie;
3. golfverschijnselen analyseren,
 - vakbegrippen: lopende golf, voortplantingssnelheid, geluidssnelheid, lichtsnelheid, transversaal, longitudinaal;
 - **Minimaal in de context: Informatieoverdracht;**
4. bij een staande golf het verband tussen de golflengte en de lengte van het trillende medium met behulp van een tekening toelichten,
 - vakbegrippen: knoop, buik, grondtoon, boventoon;
 - minimaal in de context: muziekinstrumenten;
5. uit (u,t) en (u,x) -diagrammen de fysische eigenschappen (zie specificaties 1 en 3) van de trillingen en golven bepalen,
 - minimaal in de context: cardiogram;
6. **informatieoverdracht tussen een zender en ontvanger beschrijven³,**
 - **vakbegrippen: radiogolf, draaggolf, amplitudemodulatie, frequentiemodulatie, bandbreedte, kanaalscheiding;**
 - **minimaal in de context: telecommunicatie (tv, radio, telefoon).**

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$f = \frac{1}{T} \quad v = f\lambda$$

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

³ Kandidaten hoeven kennis en vaardigheden uit specificatie B1.6 **niet wendbaar** te kunnen toepassen.

Subdomein B2. Medische beeldvorming

Eindterm

De kandidaat kan eigenschappen van ioniserende straling en de effecten van deze straling op mens en milieu beschrijven. Ook kan de kandidaat medische beeldvormingstechnieken beschrijven en analyseren aan de hand van fysische principes en de diagnostische functie van deze beeldvormingstechnieken voor de gezondheid toelichten.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. uitzending, voortplanting en opname van elektromagnetische straling beschrijven,
 - vakbegrippen: absorptie, emissie, elektromagnetische golf, foton;
2. de verschillende soorten ioniserende straling, hun ontstaan en hun eigenschappen benoemen, evenals de risico's van deze soorten straling voor mens en milieu, en berekeningen maken met (equivalente) dosis,
 - de activiteit op een bepaald moment bepalen uit een (N,t) -diagram en de gemiddelde activiteit berekenen;
 - de vergelijking opstellen van een vervalreactie⁴;
 - vakbegrippen: stralingsbron, radioactief verval, isotoop, kern, proton, neutron, elektron, atomaire massa-eenheid, ioniserend en doordringend vermogen, dracht, röntgenstraling, α -, β - en γ -straling, kosmische straling, achtergrondstraling, bestraling, besmetting, effectieve totale lichaamsdosis in relatie tot stralingsbeschermingsnormen, dosimeter, eV;
 - minimaal in de contexten: nucleaire diagnostische geneeskunde, stralingsbescherming;
3. problemen oplossen waarbij de halveringstijd of halveringsdikte een rol speelt,
 - berekeningen maken alleen bij een geheel aantal halveringstijden of halveringsdiktes;
 - vakbegrippen: doorlaatkromme, vervalkromme;
 - minimaal in de context: medische diagnostiek;
4. medische beeldvormingstechnieken aan de hand van hun natuurkundige achtergrond beschrijven, voor- en nadelen van deze technieken noemen en op grond daarvan in gegeven situaties een keuze voor een techniek beargumenteren⁵,
 - beeldvormingstechnieken: röntgenopname, CT-scan, MRI-scan, echografie en nucleaire diagnostiek;
 - natuurkundige achtergronden: halveringsdikte van menselijke weefsels, magnetisch veld en resonantie, ultrasone geluidsgolf, geluidssnelheid in menselijke weefsels, absorptie, transmissie, terugkaatsing, tracer.

⁴ Het betreft hier alleen vergelijkingen van spontane vervalreacties.

⁵ Kandidaten hoeven kennis en vaardigheden uit specificatie B2.4 *niet wendbaar* te kunnen toepassen.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

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

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

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

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

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

Domein C. Beweging en energie

Bekend verondersteld:

De kandidaat kent:

- het volgende vakbegrip:
 - energieopslag.

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. berekeningen maken aan eenparige rechte bewegingen;
2. eigenschappen van bewegingen bepalen aan de hand van plaats-tijddiagrammen en snelheid-tijddiagrammen:
 - de volgende bewegingen herkennen: eenparige rechte beweging, eenparig versnelde of vertraagde beweging, vrije val, valbeweging met wrijving;
 - uit een (x,t) -diagram de gemiddelde snelheid bepalen;
 - uit een (x,t) -diagram de snelheid op een bepaald moment bepalen, zo nodig met behulp van een raaklijn;
 - uit een (v,t) -diagram de (val)versnelling op een bepaald moment bepalen, zo nodig met behulp van een raaklijn;
 - uit een (v,t) -diagram de verplaatsing en de gemiddelde snelheid bepalen met behulp van de oppervlakte onder de kromme;

3. krachten op een systeem aan de hand van een vectortekening analyseren, waaronder het samenstellen van en ontbinden in componenten met behulp van een parallellogram en het bepalen van de grootte en/of richting van krachten uit een vectortekening,
 - krachten: zwaartekracht, schuifwrijvingskracht, rolweerstandskracht, luchtweerstandskracht, normaalkracht, spankracht, spierkracht, veerkracht;
4. de eerste wet van Newton uitleggen en toepassen;
5. de tweede wet van Newton uitleggen en toepassen;
6. de momentenwet/hefboomwet toepassen op stilstaande voorwerpen; **berekeningen alleen in situaties waarbij** twee krachten werken waarvan de werklijnen niet door het draaipunt gaan.
 - vakbegrippen: zwaartepunt, aangrijpingspunt, werklijn, arm, moment;
 - minimaal in de context: menselijk lichaam.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

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

$$v_{\text{gem}} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad a_{\text{gem}} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

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

$$F_z = mg \quad F_v = Cu$$

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

$$F_1 r_1 = F_2 r_2$$

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 met betrekking tot kracht, verplaatsing, arbeid, snelheid en vermogen,
 - berekenen van arbeid uit kracht en verplaatsing alleen in situaties waarbij de richting van de kracht evenwijdig is aan de verplaatsing;
2. energieomzettingen bij bewegingen analyseren,
 - de wet van behoud van energie en de relatie tussen arbeid en kinetische energie toepassen;
 - minimaal de bewegingen: vrije val, valbeweging met wrijving en verticale worp;
 - energieën: kinetische energie, zwaarte-energie, chemische energie, warmte;
 - vakbegrip: wrijvingsarbeid;

- minimaal in de contexten: energiegebruik en energiebesparing in het verkeer, de bewegende mens.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$W = Fs$$

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

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad E_z = mgh$$

$$E_{\text{ch}} = r_v V \quad E_{\text{ch}} = r_m m$$

$$W_{\text{tot}} = \Delta E_k \quad E_{\text{totin}} = E_{\text{totuit}}$$

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

Domein D. Materialen

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- eenvoudige berekeningen maken met de volgende formule:

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

De kandidaat kent:

- de volgende vakbegrippen:
 - molecuul, atoom.

Subdomein D1. Eigenschappen van stoffen en materialen

Eindterm

De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen.

Specificatie

De kandidaat kan:

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

2. warmtetransport verklaren met behulp van materiemodellen,
 - het verband tussen de warmtestroom en de thermische geleidbaarheid van een stof uitleggen en eenvoudige berekeningen aan de warmtestroom⁶ maken;
 - vakbegrippen: geleiding, stroming, straling;
 - minimaal in de context: energiebesparing door isolatie;
3. temperatuurveranderingen van een stof beschrijven als gevolg van het toe- of afvoeren van warmte,
 - temperatuur beschrijven in termen van beweging van deeltjes en uitleggen dat er een absoluut nulpunt bestaat;
 - soortelijke warmte als stoffeigenschap;
 - omrekenen van graden celcius naar kelvin en omgekeerd;
4. het verband tussen de dichtheid en de soortelijke warmte bij metalen beschrijven en verklaren,
 - vakbegrip: atomaire massa;
5. het verband tussen de warmtegeleiding en elektrische geleiding bij metalen beschrijven en verklaren,
 - vakbegrip: geleidingselectron;
6. spanning-rekdiagrammen interpreteren in termen van elastische en plastische vervorming en berekeningen maken aan elastische vervormingen,
 - vakbegrip: treksterkte (de maximale sterkte waarbij nog geen breuk optreedt).

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$Q = cm\Delta T$$

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

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

Domein E. Aarde en heelal

Subdomein E1. Zonnestelsel en heelal

Eindterm

De kandidaat kan het ontstaan en de ontwikkeling van structuren in het heelal beschrijven en bewegingen in het zonnestelsel analyseren en verklaren aan de hand van fysische principes.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. de structuur van het zonnestelsel beschrijven,
 - waarnemingen van maanfasen en de hemelbaan van zon, maan en sterren interpreteren;
 - vakbegrippen: planeet, komeet, meteoriet;

⁶ Onder warmtestroom wordt verstaan: de hoeveelheid warmte die per tijdseenheid door een wand gaat. Hierbij mag de invloed van de luchtlagen aan weerszijden van de wand verwaarloosd worden.

2. cirkelbewegingen met constante baansnelheid analyseren,
 - berekeningen maken aan de middelpuntzoekende kracht alleen in situaties waarin slechts één kracht de rol van middelpuntzoekende kracht heeft;
 - vakbegrippen: omlooptijd, baanstraal, baansnelheid;
3. de baan van planeten om de zon en van maan en satellieten om de aarde analyseren met behulp van de gravitatiekracht,
 - uitleggen hoe de valversnelling aan het planeetoppervlak afhangt van de massa en de straal van de planeet;
 - vakbegrippen: ellipsbaan, geostationaire baan;
4. de verschillen tussen het heliocentrisch en het geocentrisch wereldbeeld benoemen en daarbij aangeven wat de invloed van deze verandering van het wereldbeeld op het menselijk denken is geweest;
5. het ontstaan, de structuur en de ontwikkeling van het heelal beschrijven,
 - uitleggen hoe de afstand van een ster tot de waarnemer en de tijd tussen uitzenden en waarnemen van het licht van de ster met elkaar samenhangen;
 - structuren: cluster, sterrenstelsel, planetenstelsel;
 - vakbegrippen: oerknal, uitdijend heelal, lichtsnelheid, lichtjaar, Melkweg, zonnestelsel;
6. beschrijven hoe in het totale spectrum van elektromagnetische straling waarnemingen aan het heelal worden verricht vanaf de aarde en vanuit de ruimte en dat een deel van die elektromagnetische straling afkomstig is van de warmtestraling van de zon en andere sterren,
 - de verschillende onderdelen van het elektromagnetisch spectrum en de eigenschappen van deze stralingssoorten beschrijven: gammastraling, röntgenstraling, ultraviolet, (zichtbaar) licht, infrarood, radiogolven, microgolven;
 - de wet van Wien gebruiken;
 - instrumenten: optische telescoop, radiotelescoop, ruimtetelescoop.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$F_g = G \frac{mM}{r^2}$$

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

$$\lambda_{\text{max}} T = k_w$$

Domein G. Meten en regelen

Bekend verondersteld:

De kandidaat kan:

- schakelschema's tekenen en interpreteren.

De kandidaat kent:

- de volgende vakbegrippen:
 - geleider, isolator.

Subdomein G1. Gebruik van elektriciteit

Eindterm

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

Specificatie

De kandidaat kan:

1. het verschijnsel elektrische stroom uitleggen als verplaatsing van lading ten gevolge van een aangelegde spanning,
 - de definities van stroomsterkte en soortelijke weerstand gebruiken;
 - vakbegrippen: vrij elektron, ion, afstotende en aantrekkende elektrische kracht, spanningsbron;
2. stroomkringen analyseren en daarbij voor serie- en parallelschakelingen van weerstanden berekeningen maken over spanning, stroomsterkte, weerstand en geleidbaarheid,
 - bij gemengde schakelingen alleen beredeneren en eenvoudige berekeningen maken;
 - de juiste aansluitwijze van stroommeter en spanningsmeter toepassen;
 - de volgende componenten toepassen binnen een schakeling: diode, LDR, NTC, PTC, ohmse weerstand, lamp, motor, verwarmingselement, zekering, aardlekschakelaar;
 - vakbegrippen: stroomdeling, spanningsdeling, kortsluiting;
3. het vermogen en het rendement van energieomzettingen in een elektrische stroomkring analyseren,
 - berekeningen aan elektrische energie in joule en in kilowattuur;
 - minimaal in de contexten: lichtbronnen en apparaten in huis (gloeilamp, spaarlamp, LED, elektromotor, verwarmingselement en kWh-meter), energiegebruik, energiebesparing;
4. de energie-omzetting bij verschillende opwekkingsvormen van elektriciteit beschrijven, en deze opwekkingsvormen vergelijken ten aanzien van duurzaamheid en energiedichtheid⁷,
 - opwekkingsvormen: kerncentrale, conventionele (fossiele brandstof) centrale, waterkrachtcentrale, zonnecel, waterstofcel, windturbine;
 - apparaat: generator;
5. verschillende vormen van transport en opslag van elektriciteit beschrijven⁸,
 - opslagvormen: batterij, accu, waterstofcel;

⁷ Kandidaten hoeven de kennis uit specificatie G1.4 niet wendbaar te kunnen toepassen.

⁸ Kandidaten hoeven de kennis uit specificatie G1.5 niet wendbaar te kunnen toepassen.

- apparaat: transformator;
- Vakbegrip: energiedichtheid van een accu, capaciteit.

De volgende formules horen bij deze specificaties:

$$G = \frac{1}{R}$$

$$I = \frac{Q}{t} \quad \rho = \frac{RA}{\ell}$$

$$I = GU \quad U = IR$$

Voor een serieschakeling:

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

Voor een parallelschakeling:

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

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

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

Domein H. Natuurkunde en technologie

Eindterm

De kandidaat kan in voorbeelden van technologische ontwikkeling die vallen binnen de subdomeinen van het centraal examen natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen.

Specificatie

De kandidaat kan:

1. voorbeelden die passen bij de specificaties van de havodomeinen uit deze syllabus gebruiken om de wederzijdse beïnvloeding van technologie en natuurkundige kennis toe te lichten;
2. fysische principes en wetmatigheden toepassen op technologische ontwikkelingen en daarbij in deze syllabus gespecificeerde natuurkundige kennis hanteren,
 - principes: model als vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid, analogie, denken in ordes van grootte;
 - wetmatigheden: wet van behoud van energie, wetten van Newton (eerste en tweede).

Bijlage 1: Examenprogramma

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
Domein I	Onderzoek en ontwerp

Het centraal examen

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

Het CvE 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.

Het CvE stelt het aantal en de tijdsduur van de zittingen van het centraal examen vast.

Het CvE maakt indien nodig een specificatie bekend van de examenstof van het centraal examen.

Het schoolexamen

Het schoolexamen heeft betrekking op domein A en:

- de subdomeinen D2, I1, I2 en I3;
- een keuze van twee uit de (sub)domeinen B3, E2, F en G2; daarbij kan het bevoegd gezag deze keuze maken, dan wel de 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 A Vaardigheden

Algemene vaardigheden (profieloverstijgend niveau)

Subdomein A1: Informatievaardigheden gebruiken

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

Subdomein A2: Communiceren

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

Subdomein A3: Reflecteren op leren

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

Subdomein A4: Studie en beroep

4. De kandidaat kan aangeven op welke wijze natuurwetenschappelijke kennis in studie en beroep wordt gebruikt en kan mede op basis daarvan zijn belangstelling voor studies en beroepen onder woorden brengen.

***Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden
(bètaprofielniveau)***

Subdomein A5: Onderzoeken

5. De kandidaat kan in contexten instructies voor onderzoek op basis van vraagstellingen uitvoeren en conclusies trekken uit de onderzoeksresultaten. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Subdomein A6: Ontwerpen

6. De kandidaat kan in contexten op basis van een gesteld probleem een technisch ontwerp voorbereiden, uitvoeren, testen en evalueren en daarbij relevante begrippen, theorie en vaardigheden en valide en consistente redeneringen hanteren.

Subdomein A7: Modelvorming

7. De kandidaat kan in contexten een probleem analyseren, een adequaat model selecteren, en modeluitkomsten genereren en interpreteren. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.

Subdomein A8: Natuurwetenschappelijk instrumentarium

8. De kandidaat kan in contexten een voor de natuurwetenschappen relevant instrumentarium hanteren, waar nodig met aandacht voor risico's en veiligheid; daarbij gaat het om instrumenten voor dataverzameling en -bewerking, vaktaal, vakconventies, symbolen, formuletaal en rekenkundige bewerkingen.

Subdomein A9: Waarderen en oordelen

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

Natuurkunde – specifieke vaardigheden

Subdomein A10: Kennisontwikkeling en -toepassing

10. De kandidaat kan in contexten analyseren op welke wijze natuurkundige en technologische kennis wordt ontwikkeld en toegepast.

Subdomein A11: Technisch-instrumentele vaardigheden

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

Subdomein A12: Rekenkundige en wiskundige vaardigheden

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

Subdomein A13: Vaktaal

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

Subdomein A14: Vakspecifiek gebruik van de computer

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

Subdomein A15: Kwantificeren en interpreteren

15. 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

16. De kandidaat kan in contexten eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van onder andere informatieoverdracht.

Subdomein B2: Medische beeldvorming

17. De kandidaat kan eigenschappen van ioniserende straling en de effecten van deze straling op mens en milieu beschrijven. Ook kan de kandidaat medische beeldvormingstechnieken beschrijven en analyseren aan de hand van fysische principes en de diagnostische functie van deze beeldvormingstechnieken voor de gezondheid toelichten.

Subdomein B3: Optica*

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

Domein C Beweging en energie

Subdomein C1: Kracht en beweging

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

Subdomein C2: Energieomzettingen

20. 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 stoffen en materialen

21. De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren met behulp van atomaire en moleculaire modellen.

Subdomein D2: Functionele materialen

22. 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 en heelal

23. De kandidaat kan het ontstaan en de ontwikkeling van structuren in het heelal beschrijven en bewegingen in het zonnestelsel analyseren en verklaren aan de hand van fysische principes.

Subdomein E2: Aarde en klimaat*

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

Domein F Menselijk lichaam*

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

Domein G Meten en regelen

Subdomein G1: Gebruik van elektriciteit

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

Subdomein G2: Technische automatisering*

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

Domein H Natuurkunde en technologie

28. De kandidaat kan in voorbeelden van technologische ontwikkeling die vallen binnen subdomeinen van het centraal examen natuurkundige principes en wetmatigheden herkennen, benoemen en toepassen.

Domein I Onderzoek en ontwerp

Subdomein I1: Experiment

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

Subdomein I2: Modelstudie

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

Subdomein I3: Ontwerp

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

* uit deze vier (sub)domeinen worden er twee gekozen.

Bijlage 2: Grootheden- en eenhedenoverzicht

grootheid	symbool	eenheid	symbool
aantal kernen	N	-	-
aantal neutronen in kern	N	-	-
activiteit	A	(deeltjes) per seconde, becquerel	s^{-1} , Bq
afstand	x	meter	m
arbeid	W	joule	J
arm	r	meter	m
atoomnummer	Z	-	-
brekingsindex	n	-	-
capaciteit		ampèreuur, wattuur	Ah, Wh
dichtheid	ρ	kilogram per kubieke meter	$kg\ m^{-3}$
dikte	d	meter	m
elasticiteitsmodulus	E	newton per vierkante meter, pascal	$N\ m^{-2}$, Pa
energie	E	joule, kilowattuur, elektronvolt	J, kWh, eV
equivalente dosis	H	sievert	Sv
frequentie	f	hertz	Hz
geleidbaarheid	G	siemens	S
golflengte	λ	meter	m
halveringsdikte	$d_{1/2}$	meter	m
halveringstijd	$t_{1/2}$	seconde	s
hoogte	h	meter	m
intensiteit	I	(deeltjes) per vierkante meter	m^{-2}
kracht	F	newton	N
lading	Q	coulomb	C
lengte	l	meter	m
massa	m, M	kilogram	kg
massagetal	A	-	-
oppervlakte	A	vierkante meter	m^2
rek	ε	-	-
rendement	η	-	-
snelheid	v	meter per seconde	$m\ s^{-1}$
soortelijke warmte	c	joule per kilogram per kelvin	$J\ kg^{-1}\ K^{-1}$
soortelijke weerstand	ρ	ohm meter	$\Omega\ m$
spanning	U	volt	V
spanning	σ	newton per vierkante meter, pascal	$N\ m^{-2}$, Pa
stookwaarde	r_v, r_m	joule per kubieke meter, joule per kilogram	$J\ m^{-3}$ $J\ kg^{-1}$
straal	r	meter	m
stralingsdosis	D	gray	Gy
stralingsweegfactor	w_R	-	-
stroomsterkte	I	ampère	A
temperatuur	T	kelvin, graad Celsius	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 meter	$N\ m^{-1}$
vermogen	P	watt	W
verplaatsing	s	meter	m
versnelling	a	meter per secondekwadraat	$m\ s^{-2}$

volume	V	kubieke meter	m^3
warmte	Q	joule	J
warmtegeleidingscoëfficiënt	λ	watt per meter per kelvin	$W m^{-1} K^{-1}$
warmtestroom	P	watt	W
weerstand	R	ohm	Ω

natuurconstanten

constante van Planck
gravitatieconstante
lichtsnelheid
constante van Wien

symbool

h
 G
 c
 k_w

Bijlage 3: Examenwerkwoorden bij natuurkunde

Er is een gecombineerde lijst voor examenwerkwoorden opgesteld voor natuur- en wiskunde. Er is gestreefd naar maximale afstemming en overlap. De complete lijst voor wis- en natuurkunde is omstreeks maart 2017 in een nieuwsbericht gepubliceerd op Examenblad.nl.

In onderstaande lijst staan de relevante examenwerkwoorden voor natuurkunde. Als in een natuurkunde-examen een van de woorden uit onderstaande lijst wordt gebruikt, geldt de betekenis die hiervan in deze lijst is gegeven. Deze lijst met examenwerkwoorden is niet uitputtend.

Algemeen: Tenzij anders aangegeven, is de wijze waarop het antwoord gevonden wordt vrij.	
Aantonen dat, laten zien dat	Het geven van een redenering en/of bepaling en/of berekening waaruit de juistheid van het gestelde blijkt. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet. In het algemeen geldt dat het gestelde controleren door middel van een of meer voorbeelden niet voldoet
Aantonen of	Het geven van een redenering en/of bepaling en/of berekening waaruit de (on)juistheid van het gestelde blijkt. Het antwoord moet worden afgesloten met een conclusie. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet. In het algemeen geldt dat het gestelde controleren door middel van een of meer voorbeelden niet voldoet, tenzij het geven van een tegenvoorbeeld tot de juiste conclusie leidt.
Afleiden van bijvoorbeeld een formule of een eenheid	Het geven van een redenering waaruit de juistheid van de formule of eenheid volgt uit de gegevens en/of formules in de opgave en/of met behulp van toegestane hulpmiddelen, gebruik makend van wiskundige bewerkingen, zoals combineren, herschrijven en substitueren. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet. De formule controleren door middel van een of meer getallen of het invullen van eenheden voldoet niet.
Bepalen	Het gevraagde vaststellen en/of uitrekenen uitgaande van gegevens in: <ul style="list-style-type: none"> • een grafiek • een figuur in de opgave of <ul style="list-style-type: none"> • andere informatiebronnen • door het maken van een constructie Uit de uitwerking moet blijken welke formules en/of principes zijn toegepast, welke waarden zijn gebruikt en welke stappen zijn gezet.
Beredeneren, uitleggen	Het geven van een uitwerking waarin de denkstappen staan, waaruit het gestelde/gevraagde blijkt.

Berekenen	Het gevraagde uitrekenen, uitgaande van gegevens in de opgave en/of andere informatiebronnen. Uit de uitwerking moet blijken welke formules en/of principes zijn toegepast, welke waarden zijn gebruikt en welke stappen zijn gezet.
Construeren	Het geven van een grafische voorstelling die de voor de probleemsituatie relevante karakteristieke eigenschappen bevat met een nauwkeurigheid die overeenkomt met de in het correctievoorschrift aangegeven marge. Uit de uitwerking moet blijken welke stappen zijn gezet.
Noemen, (aan)geven wat, welke, wanneer, hoeveel	Een eindantwoord geven. Een toelichting is niet vereist tenzij anders is aangegeven.
Schatten	Een benadering van een waarde geven door middel van een berekening, bepaling of redenering. Uit de uitwerking moet blijken welke waarden zijn gebruikt en welke stappen zijn gezet.
Schetsen	Het geven van een grafische voorstelling die de voor de probleemsituatie relevante karakteristieke eigenschappen bevat.
Tekenen	Het geven van een grafische voorstelling die de voor de probleemsituatie relevante karakteristieke eigenschappen bevat en voldoende nauwkeurig is. In het geval van een grafiek moet een assenstelsel met schaalverdeling zijn weergegeven. Het assenstelsel moet voorzien zijn van grootheden en eenheden.

Bijlage 4: De correctie van het centraal examen natuurkunde

Algemeen

De regels voor de correctie in het correctievoorschrift bevatten algemene regels en vakspecifieke regels. De algemene regels zijn voor alle vakken gelijk. Hierin staat bijvoorbeeld dat voor een antwoord dat helemaal goed is het volle aantal punten toegekend moet worden en dat als een antwoord niet helemaal goed is, de corrector met behulp van de deelscores in het beoordelingsmodel het aantal punten moet vaststellen. Ook staat er in dat een fout in één vraag niet tweemaal aangerekend mag worden, terwijl eenzelfde fout in twee verschillende vragen wel tweemaal aangerekend moet worden. Het is de bedoeling dat leerlingen op verschillende scholen en bij verschillende docenten gelijk beoordeeld worden. Het correctievoorschrift moet voldoende houvast bieden om dat mogelijk te maken.

Vakspecifieke regels

1. Een afwijking in de uitkomst van een berekening door acceptabel tussentijds afronden wordt de kandidaat niet aangerekend.
2. Het laatste scorepunt, aangeduid met 'completeren van de berekening/bepaling', wordt niet toegekend als:
 - een fout in de nauwkeurigheid van de uitkomst gemaakt is (zie punt 3),
 - een of meer rekenfouten gemaakt zijn,
 - de eenheid van een uitkomst niet of verkeerd vermeld is, tenzij gezien de vraagstelling het weergeven van de eenheid overbodig is (In zo'n geval staat in het beoordelingsmodel de eenheid tussen haakjes),
 - antwoordelementen foutief met elkaar gecombineerd zijn,
 - een onjuist antwoordelement een substantiële vereenvoudiging van de berekening/bepaling tot gevolg heeft.
3. De uitkomst van een berekening mag één significant cijfer meer of minder bevatten dan op grond van de nauwkeurigheid van de vermelde gegevens verantwoord is, tenzij in de vraag is vermeld hoeveel significante cijfers de uitkomst dient te bevatten.
4. Het scorepunt voor het gebruik van een formule wordt toegekend als de kandidaat laat zien kennis te hebben van de betekenis van de symbolen uit de formule. Dit blijkt als:
 - de juiste formule is geselecteerd, én
 - voor minstens één symbool een waarde is ingevuld die past bij de betreffende grootte.

Toelichting op de vakspecifieke regels

Regel 1: tussentijds afronden

Het is gebruikelijk om tussenantwoorden niet af te ronden of af te ronden op één significant cijfer méér dan in het eindantwoord vereist is. Als een leerling tussentijds bijvoorbeeld afrondt op het juiste aantal significante cijfers, kan dat een (kleine) afwijking in het eindantwoord geven. Dit wordt de leerling niet aangerekend.

Regel 2: het laatste scorepunt

Aan de hand van voorbeeld 1 wordt deze regel toegelicht.

Als een leerling bij de 3-punts vraag in dit voorbeeld voor r de diameter invult in plaats van de straal en verder alles goed doet, verliest deze leerling het tweede scorepunt. Het punt voor het completeren van de berekening kan de leerling dan nog krijgen.

De volgende situatie is echter ook denkbaar:

Een leerling vult in de formule voor de weerstand de dichtheid in voor ρ en voor A de omtrek van de cirkel. Als eindantwoord noteert de leerling $l = 4,9 \cdot 10^{-11}$ m.

Redenering 1: de leerling heeft zoals gevraagd een lengte berekend en deze weergegeven in het juiste aantal significante cijfers en met de juiste eenheid. De leerling krijgt 1 punt voor het completeren.

Redenering 2: deze leerling heeft er niets van begrepen, doet eigenlijk niets goed en dus kan er van completeren ook geen sprake zijn. De leerling krijgt 0 punten.

De bedoeling is dat de leerling voor deze vraag 0 punten krijgt. In dit voorbeeld kan er namelijk geen sprake zijn van een juiste eenheid, omdat de dichtheid een andere eenheid heeft dan de soortelijke weerstand en de omtrek een andere dan de oppervlakte. De elementen van regel 2 moeten in soortgelijke gevallen voldoende zijn om vast te stellen dat het laatste scorepunt niet toegekend kan worden.

De laatste twee elementen van regel 2 maken duidelijk dat de oplossing voor een vraag vaak uit meer bestaat dan de afzonderlijke deelscores. Zo is het in voorbeeld 2 denkbaar dat een leerling de energie correct berekent en vervolgens het rendement wil berekenen door deze energie te vermenigvuldigen met 0,83. In dat geval is sprake van het foutief combineren van antwoordelementen en kan het laatste scorepunt niet worden toegekend.

Een fout in een van de antwoordelementen kan een substantiële vereenvoudiging tot gevolg hebben. Bijvoorbeeld als een leerling in een vraag met meerdere krachten, waarvan twee parallel en één schuin, de schuine kracht vergeet. Het bepalen van de resulterende kracht wordt daardoor een stuk eenvoudiger omdat krachten niet meer hoeven te

Voorbeeld 1:

In een 'rekstrookje' is een lange, dunne constantaandraad verwerkt. Deze draad heeft een weerstand van 350Ω en een diameter van $40 \mu\text{m}$.

Bereken de lengte van de constantaandraad.

Beoordelingsmodel:

Voor de weerstand geldt: $R = \rho \frac{l}{A}$ met $A = \pi r^2$.

Invullen levert: $350 = 0,45 \cdot 10^{-6} \frac{l}{\pi(\frac{1}{2} \cdot 40 \cdot 10^{-6})^2}$.

Dit levert: $l = 0,98$ m

- gebruik van $R = \rho \frac{l}{A}$ met $\rho = 0,45 \cdot 10^{-6} \Omega\text{m}$
- gebruik van $A = \pi r^2$ met $r = \frac{1}{2}d$
- completeren van de berekening

Voorbeeld 2:

Een VR-verwarmingsketel levert bij een watertemperatuur van 60°C een vermogen van 20 kW , en bij een watertemperatuur van 80°C een vermogen van 30 kW . Het rendement van een VR-ketel bedraagt 83% . Stel dat op een dag de ketel $4,5$ uur brandt.

Bereken de maximale hoeveelheid chemische energie die de ketel die dag verbruikt.

Beoordelingsmodel:

Er geldt: $E = Pt$, waarin $P = 30 \cdot 10^3 \text{ W}$ en invullen levert:

$$E = Pt = 30 \cdot 10^3 \cdot 4,5 \cdot 3600 = 4,86 \cdot 10^8 \text{ J.}$$

(Voor het rendement geldt $\eta = \frac{E_{\text{nuttig}}}{E_{\text{in}}}$.)

Dus geldt voor de energie die de ketel verbruikt:

$$E_{\text{chem}} = \frac{4,86 \cdot 10^8}{0,83} = 5,9 \cdot 10^8 \text{ J}$$

- gebruik van $E = Pt$
- in rekening brengen van het rendement
- completeren van de berekening

worden ontbonden. Dan kan één fout naast het betreffende bolletje ook het laatste scorepunt kosten.

Regel 3: significantie

Hier ontstaat soms discussie, omdat niet duidelijk is welke vuistregels door leerlingen gehanteerd moeten worden. In subdomein A8 in deze syllabus zijn de vuistregels opgenomen.

Regel 4: gebruik van een formule

Alleen het opschrijven van de juiste formule is niet voldoende om dit scorepunt te verdienen. De leerling moet daarvoor meer doen. De leerling moet voor minstens een grootheid laten zien dat hij weet wat het betekent. Deze regel wordt toegelicht met een aantal voorbeelden.

Aan de hand van voorbeeld 2 volgt hier een vijftal opmerkingen om de bedoeling van regel 4 te verduidelijken:

- Als een leerling bij $E = Pt$, voor P 20 kW invult, verdient hij het scorepunt voor het gebruik van de formule wel. De leerling laat namelijk zien dat hij/zij weet dat het symbool P het vermogen is.
- Als een leerling voor P de waarde 30 invult in plaats van $30 \cdot 10^3$, verdient hij het scorepunt. Ook nu laat hij zien de betekenis van het symbool P te kennen.
- Als een kandidaat bij $E = Pt$, alleen voor t 60 °C invult, verdient hij het scorepunt voor het gebruik van de formule niet. De leerling laat namelijk zien dat hij niet weet dat het symbool t hier staat voor tijd.
- De formule hoeft niet helemaal genoteerd te zijn. Wel moet uit het antwoord het gebruik van de formule duidelijk blijken.
- De formulering 'inzicht in' is ruimer. Uit hetgeen de leerling opschrijft mag het inzicht impliciet blijken.

Soms wordt er bij het deelscorepunt voor het gebruik van een formule een aanvullende eis opgenomen in het beoordelingsmodel, zoals in voorbeeld 1. In dit geval moet de soortelijke weerstand juist ingevuld zijn om het eerste scorepunt te krijgen. Als alleen voor ρ de juiste waarde is ingevuld en verder niets, verdient een leerling dit scorepunt wel. Als voor l een lengte is ingevuld en voor ρ niets, verdient een leerling dit scorepunt niet.

Tot slot

Het zal duidelijk zijn dat het onmogelijk is alles zo te formuleren dat er geen discussie meer mogelijk is. Dat wordt dan overgelaten aan de professionaliteit van de docenten in hun functie van eerste en tweede corrector. Binnen de gestelde regels moeten zij tot overeenstemming komen. Belangrijk hierbij is dat alleen het correctievoorschrift met eventuele aanvullingen, uitgegeven door het CvTE en gepubliceerd op Examenblad.nl, bindend is voor correctoren. Voor problemen met het correctievoorschrift kunt u altijd terecht bij de Examenlijn van het CvTE (via Examenloket@duo.nl). Elke opmerking wordt op waarde geschat en waar nodig worden maatregelen genomen, zoals een aanvulling op het correctievoorschrift of het aanpassen van de N-term bij de normering. Voor de langere termijn kan het leiden tot het aanpassen van de syllabus of het examen.

