

SAMENHANG IN HET NATUURWETENSCHAPPELIJK ONDERWIJS VOOR HAVO EN VWO

KERST BOERSMA

COMMISSIE VERNIEUWING BIOLOGIE ONDERWIJS

ASTRID BULTE

STUURGROEP NIEUWE SCHEIKUNDE

JENNEKE KRÜGER

STUURGROEP NLT

MAARTEN PIETERS

COMMISSIE VERNIEUWING NATUURKUNDEONDERWIJS HAVO/VWO

FRANK SELLER

STUURGROEP NIEUWE SCHEIKUNDE

DECEMBER 2010

Colofon

Samenhang in het natuurwetenschappelijk onderwijs voor havo en vwo

Kerst Boersma, Astrid Bulte, Jenneke Krüger, Maarten Pieters, Frank Seller

© 2010 Stichting Innovatie van Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie (IOBT)

ISBN 978 90 816760 1 4

Eindredactie en omgeving: Claud Biemans, www.frontlinie.nl

Drukker: Offset Print, Valkenswaard

Alle rechten voorbehouden. Mits bron wordt vermeld, is het toegestaan om zonder voorafgaande toestemming van de uitgever deze uitgave geheel of gedeeltelijk te kopiëren dan wel op andere wijze te verveelvoudigen.

Bij bronvermelding de volgende referentie gebruiken:

Boersma, K., Bulte, A., Krüger, J., Pieters, M. & Seller, F. (2011).

Samenhang in het natuurwetenschappelijk onderwijs voor havo en vwo.

Utrecht: Stichting Innovatie van Onderwijs in Bètawetenschappen en Technologie (IOBT)

Inhoud

Voorwoord	5
Procedure	7
1 Samenhang tussen de schoolvakken biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT	8
1.1 Inleiding	8
1.2 Kernconcepten in de schoolvakken	12
1.3 Vaardigheden voor de natuurwetenschappelijke vakken	20
1.4 Contexten in thema's	23
2 Samenhang tussen de wetenschappelijke disciplines biologie, natuurkunde en scheikunde	30
2.1 Inleiding	30
2.2 Gemeenschappelijke kernconcepten	34
2.3 Typerende denk- en werkwijzen	35
2.4 Gemeenschappelijke thema's	37
2.5 Uitwerking van gemeenschappelijke kernconcepten	39
Bijlage 1 Samenhang tussen eindtermen van de examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken havo	47
1. Biologie - natuurkunde	49
2. Biologie - scheikunde	52
3. Biologie - NLT	56
4. Natuurkunde - scheikunde	60
5. Natuurkunde - NLT	62
6. Scheikunde - NLT	65
Bijlage 2 Samenhang tussen eindtermen van de examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken vwo	68
1. Biologie - natuurkunde	70
2. Biologie - scheikunde	74
3. Biologie - NLT	80
4. Natuurkunde - scheikunde	84
5. Natuurkunde - NLT	87
6. Scheikunde - NLT	90
Bijlage 3 Commentaar	94

Voorwoord

De afgelopen jaren hebben vakvernieuwingscommissies voor biologie, natuurkunde, scheikunde, wiskunde en natuur, leven en technologie (NLT) in opdracht van het ministerie van OCW gewerkt aan de ontwikkeling van nieuwe examenprogramma's voor havo en vwo. NLT, het nieuwe interdisciplinaire keuzevak voor bèta, is in ontwikkeling sinds 2006, een proces dat vanaf 2007 parallel loopt met invoering, nu op meer dan 220 scholen. In december 2010 zijn adviezen voor nieuwe examenprogramma's voor de vier natuurwetenschappelijke vakken aangeboden aan de minister van OCW. Voor wiskunde zal dat twee jaar later gebeuren. De nieuwe examenprogramma's voor de vakken biologie, natuurkunde en scheikunde zijn gebaseerd op concept-examenprogramma's die uitgetest zijn in pilotscholen aan de hand van experimenteel lesmateriaal. Het nieuwe adviesexamenprogramma NLT komt voort uit evaluatie van de ervaringen op de invoerscholen.

De vakvernieuwingscommissies vinden afstemming tussen de nieuwe examenprogramma's van groot belang, omdat dit een kader biedt waarbinnen samenhangend natuurwetenschappelijk onderwijs tot stand kan komen. Samenhang in het natuurwetenschappelijk onderwijs is om een aantal redenen van belang. Het stelt leerlingen in de gelegenheid zich bewust te worden van overeenkomsten in natuurwetenschappelijke kennis en vaardigheden en faciliteert transfer van kennis en vaardigheden naar verschillende contexten in verschillende vakken. Ook geven interdisciplinaire contexten een actueler beeld van de rol van natuurwetenschappen in de samenleving en van de aard van het huidige onderzoek. Daarnaast is ook de samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken en wiskunde van groot belang. Enerzijds omdat wiskunde het instrumentarium biedt waarmee kwantitatieve relaties in de natuurwetenschappen kunnen worden uitgewerkt en anderzijds omdat de natuurwetenschappen relevante contexten bieden waarbinnen wiskundige kennis kan worden toegepast. Het ministerie van OCW heeft de vakvernieuwingscommissies daarom verzocht de samenhang tussen de nieuwe examenprogramma's te verduidelijken.

In deze notitie proberen de samenstellers samenhang tussen de nieuwe *examenprogramma's* voor biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT zichtbaar te maken. In een latere fase zal een afzonderlijke notitie over samenhang tussen de examenprogramma's voor wiskunde en de natuurwetenschappelijke vakken

worden uitgewerkt. Gezien de prioriteit die daaraan is toegekend is al eerder een publicatie over samenhang tussen natuurkunde en wiskunde samengesteld.¹

Voor samenhangend natuurwetenschappelijk *onderwijs* is meer nodig dan samenhang tussen examenprogramma's. Examenprogramma's vormen kaders voor syllabi, handreikingen en leermiddelen. Bij het ontwikkelen hiervan is tot nu toe geen prioriteit gegeven aan samenhang tussen de vakken, met uitzondering van de modules van het interdisciplinaire vak NLT. Op scholen, onder meer op multipilotscholen (die aan meer dan één examenpilot voor de bètavakken deelnamen), werken docenten soms al wel aan samenhangend onderwijs. Het doel van deze notitie is een basis te bieden voor verdergaande ontwikkeling van samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken in syllabi, handreikingen en in lesmaterialen, om zo samenhangend onderwijs voor meer docenten mogelijk te maken.

In deze notitie wordt ervan uitgegaan dat samenhang tussen de natuurwetenschappelijke schoolvakken gebaseerd dient te zijn op de wijze waarop de disciplines biologie, natuurkunde en scheikunde met elkaar samenhangen. Het onderscheid tussen enerzijds de samenhang van wetenschappelijke disciplines, anderzijds de samenhang tussen daarop gebaseerde schoolvakken wordt in deze publicatie strikt gehanteerd. Het eerste deel van de publicatie gaat over samenhang tussen de natuurwetenschappelijke schoolvakken. Het tweede deel geeft daarvoor een fundering, in de vorm van een vakoverstijgend kader dat de samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines karakteriseert.

In de bijlagen zijn combinaties van eindtermen van steeds twee schoolvakken opgenomen. Uitwerkingen in de lespraktijk van deze combinaties bieden leerlingen een goed beeld van de samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines.

1 Giessen, C. van de, Hengeveld, T., Kooij, H. van der, Rijke, K. & Sonneveld, W. (2008). *Eindverslag van Werkgroep Afstemming Wiskunde-Natuurkunde aan Vernieuwingscommissies Wiskunde cTWO en Natuurkunde NiNa*. Utrecht/Amsterdam: Commissie Toekomst Wiskunde Onderwijs / Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs.

Procedure

Deze notitie is tot stand gekomen op initiatief van de vakvernieuwingscommissies c.q. stuurgroepen voor biologie, natuurkunde, scheikunde en natuur, leven en technologie. Een taakgroep is ingesteld, met uit elke commissie een vertegenwoordiger. De taakgroep heeft op basis van literatuuronderzoek en in overleg met de respectievelijke commissies een conceptversie van het deel over de samenhang tussen de wetenschappelijke disciplines geschreven (het huidige hoofdstuk 2). Deze versie is voor commentaar voorgelegd aan een aantal onderzoekers en technologen uit de verschillende disciplines (zie bijlage 3).

De commentaren zijn verwerkt en de notitie is aangevuld met een gedeelte over de samenhang in de schoolvakken (nu hoofdstuk 1) en met voorbeeld-uitwerkingen voor vakkencombinaties (bijlagen 1 en 2). De gecombineerde versie is besproken in de volgende twee gremia:

- een landelijke bijeenkomst van NVON-leden op 28 april 2010
- een bijeenkomst met de Raad voor Technische Wetenschappen, Wiskunde en Informatica, Natuur- en Sterrenkunde en Scheikunde (TWINS-raad) van de Koninklijke Nederlandse Akademie van Wetenschappen op 10 juni 2010.

Ook de reacties uit deze bijeenkomsten zijn verwerkt in de versie die nu voor u ligt.

1 Samenhang tussen de schoolvakken biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT

1.1 Inleiding

De wenselijkheid van samenhang

De laatste jaren is de aandacht van scholen voor samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken in de bovenbouw havo/vwo toegenomen. Er zijn ook goede redenen om meer samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken na te streven. We noemen er enkele:

- De meeste leerlingen waarderen onderwijs waarin docenten zichtbaar samenwerken; veel leerlingen vertonen een voorkeur voor vakoverstijgende onderwerpen.
- Het is wenselijk dat leerlingen kennis van het ene vak in het andere vak kunnen gebruiken, omdat die kennis noodzakelijke voorkennis vormt voor de ontwikkeling van het andere vak. Zo is kennis van deeltjesmodellen niet alleen noodzakelijk binnen scheikunde en natuurkunde, maar ook in de biologie, namelijk voor verklaringen van processen op het niveau van cel en organismen.
- Het is wenselijk dat leerlingen leren inzien dat voor de oplossing van maatschappelijke vraagstukken multidisciplinaire kennis en een multidisciplinaire aanpak noodzakelijk zijn. Beroepen en activiteiten in het brede terrein van natuurwetenschap vragen veelal samenwerking vanuit veel verschillende gebieden en daarmee het begrijpen van elkaars taal en begrippenkader. Dat geldt evenzeer voor natuurwetenschappelijk onderzoek. Daarbij gaat het niet om opheffing van de 'klassieke' natuurwetenschappen, maar om erkennen van hun complementariteit en samenhang.

De verwachting is niet, zoals wel geopperd wordt, dat door samenhangend natuurwetenschappelijk onderwijs tijd kan worden bespaard. Leerlingen bereiken

naar verwachting wel een beter niveau van kennis en ze krijgen meer inzicht in de realiteit van natuurwetenschappelijke activiteiten.

Knelpunten

Voor scholen is samenhang tussen de vakken niet eenvoudig te realiseren. Daarvoor ontbreken dikwijls kaders, randvoorwaarden en materiaal. Voorbeelden van knelpunten zijn:

- Jaarprogramma's van scholen zijn in de bovenbouw niet opgezet vanuit een gezamenlijke programmering, waardoor niet gegarandeerd kan worden dat noodzakelijke voorkennis voor een ander vak tijdig wordt aangeboden.
- Docenten van verschillende vakken hebben vaak maar weinig mogelijkheden voor overleg, zodat het moeilijk is afspraken te maken over de manier waarop samenhang gestalte krijgt.
- De huidige lesmethoden besteden weinig of geen aandacht aan samenhang tussen de vakken, waardoor docenten die dat willen gebruik moeten maken van door anderen ontwikkeld materiaal; dat is maar beperkt beschikbaar. Zelf ontwikkelen van goed materiaal is niet eenvoudig.

Mogelijkheden

Ondanks deze knelpunten zijn er scholen die de afgelopen jaren begonnen zijn met het ontwikkelen van samenhangend natuurwetenschappelijk onderwijs, vaak eerst in de onderbouw, maar gaandeweg ook in de tweede fase. Dat geldt in ieder geval voor de scholen waar het nieuwe vak NLT is ingevoerd, voor de scholen die bètabreed aandacht besteden aan ontwerpen en onderzoeken, voor de multipilotscholen en voor de scholen die, vaak incidenteel, een project ontwikkeld hebben waaraan meerdere vakken deelnemen.

Toch is er al best wat mogelijk, bijvoorbeeld in het schoolexamen. Gedacht kan worden aan de volgende mogelijkheden:

- afstemmen via afspraken op het gebied van formuleringen, volgorde van behandeling en herinneren aan behandeling in een ander vak
- selecteren en uitvoeren van interdisciplinaire onderwerpen, op basis van bestaande materialen, bijvoorbeeld de modules ontwikkeld voor NLT
- afspraken maken over de wijze waarop vaardigheden, zoals leren onderzoeken, ontwerpen en modelleren worden aangeboden; afspraken kunnen gaan van rapportage van onderzoek tot een volledige leerlijn
- gezamenlijk uitvoeren van een bètabreed project, waarbij het rooster tijdelijk wordt opgeschort.

Vormen van samenhang

Samenhang tussen schoolvakken kan zich richten op verschillende aspecten van de samenhang tussen de wetenschappelijke disciplines. Daarbij valt te denken aan:

- a. samenhang in de volgorde, waarbij aangesloten wordt op de kennis die in een van de andere vakken is aangeboden, bijvoorbeeld over energieomzetting
- b. conceptuele samenhang, waarbij concepten uit verschillende vakken aan de orde komen, zoals het concept molecuul
- c. contextuele samenhang, waarbij een context of probleem in een context vanuit meerdere vakken wordt verhelderd of aangepakt, bijvoorbeeld bodemzuivering
- d. gemeenschappelijke denk- en werkwijzen, zoals modelleren, onderzoeksvaardigheden of ontwerpvaardigheden.

Ondersteuning

Examenprogramma's vormen de basis voor de vakinhoud van de verschillende vakken. De examenprogramma's zijn tot nu toe niet geformuleerd met het oog op meer samenhangend bètaonderwijs. OCW heeft de vernieuwingscommissies voor de natuurwetenschappelijke vakken verzocht om samenhang tussen de vernieuwde examenprogramma's voor de verschillende vakken te expliciteren. Zo moet het makkelijker worden lesmaterialen en onderwijs te ontwikkelen waarin samenhang tussen bètavakken duidelijk is. Uiteraard kan niet worden volstaan met het zichtbaar maken van samenhang op het niveau van globale eindtermen van de examenprogramma's. Uitwerking in syllabi en handreikingen is net zo hard nodig, evenals de verdere ontwikkeling van interdisciplinair lesmateriaal.

Kaders

Deze notitie richt zich op samenhang tussen de nieuwe examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken, en biedt zo kaders waarbinnen de samenhang op scholen kan worden uitgewerkt. De notitie

- verheldert de conceptuele en contextuele samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken
- benoemt een aantal gemeenschappelijke kernconcepten en denk- en werkwijzen
- toont in de bijlagen 1 en 2 per combinatie van steeds twee vakken eindtermen die in combinatie met elkaar kunnen worden uitgewerkt.

In sommige gevallen is het goed mogelijk om modules die door verschillende vakvernieuwingscommissies zijn ontwikkeld in combinatie met elkaar te gebruik-

ken. Een overzicht van de mogelijkheden is door het nationaal expertisecentrum leerplanontwikkeling SLO samengesteld².

Overzicht

De grenzen en raakvlakken tussen de traditionele schoolvakken zijn verwant met die tussen de wetenschappelijke disciplines waarvan ze hun namen hebben gekregen. Toch is het goed om dit verschil te maken: tussen de disciplines in de moderne wetenschap en technologie is veel meer vervlechting dan tussen de schoolvakken. Verder correspondeert het schoolvak NLT niet met één bepaalde discipline, de vakinhoud is gekoppeld aan actuele en dus veelal interdisciplinaire onderwerpen uit wetenschap en technologie. NLT beoogt bovendien, leerlingen te laten ondervinden dat wiskunde onlosmakelijk verbonden is met natuurwetenschap en technologie.

Hoofdstuk 1 van deze notitie gaat in op de volgende drie categorieën waarmee de identiteit van de natuurwetenschappelijke disciplines en de samenhang ertussen zichtbaar kan worden gemaakt, met de gevolgen voor de schoolvakken:

- kernconcepten die voor alle drie de disciplines van belang zijn en in de schoolvakken onvermijdelijk aan de orde komen (par.1.2)
- denk- en werkwijzen, die in onderzoek in de drie disciplines worden gebruikt en die uitgewerkt zijn in gemeenschappelijke vaardigheden (par.1.3)
- thema's waarin natuurwetenschappelijke kennis wordt gebruikt en ontwikkeld, waarbinnen contexten kunnen worden gekozen waarin samenhang kan worden uitgewerkt (par.1.4).

Om de conceptuele samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines tot uitdrukking te brengen zijn een aantal gemeenschappelijke kernconcepten geïdentificeerd. Daarbij is een onderscheid gemaakt tussen een aantal overkoepelende kernconcepten en een aantal funderende kernconcepten. In par. 2.2 wordt de keuze van de kernconcepten toegelicht en worden de concepten nader omschreven.

² Een overzicht van deze combinaties is te vinden op:
www.betanova.nl/betanova/school/lesmateriaal/vakoverstijgend

1.2 Kernconcepten in de schoolvakken

De gekozen kernconcepten zijn de volgende:

Systeem
Schaal
Verandering
Energie
Materie
Ruimte
Tijd
Wisselwerking

De kernconcepten systeem, schaal en verandering zullen expliciet in de vakken aan de orde komen. Voor de andere kernconcepten geldt dat niet of niet altijd. Zo zullen de kernconcepten tijd en ruimte als vanzelfsprekend worden gehanteerd, zonder ze te expliciteren. De kernconcepten materie en energie zullen bij natuurkunde en scheikunde expliciet aan de orde komen, terwijl die concepten bij biologie veelal zonder nadere conceptualisering worden gehanteerd. Bij biologie echter wordt het begrip wisselwerking soms geëxpliciteerd, terwijl dat bij scheikunde en natuurkunde weer niet het geval is.

De kernconcepten verandering, ruimte en tijd, zoals die in de natuurwetenschappen worden gehanteerd, kunnen worden opgevat als formalisering van concepten die kinderen al op jonge leeftijd verwerven. Het kernconcept wisselwerking kan als een specificatie van het concept causaliteit worden gezien. Een deel van de genoemde kernconcepten wordt binnen de natuurwetenschappen gekwantificeerd en als grootheden gemeten en uitgedrukt in SI-eenheden.

In tabel 1.1 wordt het gebruik van de gemeenschappelijke kernconcepten in de schoolvakken aangegeven. Voor een omschrijving van die concepten in de disciplines wordt verwezen naar par. 2.5.

Tabel 1.1 Uitwerking van gemeenschappelijke kernconcepten in de schoolvakken biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT.

Systeem	
Biologie	Zowel binnen havo als vwo spelen binnen de meeste aangeboden contexten biologische processen op meerdere organisatieniveaus. Dat geldt in het bijzonder als aspecten van gezondheid, voeding, voortplanting en evolutie aan de orde komen. Benadrukt wordt daarbij dat deelsystemen op lagere organisatieniveaus een functie vervullen voor het systeem op het hogere organisatieniveau. Systeemdenken wordt binnen het biologieonderwijs van groot belang gevonden, omdat het bijdraagt aan inzicht in biologische complexiteit en het voor leerlingen structuur aanbrengt.
Natuurkunde	In de natuurkunde wordt onderscheid gemaakt tussen gesloten en open systemen. Gesloten systemen zijn idealisaties waarvoor vaak een fundamentele behoudswet geldt. Open systemen hebben een wisselwerking met de omgeving via uitwisseling van massa, energie etc. Systemen hebben in het natuurkundeonderwijs een modelkarakter: de atoomkern, het atoom, gassen, vloeistoffen en vaste stoffen, meet- en regelsystemen, levende systemen, de aarde, het zonnestelsel en het heelal. Het verschil tussen havo en vwo zit in de abstractie waarmee de kenmerken van deze systemen worden behandeld.
Scheikunde	In havo en vwo worden industriële processen uitgewerkt in blokschema's. Daarbij spelen energiehuishouding en massabalans/behoud een belangrijke rol. Op eenzelfde manier kunnen (bio)chemische processen in een menselijk lichaam uitgewerkt worden. Het behoud van atomen in chemische kringlopen komt aan de orde voor de koolstof- en stikstofkringlopen. Ook de evenwichtstheorie is een belangrijke uitwerking van systeemdenken in de scheikunde.
NLT	Binnen NLT wordt expliciet of impliciet met verschillende systemen gewerkt. Kenmerkend voor een systeem zijn in: input-output en relaties tussen delen van een systeem. In NLT voor havo komen onder meer de volgende systemen voor: het menselijk lichaam, deelsystemen daarvan zoals zenuwstelsel, waterhuishouding, gehoor en de cel; de aarde, met o.a. klimaat als systeem en de bodem als ecosysteem, de woning (energiebalans), navigatiesysteem en digitaal systeem (context discobal). In NLT voor vwo komen onder meer de volgende systemen voor: de aarde, koolstofkringloop, het weer, het zonnestelsel, melkwegstelsel, gesloten kas, waterstofauto, neurale netwerken.

Schaal	
Biologie	Zowel voor havo als vwo komen verschillende organisatieniveaus aan de orde, variërend van het moleculaire niveau tot het niveau van het systeem Aarde. Verklaringen voor allerlei verschijnselen worden veelal gevonden in interacties tussen componenten op lagere organisatieniveaus. Voor leerlingen is het organismeniveau veelal het referentiepunt.
Natuurkunde	Het mechanicaonderwijs laat leerlingen zien hoe de wetten van Newton op elke schaal gelden. In het onderwijs over eigenschappen van stoffen en materialen leren zij hoe eigenschappen op microschaal (of liever: nanoschaal) zich vertalen in andere eigenschappen op macroschaal.
Scheikunde	Bij het macro-micro-principe worden in het heen-en-weer denken tussen macroscopische eigenschappen en (micro-)structuren verklaringen gezocht voor een verschijnsel of eigenschap; op dezelfde manier worden mogelijkheden gezocht voor het ontwerpen van nieuwe materialen met bepaalde, gewenste eigenschappen.
NLT	Evenals in de bètatechnologische vakgebieden die dienen als inspiratie voor het examenprogramma van NLT is in veel van de onderwerpen die in havo of vwo aan de orde kunnen komen het begrip schaal van belang. Voorbeelden: moleculaire bouw van ethanol en de werking op het lichaam en gedrag, invloed van aerosolen op de gezondheid, ontwerp kleurendisplay door gebruik van elektrische signalen, de rol van bacteriën in de vorming van de bodemstructuur en de effecten op plantengroei, eisen aan de structuur van een kernfusiecentrale, meten in het heelal, waterstofproductie, epidemieën.

Verandering

<p>Biologie</p>	<p>Het concept verandering wordt als zodanig binnen het biologieonderwijs niet afzonderlijk geconceptualiseerd, al heeft een groot deel van de biologie die in havo en vwo wordt aangeboden betrekking op verandering van of binnen de cel, het organisme, de populatie of het systeem Aarde. Daarbij kan het gaan om autonome verandering (bijv. gedurende de levensloop van organismen, of ecosystemen), of om verandering onder invloed van de mens (bijv. productiesystemen, behoud en beheer van ecosystemen). Belangrijk bij veranderingsprocessen in biologische systemen zijn ontwikkeling (zelforganisatie) en zelfregulatie (homeostase), en de vraag in hoeverre daar tijdelijk evenwichtssituaties aan de orde zijn.</p>
<p>Natuurkunde</p>	<p>Zowel de mechanica als de warmteleer bestudeert veranderingen in energievorm. Veranderingen in fasetoestand als gevolg van veranderingen in druk en temperatuur komen aan de orde, evenals impulsveranderingen door wisselwerking tussen lichamen c.q. deeltjes en veranderingen in kernsamenstelling door radioactief verval. De relatie tussen veranderingen op verschillende schalen komt terug in de macro-microsamenhang.</p> <p>Bij de verschijnselen die aan de orde komen speelt het veranderings-tempo (<i>rate of change</i>) een belangrijke rol, dan wel de constantheid van de verschijnselen (behoudswetten, zoals die van lading of energie).</p>
<p>Scheikunde</p>	<p>Chemische veranderingen komen voornamelijk aan de orde door de typering van verschillende chemische reacties: de relatie tussen de waarneembare fenomenen en de modelmatige structuren van de elementaire bouwstenen: moleculen, atomen, ionen. Donor-acceptor bij bijvoorbeeld zuren-basen, redoxreacties; sleutel-slot bij biochemische reacties, biospecificiteit van enzymen, principes van katalyse.</p> <p>Chemici brengen (synthese) gericht gewenste veranderingen aan in moleculen.</p>
<p>NLT</p>	<p>In NLT worden veranderingen bestudeerd op verschillende niveaus en verschillende tijdschalen. Daarbij kan het, afhankelijk van de context, gaan om een combinatie van chemische reacties en de consequenties daarvan op macroniveau, om fysische processen, biologische verschijnselen en fysisch-geografische processen. Voorbeelden voor havo: omzetting van organismen naar nutriënten, vervalsnelheid, afbraak van alcohol in lichaam, verandering in reactiesnelheid, chemische reacties, vogeltrek, energiestromen, verandering van hoek van gewricht bij beweging, spierkracht, veerkracht (sprong), omzetting van signalen, trillingen / versnelling / dopplereffect, klimaatverandering.</p> <p>Voorbeelden voor vwo: chromatografie, de afname van het alcoholpercentage in bloed in de tijd bezien, evenwichtsreacties, klimaatverandering (op verschillende tijdschalen bekeken), periodieke veranderingen t.g.v. veranderingen in de baan van de aarde, evolutie van sterren, verandering van lichaamskracht, snelheid, versnelling, de ontwikkeling van hersenen.</p>

Materie	
Biologie	In het biologieonderwijs worden verklaringen voor biologische verschijnselen op cellulair en organismeniveau veelal ontleend aan modelmatige interacties op moleculair niveau. Veelal wordt ervan uitgegaan dat deeltjesbegrippen in voldoende mate bij natuurkunde en scheikunde aan de orde zijn geweest.
Natuurkunde	In het natuurkundeonderwijs krijgt materie zowel op atomaire en moleculaire schaal aandacht als op macroscopische schaal (zie ook 'Schaal'). Daarmee krijgt het materiebegrip een grondslag in het deeltjesmodel. In het mechanicaonderwijs speelt materie voortdurend een rol als datgene wat massa heeft, maar zonder dat dan op de andere eigenschappen van materie wordt ingegaan.
Scheikunde	De begrippen atoom en stof zijn centrale elementen in het scheikundeonderwijs en worden gekoppeld aan de concepten verbindingen en reactiviteit. Als model van de materie wordt gebruikgemaakt van het atoommodel van Bohr en van quantumchemische modellen.
NLT	De verschijnselen die onderwerp vormen van het NLT-curriculum spelen zich af in een materiële wereld.
Energie	
Biologie	Zowel bij havo als vwo komt energieomzetting meerdere malen aan de orde, zowel op cellulair niveau (assimilatie en dissimilatie), organismeniveau (voeding) als ecosysteemniveau (energiestromen). Meestal wordt ervan uitgegaan dat energie voldoende bij natuurkunde aan de orde is geweest en dat daarop kan worden aangesloten.
Natuurkunde	Energie, energiebehoud en omzettingen tussen energievormen spelen een rol in de mechanica en in de warmteleer. Ook in allerlei toepassingen van de natuurkunde wordt energie gebruikt als parameter om verschijnselen te beschrijven en te verklaren, van microschaal (bewegende deeltjes, vervalprocessen) en macroschaal (zoals gassen, levende systemen, of energieomzetters voor huishoudelijke of maatschappelijke toepassingen) tot kosmologische schaal (straling van sterren, gravitatie-energie van hemellichamen en sterrenstelsels, vooral vwo). Verder komt ook de equivalentie van materie en energie aan de orde bij vervalprocessen (vooral vwo).
Scheikunde	Energiebeschouwingen komen in het scheikundeonderwijs aan de orde bij chemische omzettingen/veranderingen en worden gekoppeld aan de begrippen exotherm, endotherm, energiediagrammen en atomeconomie.
NLT	Energie komt binnen NLT vooral als nuttige energie voor. Belangrijk is duurzaamheid gekoppeld aan energieopwekking en gebruik. Maar ook onderwerpen als bewegingsenergie en wisselwerking tussen energie en materie horen in het programma thuis.

Ruimte	
Biologie	Ruimte komt binnen het biologieonderwijs meestal alleen impliciet aan de orde. Sommige biologische begrippen, zoals de begrippen biotoop en vogeltrek hebben een ruimtelijke dimensie.
Natuurkunde	De funderende begrippen ruimte en tijd, zoals die in de algemene relativiteitstheorie en in de kosmologie geproblematiseerd worden, vormen in het voortgezet onderwijs een vanzelfsprekendheid. Er is ruimte, er is tijd (en in het stukje relativiteitstheorie dat in het vwo behandeld wordt: er is ruimte-tijd) en daarin spelen zich de verschijnselen af. Ruimte en tijd kunnen van coördinaten voorzien worden en daarmee een basis voor wiskundige beschrijvingen van verschijnselen vormen.
Scheikunde	Ruimte komt expliciet aan de orde als het gaat om stereochemie. Ruimte speelt een rol in de biochemie als het gaat om het sleutel-slot-principe en bij <i>molecular switches</i> .
NLT	Ruimte is niet expliciet een onderwerp binnen NLT. Ruimte en tijd zijn van belang omdat verschijnselen zich afspelen in de ruimte en tijd en daarbinnen ook wiskundig beschreven kunnen worden.

Tijd	
Biologie	Doordat in havo en vwo verschillende organisatieniveaus aan de orde komen zijn ook processen op verschillende tijdschalen aan de orde, variërend van nanoseconden tot honderden miljoenen jaren. Tijd wordt meestal niet als afzonderlijk concept aan de orde gesteld.
Natuurkunde	Zie 'Ruimte'.
Scheikunde	Bij reactiemechanismen en reactiesnelheid komt het begrip tijd aan de orde en op een geheel andere wijze bij evenwichten.
NLT	Zie 'Ruimte'.

Wisselwerking	
Biologie	Wisselwerking komt in havo en vwo expliciet aan de orde bij de onderwerpen gedrag en ecologie, waar het gaat om interactie of communicatie tussen organismen.
Natuurkunde	Wisselwerking komt in het natuurkundeonderwijs aan de orde waar het gaat om krachten tussen deeltjes, krachten tussen macroscopische lichamen en krachten tussen lichamen op planetaire en astronomische schalen. De mechanica gaat in op de gevolgen van die krachten. Aan de aard van die wisselwerking wordt alleen op het vwo aandacht besteed, in de context van het standaardmodel.
Scheikunde	Het maken en verbreken van bindingen is in de schoolscheikunde een onderwerp waar dit wordt geconcretiseerd.
NLT	Wisselwerking is een concept dat op verschillende niveaus aan de orde komt, bijvoorbeeld tussen mens en zijn omgeving, de werking van een kunstnier, de werking van het geheugen en de werking van een waterstofauto.

Tabel 1.2 Vakken waarin de gemeenschappelijke kernconcepten expliciet geïntroduceerd kunnen worden.

Kernconcept	Expliciete introductie bij
Systeem	Biologie
Schaal	Biologie, natuurkunde, scheikunde
Verandering	Scheikunde
Materie	Natuurkunde, scheikunde
Energie	Natuurkunde
Ruimte	
Tijd	
Wisselwerking	Biologie, scheikunde

In tabel 1.2 is aangegeven welke van de kernconcepten door een of meer van de natuurwetenschappelijke vakken expliciet geïntroduceerd kunnen worden.

Samenhang op basis van de kernconcepten

Om samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken te versterken kunnen op de niveaus van examenprogramma's, syllabi en handreikingen en van schoolprogramma's (het macro- en het mesoniveau van curricula) de volgende maatregelen worden genomen:

Examenprogramma's, syllabi en handreikingen

- opname van kernconcepten in eindtermen die in de natuurwetenschappelijke vakken expliciet aan de orde dienen te komen
- uitwerking in syllabi waarbij aangegeven wordt in hoeverre en op welke wijze kernconcepten worden getoetst
- uitwerking in handreikingen waarbij aangegeven wordt op welke wijze kernconcepten kunnen worden geïntroduceerd en hoe daar in de andere vakken op kan worden aangesloten (zie tabel 1.2).

Schoolprogramma's

- expliciet introductie van SI-eenheden bij natuurkunde of scheikunde en expliciete verwijzing daarnaar in de andere vakken
- afspraken over expliciete introductie van kernconcepten bij een of meer van de drie vakken biologie, natuurkunde en scheikunde en de wijze waarop daar bij de andere twee vakken expliciet op wordt aangesloten (zie tabel 1.2).

In de nieuwe examenprogramma's die de vakvernieuwingscommissies voor de natuurwetenschappelijke vakken hebben opgesteld, zijn gemeenschappelijke concepten opgenomen die in de natuurwetenschappelijke vakken expliciet aan de orde dienen te komen in de eindtermen.

1.3 Vaardigheden voor de natuurwetenschappelijke vakken

Voor de bètavakken zijn gemeenschappelijke ‘wiskundige, natuurwetenschappelijke en technische vaardigheden’ geformuleerd – het bètaprofieldeel van de vaardigheden in de examenprogramma’s. Deze vaardigheden corresponderen voor een groot deel met de binnen de natuurwetenschappelijke disciplines gehanteerde denk- en werkwijzen. In tabel 1.3 is de relatie tussen denk- en werkwijzen en vaardigheden aangegeven.

Tabel 1.3 Relaties tussen voor de natuurwetenschappen kenmerkende werkwijzen en de in het bètaprofieldeel van de examenprogramma’s opgenomen vaardigheden.

Categorie denk- en werkwijzen	Eindtermen bètaprofieldeel
Onderzoeken	<p>Subdomein A5: Onderzoeken</p> <p>havo</p> <p>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.</p> <p>vwo</p> <p>De kandidaat kan in contexten vraagstellingen analyseren, gebruikmakend van relevante begrippen en theorie, vertalen in een vakspecifiek onderzoek, dat onderzoek uitvoeren, en uit de onderzoeksresultaten conclusies trekken. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.</p>
Ontwerpen	<p>Subdomein A6: Ontwerpen</p> <p>havo en vwo</p> <p>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.</p>

Categorie denk- en werkwijzen Eindtermen bètaprofieldeel	
Modelvorming	<p>Subdomein A7: Modelvorming havo</p> <p>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.</p> <p>vwo</p> <p>De kandidaat kan in contexten een relevant probleem analyseren, inperken tot een hanteerbaar probleem, vertalen naar een model, modeluitkomsten genereren en interpreteren, en het model toetsen en beoordelen. De kandidaat maakt daarbij gebruik van consistente redeneringen en relevante rekenkundige en wiskundige vaardigheden.</p>
Ontwikkeling kennisbasis	<p>Een algemene kennisbasis is niet omschreven; in elk van de examenprogramma's zijn specifieke vakvaardigheden opgenomen.</p>
Algemeen	<p>Subdomein A8: Natuurwetenschappelijk instrumentarium havo en vwo</p> <p>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.</p> <p>Subdomein A9: Waarderen en oordelen havo en vwo</p> <p>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.</p>

Samenhang op basis van vaardigheden

Om samenhang op basis van vaardigheden tussen de natuurwetenschappelijke vakken te vergroten kunnen op macro- en mesoniveau de volgende maatregelen worden genomen:

Examenprogramma's, syllabi en handreikingen

- opname van gemeenschappelijke vaardigheden in het bètaprofieldeel van de examenprogramma's
- in syllabi uitwerking van de wijze waarop de voor het CE opgevoerde gemeenschappelijke vaardigheden worden getoetst
- in handreikingen operationalisering van de wijze waarop gemeenschappelijke vaardigheden kunnen worden uitgewerkt (zie tabel 1.3).

Schoolprogramma's

- afspraken over explicite introductie van gemeenschappelijke vaardigheden en eisen die op basis daarvan aan door leerlingen samengestelde rapportages worden gesteld
- afspraken over en ontwikkeling van een leerlijn voor een of meer gemeenschappelijke vaardigheden.

In de nieuwe examenprogramma's die door de vakvernieuwingscommissies voor de natuurwetenschappelijke vakken zijn geadviseerd, zijn gemeenschappelijke vaardigheden in het bètaprofieldeel opgenomen. Ook een aantal van de vakspecifieke eindtermen in het A-domein bieden mogelijkheden de samenhang uit te werken.

1.4 Contexten in thema's

Natuurwetenschappelijke kennis en denk- en werkwijzen worden in een grote verscheidenheid aan contexten gebruikt en ontwikkeld. Die contexten kunnen worden geordend in een aantal maatschappelijke thema's. De thema's kunnen dan ook worden opgevat als een contextgebied, een potentiële verzameling inhoudelijk samenhangende contexten. Binnen de meeste thema's kunnen verschillende soorten contexten worden onderscheiden – die helpen op hun beurt bij het vinden van de beste aansluiting bij de verschillende groepen leerlingen. De keuze van de thema's is toegelicht in par. 2.4. Die thema's zijn:

Communicatie
Duurzaamheid
Gezondheid
Materialen
Transport
Veiligheid
Voeding
Wereldbeeld

Het thema wereldbeeld is niet in eerste instantie een maatschappelijk thema, maar een categorie voor onderwerpen die uit een primair wetenschappelijke belangstelling voortkomen (zie voor verdere toelichting par. 2.4).

De examenprogramma's laten de keuze van contexten voor een groot deel over aan scholen en docenten, daarom is het nuttig om over enkele voorbeelden van contexten in ieder van deze thema's te beschikken. Tabel 1.4 (havo) en 1.5 (vwo) geven enkele voorbeelden van contexten die binnen de natuurwetenschappelijke vakken uitgewerkt kunnen worden.

Tabel 1.4 Voorbeelden van contexten binnen de thema's voor havo.

Thema's	Vakken	Voorbeelden van contexten havo
Communicatie	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> gedrag in diermanagement
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> onderzoek en instrumentatie van spraak en muziek opslag en overdracht van informatie ontwikkeling en gebruik van meet- en stuursystemen
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> -
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> digitale technieken medische beeldvorming gebruik van digitale cartografie
Duurzaamheid	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> technologie gesloten ketens (<i>cradle to cradle</i>) procestechnologie afvalvergistings bio-ethanol natuurbeheer
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> onderzoek en ontwikkeling op het gebied van energiegebruik en energiebesparing onderzoek naar aarde en atmosfeer
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> beoordelen van milieu-effecten van menselijke en industriële activiteiten groene productie van diverse producten voor menselijke samenleving (medicijnen, materialen, voeding) duurzame brandstoffen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> waterzuivering biodiversiteit in de bodem meten en handhaven glastuinbouw: energietechniek
Gezondheid	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> verpleging biologische en medische laboratoriumpraktijk fysiotherapie
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> diagnostiek en therapie met ioniserende straling meting en optimalisering van sportprestaties onderzoek naar processen in het menselijk lichaam
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> chemische processen in het eigen lichaam: diëten, mondhygiëne, medicijngebruik en wijze van toediening
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> aerosolen alcoholgebruik technologie in gezondheidszorg

Thema's	Vakken	Voorbeelden van contexten havo
Materialen	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • houtindustrie en bosbouw • bioplastics en verpakking • productie van hartkleppen
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar eigenschappen van materialen • ontwerpen van functionele materialen • onderzoek en ontwikkeling in nanotechnologie (is voorgaande twee contexten op nanoschaal)
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • ontwerpen nieuwe materialen voor specifieke toepassingsgebieden • zoetstoffen • zonnecellen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • digitale technieken • voedingsmiddelen maken • lijmen en hechting
Transport	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • dierenwelzijn en transport • plantaardige en dierlijke transportstromen
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • verkeersveiligheid • energiegebruik en efficiëntie in het verkeer
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek aan ecologische effecten bij transport en bij reizen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • dierepidemieën • gebruik van GIS • plaatsbepaling en navigatie bij mens en dier
Veiligheid	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • risicobeoordeling biotechnologie • proefdierdeskundige in kader voedselveiligheid, farma en chemie • milieueffectrapportage
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar risico's van ioniserende straling en radioactieve stoffen met effecten op mens en milieu
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • beoordelen van het risico bij gebruik van stoffen en bij chemische processen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • bescherming tegen gehoorschade • forensisch onderzoek • epidemieën in de landbouw

Thema's	Vakken	Voorbeelden van contexten havo
Voeding	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • plantenveredeling • voedingsmiddelentechnologie • dierhouderij incl. technologie
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar energie-inhoud van voeding
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • chemische achtergrond bij diëten, mondhygiëne • productie/ontwerp voedingsmiddelen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • productie van voedingsmiddelen • procestechnologie van voedingsmiddelen • biotechnologie en voedingsmiddelen
Wereldbeeld	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • ontstaan van het leven, evolutie • zelforganisatie • cradle to cradle
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar de bouw van zonnestelsel en heelal
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • toepassing van molecuul- en atoommodellen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • de bodem leeft • overleven in de ruimte.

Tabel 1.5 Voorbeelden van contexten binnen de thema's voor vwo.

Thema's	Vakken	Voorbeelden van contexten vwo
Communicatie	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> gedragsbiologisch onderzoek
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> onderzoek en instrumentatie van spraak en muziek opslag en overdracht van informatie ontwikkeling en gebruik van meet- en stuursystemen
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> hormonale regelmechanismen in levende organismen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> klanken maken met de computer
Duurzaamheid	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> onderzoek naar productie van alcohol, biodiesel en andere energiedragers onderzoek biosfeer, kringlopen, klimaat omslagpunten in ecosystemen (hysterese)
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> onderzoek en ontwikkeling op het gebied van energiegebruik en energiebesparing onderzoek naar aarde en atmosfeer
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> onderzoek en ontwerp van nieuwe energiedragers verantwoorde productie (ketens) in de chemische industrie
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> duurzame energiebronnen waterbeheer waterstofauto
Gezondheid	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> (dieren)artsenpraktijk epidemiologisch onderzoek gentherapie en genetische screening
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> diagnostiek en therapie met ioniserende straling onderzoek naar processen in het menselijk lichaam
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> mechanismen bij werking geur- en voedingsstoffen/ medicijnen in eigen lichaam materialen in de geneeskundige en tandheekkundige praktijk
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> alcoholgebruik technisch ontwerpen in de biomedische technologie bioinformatica

Thema's	Vakken	Voorbeelden van contexten vwo
Materialen	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar weefselkweek en vezels • onderzoek naar en productie van enzymen • onderzoek en productie van biopolymeren
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar eigenschappen van materialen • onderzoek en ontwikkeling in nanotechnologie
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek aan nieuwe materialen (biomedisch, <i>smart materials</i>, nanomaterialen)
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • holografie • biobrandstof • zuiver drinkwater
Transport	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • milieueffecten transport ecologische footprint • onderzoek migratie van planten en dieren, vogeltrek
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • verkeersveiligheid • energiegebruik en efficiëntie in het verkeer
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek aan ecologische effecten bij reizen • medicijntransport in het lichaam
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • biobrandstof
Veiligheid	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • voedselveiligheid en geneesmiddelveiligheid • Bureau GGO • bioterrorisme en biologische wapens
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar risico's van ioniserende straling en radioactieve stoffen met effecten op mens en milieu
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • tot stand komen stoffenbeleid • verantwoorde productie (ketens) in de chemische industrie
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • forensisch onderzoek • kernfusie
Voeding	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • voedingstechnologisch onderzoek • onderzoek naar plantenverdeling • onderzoek naar plantaardige en mariene productiesystemen
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • geen voorbeelden in programma
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar (chemische) samenstelling van dieet op menselijk functioneren (sport, gezondheid, ziekte)
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • geen voorbeelden in huidig programma

Thema's	Vakken	Voorbeelden van contexten vwo
Wereldbeeld	Biologie	<ul style="list-style-type: none"> • evolutiebiologisch onderzoek • ontwikkelingsbiologisch onderzoek • ethiek van genetische modificatie
	Natuurkunde	<ul style="list-style-type: none"> • onderzoek naar de bouw van zonnestelsel en heelal • onderzoek en toepassingen van beweging en wisselwerking op verschillende schaalniveaus
	Scheikunde	<ul style="list-style-type: none"> • historie van atoom- en molecuulmodellen, validiteit en functionaliteit van diverse modellen
	NLT	<ul style="list-style-type: none"> • meten aan melkwegstelsels • klimaatverandering • levensloop van sterren

Samenhang op basis van thema's

Om samenhang op basis van thema's tussen de natuurwetenschappelijke vakken te vergroten kunnen op macro- en mesoniveau de volgende maatregelen worden genomen:

Examenprogramma's, syllabi en handreikingen

- vermelding van relevante thema's binnen de eindtermen
- uitwerking in syllabi en/of handreikingen van de wijze waarop binnen de thema's gemeenschappelijke contexten kunnen worden gekozen.

Schoolprogramma's

- afspraken over de keuze van gemeenschappelijke contexten en de wijze waarop die in een of meer modules wordt uitgewerkt, waar mogelijk gebruikmakend van beschikbaar lesmateriaal (zie bijlage 1 en 2)
- definiëring van een samenwerkingsproject over een context binnen een thema en de bijdrage die daaraan vanuit de vakken gegeven kan worden (zie bijlage 1 en 2).

In de nieuwe examenprogramma's die door de vakvernieuwingscommissies voor de natuurwetenschappelijke vakken zijn geadviseerd, zijn waar mogelijk in iedere eindterm een of meer thema's vermeld.

2 Samenhang tussen de wetenschappelijke disciplines biologie, natuurkunde en scheikunde

2.1 Inleiding

Het onderwijs in biologie, natuurkunde, NLT en scheikunde is erop gericht belangrijke ideeën en werkwijzen uit de natuurwetenschappen aan te bieden, voor zover die voor leerlingen relevant en leerbaar zijn. Aan de inhoud van die schoolvakken liggen inhoud en aanpak van (natuur)wetenschappelijke disciplines ten grondslag. Voor de fundering van samenhang tussen de schoolvakken liggen de gemeenschappelijke aspecten van wetenschappelijke disciplines voor de hand. Bovendien vervagen momenteel grenzen tussen de traditionele wetenschappelijke disciplines, of verdwijnen ze zelfs – denk aan hersenonderzoek, astrochemie, biofysica of aerodynamica. Deze interdisciplinaire gebieden zijn een bron voor het schoolvak NLT. Tegelijkertijd is duidelijk dat de verschillende disciplines elk hun eigen inbreng hebben in veel van deze onderzoeksgebieden. Bij alle raakvlakken en overlap zijn de natuurwetenschappelijke disciplines tegelijk ook gericht op verschillende onderzoeksdomeinen, redeneren ze vanuit verschillende zienswijzen en hanteren ze verschillende werkwijzen. We zullen eerst kort ingaan op de overeenkomsten en vervolgens op verschillen tussen de wetenschappelijke disciplines.

Natuurwetenschap richt zich op het ontwikkelen van betrouwbare kennis over natuurlijke verschijnselen en maakt daarbij gebruik van empirisch onderzoek waarin veronderstellingen over deze verschijnselen worden getoetst. Uitgangspunt is dat natuurlijke verschijnselen niet willekeurig zijn, maar expressies van wetmatigheden die causaal verklaard kunnen worden. Er is een sterke wisselwerking tussen natuurwetenschappelijk onderzoek en technologische ontwikkelingen, inclusief informatica; vanzelfsprekend is wiskunde daarbij vaak van

groot belang en is veel moderne natuurwetenschap letterlijk ondenkbaar zonder wiskunde. Er is een manifeste relatie tussen experimenteel onderzoek en technologische ontwikkeling: technieken om te meten, te zien en daarmee te voorspellen dragen bij aan beide.

Verschillen tussen de natuurwetenschappelijke disciplines liggen onder meer in de onderzoeksdomeinen, en in de verschillen in zienswijzen, redeneren en werkwijzen. De biologie richt zich vooral op onderzoek aan complexe systemen als de cel (systeembioogie) of ecosystemen, waarin allerlei irreversibele processen een rol spelen. Heel globaal geschetst kijkt een bioloog meer naar patronen, hoe die te verklaren zijn en wat hun functies zijn. Een scheikundige is gericht op diversiteit van stoffen en materialen, het verkennen daarvan via experimenten, en het verklaren ervan op de schaal van moleculen en atomen en hun eigenschappen. Natuurkundigen zoeken in de regel naar formele modellen, vaak in wiskundige vorm, die verschijnselen op allerlei schalen en complexiteitsniveaus verklaren en voorspellen. De natuurwetenschap kent verschillende kijkrichtingen: de reductionistische bijvoorbeeld zoekt steeds naar onderliggende verklaringen in oorzaken en bouwstenen, de holistische kijkt naar nieuwe, *emergente*, eigenschappen die ontstaan als bouwstenen of deelsystemen samengaan in grotere systemen. De reductionistische kijkrichtingen vinden we vooral bij de natuurkunde en de scheikunde.

In de biologie en in technologische toepassingen van de natuurwetenschap speelt de vraag naar stabiliteit van systemen een belangrijke rol.

In de moderne natuurwetenschap is de computer van belang voor het leggen van relaties tussen funderende en emergente eigenschappen, zowel in de analyses van complexe datasets als in het modelleren van complexe systemen die uit eenvoudige bouwstenen bestaan.

Om afstemming tussen schoolvakken te expliciteren is het zinvol de gemeenschappelijke karakteristieken van de wetenschappelijke disciplines als uitgangspunt te nemen. Hierna volgen enkele voorstellen voor typering van die disciplines, die als basis van de schoolvakken de eigenheid van die vakken kunnen verhelderen, maar ook hun onderlinge verwantschap. Voor de typering worden drie categorieën gebruikt:

1. kernconcepten
2. denk- en werkwijzen
3. thema's.

De belangrijkste overeenkomsten tussen de natuurwetenschappelijke disciplines liggen in de gemeenschappelijkheid van bepaalde kernconcepten, de rol van causale redeneringen, interdisciplinaire toepassingsgebieden en relevantie voor de samenleving. De belangrijkste verschillen betreffen de specifieke denk- en werkwijzen (bijvoorbeeld de mate van gebruik van wiskunde, het type onderzoek), de onderzoeksdomeinen en de disciplinaire kernconcepten.

Terminologie

Typeringen van de natuurwetenschappen zijn vaker gemaakt, soms met een gelijksoortige ambitie als deze notitie heeft. Als ordenend principe geldt het opzetten van een vakoverstijgend kader in het onderwijs, zoals dat ook in de *Benchmarks for scientific literacy* van de American Association for the Advancement of Science wordt gebruikt. In een andere benadering, die wordt gebruikt om in populair-wetenschappelijke presentaties inzichten uit de natuurwetenschap te laten zien (zoals in eigen land de *Bètacanon*), wordt vaak als ordening gebruikgemaakt van wat heet *great ideas of common themes*, dikwijls in uitvoerige omschrijvingen, al dan niet aangeduid met een trefwoord of een pakkende hoofdstuktitel, zoals in de *Bètacanon*.

Wie samenhang in examenprogramma's en in lesmateriaal wil ontwikkelen, zoekt in elk geval ook naar begrippen of overkoepelende concepten die zich met één woord of korte aanduiding laten beschrijven, zoals *systeem of behoud van energie*. Zulke **concepten** worden vanouds ook gebruikt om vakinhouden te typeren in examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken, en om in lesmateriaal en lespraktijk de theorie mee te labelen. Zij kunnen dan in de verschillende vakken of onderwerpen binnen vakken terugkeren, steeds in een andere context. Zo verwijst *systeem of behoud van energie* naar concepten die in allerlei contexten in verschillende disciplines of vakken functioneren, vaak impliciet. Voor deze analyse is het van belang met zulke concepten te werken en die eventueel ook te extraheren uit geschikte *great ideas of common themes*.

Deze concepten zijn het *resultaat* van wetenschappelijke activiteit, die activiteit kan ook getypeerd worden naar zijn *methode*, ruimer opgevat als **denk- en werkwijzen**. Ook die zijn belangrijk voor het karakteriseren van de verschillende soorten natuurwetenschap en technologie, en hun verbindingen.

Naast de categorieën die naar de inhoud van wetenschappelijke of technologische activiteit verwijzen, kunnen ook gebieden van menselijke activiteit waarin natuurwetenschap en technologie zich afspelen helpen de natuurwetenschappen, hun onderlinge samenhang en samenhang met wiskunde te typeren. Met het woord **thema's** duiden we in deze notitie die gebieden aan.

Kernconcepten	Het woord <i>concepten</i> verwijst in deze analyse naar uitdrukkingen voor natuurwetenschappelijke typeringen van de werkelijkheid (zoals <i>systeem</i> of <i>materie</i>). Concepten maken deel uit van theorieën, en zijn met andere concepten en (minder omvattende) begrippen verbonden. De belangrijkste noemen we hier <i>kernconcepten</i> .
Denk- en werkwijzen	Natuurwetenschap en technologie kunnen ook worden getypeerd met de <i>denk- en werkwijzen</i> van onderzoekers in deze wetenschapsgebieden.
Thema's	Ook <i>thema's</i> , als gebieden van menselijke activiteit waarin natuurwetenschap en technologie zich afspelen, typeren de natuurwetenschappen en hun samenhang.

Achtereenvolgens wordt nu ingegaan op de volgende drie categorieën waarmee samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines zichtbaar kan worden gemaakt:

- gemeenschappelijke kernconcepten (par. 2.2 en uitgewerkt in par. 2.5)
- typerende denk- en werkwijzen (par. 2.3)
- gemeenschappelijke thema's (par. 2.4).

2.2 Gemeenschappelijke kernconcepten

‘Science-brede’ karakterisering in de literatuur hebben vaak de vorm van cumulatieve lijsten van vakonderwerpen, die door overlap wat in elkaar geschoven zijn. Of van gemeenschappelijke thema’s, die in termen van grote verhalen beschreven zijn. Er is geen set van gemeenschappelijke kernconcepten te vinden, in de zin van theoretische begrippen die de verschijnselen in de natuur typeren en die niet sterk bij een bepaalde discipline horen. Een goede aanzet tot een dergelijke typering vinden we echter in de *Common Themes* uit de *Benchmarks for Science Literacy* van de American Association for the Advancement of Science (AAAS)³. De daar genoemde thema’s zijn:

- *systems*
- *models*
- *constancy and change*
- *scale*.

Deze thema’s worden beschreven in hoofdstukken, waarvan de woorden hierboven de hoofdstuktitels zijn. Bovendien verwijzen die hoofdstukken elk weer naar allerlei onderwerpen in een tiental domeinen, uitgewerkt voor onderwijs in een aantal leeftijdsgroepen. Doordat de hoofdstuktitels zelf ook als concept fungeren komt een lijstje van gemeenschappelijke kernconcepten in beeld.

Voor de conceptuele samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines maken we, hoewel geïnspireerd door de AAAS-thema’s, toch een iets andere keuze. Daarbij hebben we de volgende overwegingen gehanteerd:

- Het begrip *model* heeft betrekking op het verschijnsel wetenschap zelf en past dus beter in de categorie *denk- en werkwijzen*. In de *benchmarks* zie je de uitwerking van *model* ook schipperen tussen methodologische verwijzingen (zoals naar *inquiry*) en inhoudelijke (zoals naar *evolution of life*).
- Als er nu één concept is dat in alle natuurwetenschappelijke disciplines een rol speelt, dan is het wel het concept *energie*. AAAS erkent dat ook, maar wil het niet als thema opnemen omdat het onderdeel is van de vakinhoud.
- Daarnaast spelen ook de concepten *tijd*, *ruimte*, *materie* en *wisselwerking* in alle natuurwetenschappelijke disciplines een belangrijke rol, al worden zij in de ene discipline als vanzelfsprekend aangenomen en in de andere juist verder bestudeerd. Ze spelen daardoor lang niet altijd, of in gelijke mate, een expliciete rol. Toch zijn deze concepten funderend van aard in alle disciplines doordat ze materialistische verklaringen voor verschijnselen mogelijk maken.

3 www.project2061.org/publications/bsl/online

Op grond van deze overwegingen stellen wij de in paragraaf 1.2 aangekondigde set gemeenschappelijke kernconcepten voor als een conceptuele basis voor typering van eigenheid van en samenhang tussen de natuurwetenschappelijke disciplines.

Systeem
Schaal
Verandering
Energie
Materie
Ruimte
Tijd
Wisselwerking

2.3 Typerende denk- en werkwijzen

Ondanks de verschillen in de gerichtheid en aard van de activiteiten van de onderzoekers in de verschillende gebieden, is duidelijk dat ontwikkeling van natuurwetenschap en van technologie niet meer van elkaar los te koppelen zijn. Onderzoeksactiviteiten kunnen zowel een fundamenteel wetenschappelijke als een praktische, maatschappelijk relevante opbrengst hebben – afhankelijk van het onderzoeksdomein kan daarbij de benadering verschillen. In dit verband wordt wel een onderscheid gemaakt tussen:

- een *onderzoeksmatige benadering* gericht op het leren begrijpen van natuurlijke verschijnselen of wiskundige structuren en/of het op basis daarvan oplossen van een praktisch probleem
- een *technologische benadering* waarbij hoofdzakelijk bestaande kennis wordt toegepast.

Nieuwsgierigheid en creativiteit horen bij alle benaderingen. De praktijk van natuurwetenschappelijk en technologisch onderzoek kan omschreven worden aan de hand van de in tabel 2.1 genoemde typerende denk- en werkwijzen.

Tabel 2.1 Typerende denk- en werkwijzen voor natuurwetenschappelijk en technologisch onderzoek.

Ontwikkeling van kennisbasis	De ontwikkeling van een wetenschappelijke kennisbasis (<i>body of knowledge</i>) is een gezamenlijke onderneming, gebaseerd op het formuleren van vermoedens dan wel hypothesen, het toetsen daarvan aan waarnemingen, het interpreteren van observaties of metingen en het navolgbaar trekken van conclusies. Bij deze ontwikkeling van een natuurwetenschappelijke kennisbasis is wiskunde vaak van groot belang. De formulering van een kennisbasis is tentatief en kan veranderen door kritisch denken en peer-review door collega-onderzoekers. Soms gaat de verandering in kleine stappen, soms dwingt de empirie tot herziening van het theoretische kader, of ontstaat een geheel nieuwe zienswijze.
Modelvorming	Aan empirische onderbouwing en/of verwerping van theorie liggen modellen ten grondslag die veelal een natuurwetenschappelijke basis hebben en al dan niet expliciet in wiskundetaal beschreven zijn. Modellen kunnen expliciete relaties tussen grootheden weergeven (mathematische modellen) of relaties tussen onderdelen in een afbeelding (grafische modellen zoals planeten, celkernen, atoommodellen), waarbij de wiskunde meer verborgen of afwezig is, ze kunnen een bepaalde situatie beschrijven of voorspellen of aan theorie vooraf gaan. Computermodellen van de werkelijkheid om complexe processen te analyseren en te voorspellen nemen een steeds belangrijkere plaats in in onderzoek en technologie.
Onderzoeken	De uitkomsten van empirie komen tot stand volgens een breed repertoire van onderzoeksmethoden, waarbij betrouwbaar en navolgbaar meten centraal staat. Het uitvoeren van (gecontroleerde) experimenten op basis van een falsifieerbare hypothese speelt in alle natuurwetenschappelijke disciplines een belangrijke rol. Bij hypothesetoetsing gebaseerd op kwantitatieve data is waarschijnlijkheidsrekening essentieel.
Ontwerpen	Voor het toetsen van een theorie kunnen in de natuur waarneembare verschijnselen soms tekort schieten of te complex zijn en moet een verschijnsel kunstmatig, als een product, worden opgewekt, in een experiment waarvoor nieuwe stoffen, apparaten en/of opstellingen nodig zijn. Ontwerp van een maatschappelijk bruikbaar product is op zichzelf ook veelvuldig doel van onderzoek. Bij ontwerpen wordt zowel uit de natuurwetenschappelijke kennisbasis geput, als eraan bijgedragen.
Communicatie	De communicatie over de kennisbasis verloopt binnen het wetenschappelijk debat veelal volgens een afgesproken format in presentaties en publicaties en is essentieel onderdeel van de ontwikkeling van de kennisbasis. Ook over de (on)wenselijkheid van wetenschappelijke en technologische ontwikkelingen vindt communicatie plaats, zowel met onderzoekers als met andere stakeholders in de samenleving.

2.4 Gemeenschappelijke thema's

Natuurwetenschappelijke kennis is van groot belang voor de huidige en toekomstige samenleving. Het kan gaan om rechtstreekse bijdragen aan de welvaart of aan gezondheid, maar ook aan inzicht in hoe de wereld in elkaar zit. Het onderwijs moet de rol van natuurwetenschap, technologie en wiskunde op zulke terreinen zichtbaar maken, als onderdeel van hun werkingsgebied en soms ook methode, en als motivatie om in het onderwijs daar tijd aan te besteden.

De gebieden waarin men natuurwetenschap, technologie en wiskunde tegenkomt zijn op allerlei manieren te typeren en in te delen. Het 7^e kaderprogramma van de Europese Commissie bijvoorbeeld stimuleert innovaties op gebieden als gezondheid, voeding, landbouw en visserij, biotechnologie, ICT, nanowetenschappen en -technologieën, energie, milieu, vervoer, ruimtevaart en veiligheid. Het Nederlandse Innovatieplatform werkt met sleutelgebieden, met name *flowers & food*, chemie (waaronder materialen en voeding), water, hightechsystemen & materialen (waarbinnen ook vervoer en medische apparaten).

De thema's voor zulke innovatieprogramma's zijn niet in eerste instantie gericht op funderend onderzoek, hoewel het vaak wel een plaats krijgt. Het belang van funderend, niet direct toepassingsgericht onderzoek ligt tenminste in het verhelderen van ons wereldbeeld, en verder uiteraard in de meestal niet te plannen bijdragen aan meer rechtstreekse toepassingen.

Op het gebied van dat funderende werk kunnen we ons bijvoorbeeld oriënteren op de keerpunten in de natuurwetenschappen – zoals de formulering van het deeltjeskarakter van materie of van de evolutietheorie. Die gebieden van menselijke activiteiten vatten we samen als de ontwikkeling van ons wereldbeeld.

Hieronder worden deze en soortgelijke gebieden getypeerd aan de hand van enkele thema's. Die thema's overlappen en kunnen soms ook gecombineerd of juist weer opgesplitst worden, maar zij vormen een ordening van werkgebieden waarin het werk van de verschillende bètadisciplines gekarakteriseerd kan worden. Binnen deze thema's is kennis uit alle drie de natuurwetenschappelijke disciplines, wiskunde en technologische kennis noodzakelijk; de thema's zijn dan ook interdisciplinair.

De meeste thema's zijn duidelijk maatschappelijke thema's, wat wil zeggen dat vraagstellingen in eerste instantie ontleend zijn aan maatschappelijke vraagstukken (*society driven*). Het thema wereldbeeld echter is niet in eerste instantie ontleend aan maatschappelijke vraagstukken. Vraagstellingen komen hier primair

voort uit de wens om verschijnselen beter te kunnen verklaren, of verklaringen beter te kunnen funderen (*curiosity driven*). Het gaat, in alfabetische volgorde, om de in tabel 2.2 genoemde thema's.

Tabel 2.2 Thema's waarbinnen interdisciplinaire natuurwetenschappelijke activiteit plaatsvindt.

Thema	Typering
Kennisproductie met een oriëntatie op toepassingen	
Communicatie	Communicatie met en tussen mensen of dieren waarbij zintuigen, informatie, natuurlijke en technische informatiedragers en technische hulpmiddelen en systemen een rol spelen.
Duurzaamheid	Het waarborgen van hulpbronnen voor huidige en toekomstige generaties van de wereldbevolking, zoals grondstoffen en energievoorziening voor de toekomst, biodiversiteit en het herstelvermogen van de biosfeer.
Gezondheid	Gezondheid van de individuele mens en het individuele dier, gezondheid voor allen.
Materialen	Gebruik en ontwerp van natuurlijke en technische materialen in de menselijke omgeving, zoals gebouwen, kleding en aspecten van veiligheid en kwaliteit.
Transport	Transport en logistiek van het individu en binnen de samenleving, en het energiegebruik en veiligheidsrisico's die ermee samenhangen.
Veiligheid	Bescherming tegen (risico's op) mechanische en psychische schade, vergiftiging, bestraling of besmetting.
Voeding	Goede voeding voor de individuele mens en het individuele dier, voedsel voor allen.
Funderende kennisproductie, met een oriëntatie op de ontwikkeling van ons wereldbeeld	
Wereldbeeld	Beschrijven, verklaren en voorspellen van de wereld op verschillende schalen ('machten van tien') en vanuit verschillende perspectieven, m.n. de positie die de mens daarin inneemt. Belangrijke beelden daarin zijn bijv. elementaire deeltjes en hun wisselwerking, moleculen als bouwstenen van stoffen, DNA als drager van genetische informatie, het evolutieprincipe bij het ontstaan van soorten, de aarde als biosfeer, en als deel van het zonnestelsel en het heelal, het inzicht dat op sterren dezelfde natuurwetten van toepassing zijn als die op aarde.

2.5 Uitwerking van gemeenschappelijke kernconcepten

Tabel 2.3 beschrijft de gemeenschappelijke kernconcepten in termen die niet specifiek zijn voor academische disciplines en daarmee verbonden technologieën.

Tabel 2.3 Omschrijving van de gemeenschappelijke kernconcepten: systeem, schaal, verandering en energie.

Kernconcept	Omschrijving
Stelsel	In natuurwetenschap en techniek wordt veelvuldig gebruikgemaakt van een systeemconcept, waarbij een systeem omschreven is als een deel van de werkelijkheid met een gedefinieerde grens. Waar systeemgrenzen lopen is niet altijd eenduidig en afhankelijk van de gekozen beschouwingwijze en onderzoeksvraag. Systemen kunnen uit meerdere deelsystemen of onderdelen bestaan. De eigenschappen van de onderdelen van een systeem zijn niet identiek aan die van het systeem als geheel.
Schaal	Verschijselen en systemen in de natuur vertonen verschillen in hun karakteristieke omvang of tijdsduur. Het begrip <i>schaal</i> geeft die karakteristieken weer. Verschillen in schaal tussen systemen en hun onderdelen hangen samen met verschillen in eigenschappen van die gehelen en delen. In de ontwikkeling van de wetenschap zijn de tijd- en ruimteschalen die men van verschijnselen leerde kennen steeds verder opgeschoven, zowel in de richting van het grote als van het kleine.
Verandering	Stabiliteit en verandering typeren in de natuurwetenschap verschijnselen en systemen. Daarbij horen ook samenhang tussen veranderingen – inclusief causaliteit – en het tempo van verandering. In technische natuurwetenschappen draait het om controle over veranderingen en het gebruik van samenhang tussen veranderingen. Sommige veranderingen zijn omkeerbaar, zoals verandering van de plaats van een bewegend voorwerp; andere zijn onomkeerbaar, zoals in processen waarbij de entropie van een systeem toeneemt, of in de evolutie van soorten.
Materie	Alle verschijnselen die in de natuurwetenschap worden bestudeerd hebben een materiële grondslag, dat wil zeggen dat ze gerelateerd zijn aan materiële objecten en wisselwerking tussen materiële objecten. In veel gevallen worden structuren van materiële objecten en veranderingen daarin begrepen door ze te representeren in modelvoorstellingen van deeltjes (moleculen, atomen, elementaire deeltjes).

Energie	Energie is de mogelijkheid van een systeem om verandering in datzelfde of in een ander systeem te veroorzaken. De totale energie van een systeem is de som van alle vormen van energie die op verschillende manieren kunnen zijn opgeslagen. De belangrijkste regel van energie: energie kan worden getransporteerd en omgezet tussen verschillende vormen, maar er gaat nooit energie verloren (eerste hoofdwet van de thermodynamica).
Ruimte	Alle objecten of systemen die in de natuurwetenschappen worden bestudeerd bevinden zich in de ruimte. De positie van objecten en systemen in de ruimte bepaalt mede de kenmerken van deze objecten en systemen.
Tijd	Veranderingen in objecten en systemen spelen zich af in de tijd. Als gevolg daarvan speelt de tijd een belangrijke rol bij het bestuderen en vastleggen van waargenomen veranderingen.
Wisselwerking	Veel eigenschappen of veranderingen van eigenschappen van systemen of objecten zijn het gevolg van wisselwerking met andere systemen of objecten.

Tabel 2.4 omschrijft de plaats van de gemeenschappelijke kernconcepten in de academische disciplines: biologie, natuurkunde en scheikunde en de daarmee verbonden technologieën.

Tabel 2.4 Uitwerking per discipline van de gemeenschappelijke kernconcepten: systeem, schaal, verandering en energie.

Systeem	
Biologie	<p>Alle biologische structuren en processen kunnen worden gevat in een systeembeschouwing; daardoor is een sterke structurering van de biologie mogelijk. In biologisch onderzoek is de aandacht in toenemende mate gericht op de complexiteit van biologische systemen (<i>biocomplexity</i>). In onderzoek op organismeniveau en hoger wordt frequent gebruik gemaakt van moleculaire technieken.</p> <p>Een aantal systeemkenmerken is op verschillende organisatieniveaus herkenbaar, van het cellulaire niveau tot het niveau van het systeem Aarde, zoals zelfregulatie, zelforganisatie, interactie, reproductie en evolutie.</p>
Natuurkunde	<p>De natuurkunde beschouwt o.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> • op microschaal: het atoom als systeem van kleinere deeltjes • op macroschaal: gassen en gecondenseerde materie als systemen van atomen en moleculen; meet- en regelsystemen als systemen voor transport en omzetting van energie en informatie; levende systemen als bijzondere vorm van systemen • op wereldschaal: aarde als systeem met wisselwerking tussen aardkorst, bodem, oceanen en atmosfeer in uitwisseling van materie en energie op kosmische schaal: zonnestelsel als systeem van zon en planeten, heelal als systeem van sterren en sterrenstelsels.
Scheikunde	<p>Bij macroscopische processen wordt voor een systeem aangegeven welke stoffen in- en uitgaan, welke reacties plaats vinden, en welke energiestromen er zijn. Tegelijk is het, naast deze macroscopische benadering, nodig ook de microscopische systemen te bestuderen; een vesikel (organel in een cel, omgeven door een membraan), of een levende cel zijn te beschouwen als een chemisch systeem.</p>

Schaal

Biologie

In de biologie krijgt het schaalniveau vooral vorm in de verschillende organisatieniveaus die veelal worden onderscheiden, variërend van het moleculaire niveau tot het niveau van het systeem Aarde. Deze beschouwingwijze (zie ook bij *systeem*) is in sterke mate structurerend voor de biologie. Verklaringen voor structuren en processen op hogere organisatieniveaus worden verklaard uit interacties tussen componenten op lagere niveaus. In het huidige onderzoek worden moleculaire beschouwingen vaak geïntegreerd in onderzoek naar structuren op hogere niveaus.

Natuurkunde

Elke ruimte- en tijdschaal kent zijn eigen verklaringen, wetmatigheden en modellen; natuurkundigen zoeken veelal de verklaring van fundamentele eigenschappen van systemen op een bepaalde schaal in eigenschappen van systemen op een onderliggende schaal. Zij zoeken naar fundamentele wisselwerkingen en naar voorspellingen over de eigenschappen van systemen op basis van de eigenschappen van de onderdelen ervan. Evenals in de scheikunde speelt ook in de natuurkunde de relatie tussen schaalniveaus een hoofdrol: het macro-micro-denken.

Scheikunde

Het schaalbegrip is bij de scheikunde zichtbaar in het *macro-micro-denken*, het centrale kernconcept in de chemie. Materialen en stoffen hebben eigenschappen die in relatie gebracht worden tot structuren op verschillende niveaus en met verschillende afmetingen: van structuren die nog zichtbaar zijn tot modelmatige voorstellingen van de bouw van stoffen in termen van moleculen en atomen. Structuur-eigenschap-relaties kunnen een verklarende rol spelen, maar ook een voorspellende rol bij het gericht ontwerpen en synthetiseren van materialen en stoffen. De macro-micro-relatie kent ook kwantitatieve chemische redeneringen, waarin een vaste (massa)verhouding bestaat tussen beginstoffen en producten. De 'mol' is daarbij een kenmerkende grootte voor het meten van een chemische hoeveelheid. De vaste verhouding waarmee stoffen reageren (uitgedrukt in molverhouding) kan direct worden gerefereerd aan een kloppende reactievergelijking met behoud van elementen (atoomsoort) op microniveau.

Verandering

Biologie	Alle biologische eenheden of systemen zijn gedurende hun levensloop voortdurend in verandering; tijdens die levensloop kunnen daardoor in bepaalde perioden ook onverwachte, zogenaamde emergente eigenschappen ontstaan. Of verandering wordt waargenomen is mede afhankelijk van de schaal (zowel in ruimte als tijd) waarop waargenomen wordt. Alle veranderingen van biologische eenheden hebben een fysieke oorzaak, de biologie richt zich dan ook op causale verklaringen voor veranderingen van biologische eenheden. Evenwichtssituaties in biologische systemen zijn van tijdelijke aard en gebonden aan een specifiek organisatieniveau; op onderliggende organisatieniveaus treedt tegelijkertijd dan echter volop verandering op. Cellen van de maag worden voortdurend vervangen, maar de maag zelf behoudt gedurende een langere periode zijn structuur en werking.
Natuurkunde	Elk verschijnsel kent een karakteristieke tijdschaal waarop veranderingen zich afspelen; op verschillende tijdschalen worden verschillende soorten verschijnselen waargenomen; bij sommige verschijnselen treedt geen verandering op. Daaraan liggen vaak fundamentele behoudswetten ten grondslag. Een stilstaande hoeveelheid vloeistof van constante temperatuur bijvoorbeeld bestaat uit talloze bewegende moleculen, maar die zijn onderworpen aan de behoudswet van energie en impuls. Karakteristieke veranderingen die de natuurkunde bestudeert zijn veranderingen in energievorm, fasetoestand, impuls en kernsamenstelling.
Scheikunde	Bij scheikundige reacties en syntheses worden uit beginstoffen nieuwe stoffen (producten) gemaakt. Deze kunnen beschreven en voorspeld worden met een aantal chemische principes over reactiviteit: behoud van elementen, typen reacties, reactiemechanismen, evenwichts- en aflopende reacties, reactiesnelheid en katalyse.

Materie

Biologie	Doordat in de biologie structuren en processen op verschillende organisatieniveaus worden bestudeerd, wordt zowel aandacht besteed aan waarneembare structuren en verschijnselen als modelmatige verklaringen daarvoor op moleculair niveau.
Natuurkunde	In de klassieke natuurkunde geldt alles wat massa en volume heeft als materie. In de moderne natuurkunde wordt dat beeld verfijnd en gecorrigeerd, doordat in de quantumfysica de termen 'massa hebben' en 'ruimte innemen' niet scherp gedefinieerd kunnen worden, doordat de relativiteitstheorie de equivalentie van massa en energie laat zien en doordat de wisselwerking tussen deeltjes een integraal onderdeel van het materiebegrip is geworden.
Scheikunde	Interactie tussen materie is in de scheikunde haast nog belangrijker dan de materie zelf. Dat is de basis voor het begrip reactiviteit. Anderzijds houdt de scheikunde zich voortdurend bezig met ordening van materie en eigenschappen van materie.

Energie	
Biologie	Op ieder organisatieniveau is zelfregulatie en zelforganisatie alleen mogelijk als voldoende energie beschikbaar is. Planten betrekken hun energie van de zon, dieren van andere organismen. Het is gebruikelijk om energieomzettingen binnen biologische systemen weer te geven als energiestromen.
Natuurkunde	De verschijnselen die de natuurkunde bestudeert spelen zich af in een wereld die bestaat uit materie en energie, die op een fundamenteel niveau gezien gelijkwaardig zijn aan elkaar. Materie en energie zijn geordend in tijd en ruimte, en die ordening verandert onder invloed van onderlinge wisselwerking. Energie, energiebehoud en omzettingen tussen energievormen spelen een centrale rol in de natuurkunde.
Scheikunde	Energiebeschouwingen zijn van belang om te begrijpen/voorspellen of een proces of chemische reactie plaats kan vinden en welke omstandigheden daarvoor nodig zijn. Beschouwingen bij energieveranderingen gaan ook over de 'kwaliteit' van energie en over entropie.
Ruimte	
Biologie	Veel biologische objecten en processen die worden bestudeerd zijn in sterke mate plaatsgebonden. Zo kunnen veel organismen alleen voortbestaan binnen een specifieke biotoop; veel ecosystemen zijn daardoor ook sterk plaatsgebonden. Andere biologische objecten, variërend van trekvogels tot cellen verplaatsen zich of worden getransporteerd volgens specifieke patronen.
Natuurkunde	De funderende begrippen ruimte en tijd, zoals die in de algemene relativiteitstheorie en in de kosmologie geïmplementeerd worden, vormen in de natuurkunde meestal een vanzelfsprekendheid. Er is ruimte, er is tijd, en als we het beeld van de relativiteitstheorie meenemen: er is ruimte-tijd, en daarin spelen zich de verschijnselen af. Ruimte en tijd kunnen van coördinaten voorzien worden en daarmee een basis voor wiskundige beschrijvingen van verschijnselen vormen. Op een fundamenteeler niveau worden ruimte en tijd beschouwd als de metriek van het heelal, die net als de natuurwetten met de big bang ontstaan zijn.
Scheikunde	In de scheikunde hangen eigenschappen van verbindingen samen met de oriëntatie in de ruimte (stereochemie). In de biochemie is het sleutel-slotprincipe daarvan een uitwerking. Bij het verloop van reacties speelt de relatie tussen ruimte en oppervlak een belangrijke rol. Voorts is ruimte nodig om structuren een zekere minimale vorm van complexiteit te geven teneinde een bepaalde (materiaal)eigenschap te realiseren.

Tijd

Biologie Veel processen die in de biologie worden bestudeerd zijn irreversibel doordat ze betrekking hebben op ontwikkeling of evolutie van biologische systemen. Doordat levenscycli van biologische systemen een korte looptijd hebben kunnen zij herhaaldelijk worden bestudeerd en in het laboratorium onder experimentele condities worden gemanipuleerd. Bij systemen met een lange levenscyclus, zoals ecosystemen, is dat niet mogelijk en moet volstaan worden met bestudering van veranderingen die zich in situ voordoen.

Natuurkunde Zie de omschrijving bij *Ruimte*.

Scheikunde Waar entropie een drijvende kracht is achter reacties spelen tijd en complexiteit een belangrijke rol, zoals bij vorming van celmembranen en zelfassemblage van eiwitten.

Wisselwerking

Biologie In de biologie speelt wisselwerking (interactie) van biologische systemen met biotische en abiotische factoren een belangrijke rol, doordat veranderingen van biologische systemen alleen verklaard kan worden als hun interactie met de omgeving daar mede in betrokken wordt.

Natuurkunde Objecten beïnvloeden elkaars eigenschappen, die mogelijkheid wordt samengevat met de term wisselwerking. Op fundamenteel niveau blijken de mechanismen van die wisselwerking te kunnen worden omschreven in eenzelfde soort termen als voor materie: als deeltjes.

Scheikunde In de chemie ontlenen structuren hun functie(s) en/of materiaaleigenschap(en) aan de wisselwerking tussen moleculen; bij de vorming van verbindingen spelen reactiviteit en activeringsenergie een belangrijke rol.

Bijlage 1 **Samenhang tussen eindtermen van de examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken havo**

In deze bijlage wordt samenhang tussen eindtermen van de examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken aangegeven. Voor havo gaat het daarbij om de vakken biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT.

Steeds meer scholen willen, mede als gevolg van de invoering van NLT, aandacht schenken aan samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken. Die is binnen school niet altijd eenvoudig uit te werken, het vraagt veel inzet van alle betrokkenen. Als hulp bij dit afstemmen volgen hierna inventarisaties van samenhang tussen tweetallen vakken. Natuurlijk is samenhangend onderwijs tussen meer vakken mogelijk, maar de complexiteit neemt toe met het aantal betrokken vakken, en dus docenten.

Achtereenvolgens komen vakkencombinaties in tweetallen van biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT aan de orde. Daarbinnen is de genoemde volgorde aangehouden. De vakkencombinaties zoals vermeld suggereren geen verschil tussen de vakken. Zo kan de vakkencombinatie natuurkunde – scheikunde ook gelezen worden als scheikunde – natuurkunde.

Er is niet gestreefd naar volledigheid. Per vakkencombinatie is een beperkt aantal relevante voorbeelden opgenomen. De voorbeelden hebben soms een thematische, soms een conceptuele titel.

In alle voorbeelden gaat het om samenhang op het niveau van eindtermen, behalve waar het gaat om samenhang met NLT, daarover straks meer. Dat wil in ieder geval zeggen dat wat gepresenteerd wordt niet meer dan een richting aangeeft. Per vak in de combinatie is aangegeven of het eindtermen betreft uit het CE of het SE. Dat is van belang omdat er voor het SE geen sprake is van een in een syllabus voorgeschreven specificatie. Per definitie zijn de mogelijkheden voor samenhang met SE-onderwerpen groter dan voor het CE. Voor de zomer van 2011 komen naar verwachting de op de nieuwe examenprogramma's gebaseerde syllabi beschikbaar⁴. Deze syllabi kunnen gebruikt worden bij het uitwerken van de hier gepresenteerde voorbeelden van samenhang. In de te verschijnen handreikingen voor het schoolexamen zal SLO vanzelfsprekend ook aandacht geven aan samenhang.

⁴ De syllabi worden opgenomen op www.betanova.nl

Bij de combinaties van de monodisciplinaire vakken met NLT is niet uitgegaan van de eindtermen van NLT, omdat die te globaal zijn voor een thematische of conceptuele keuze. Voor de samenhang met NLT is uitgegaan van ontwikkelde NLT-modules. In de voorbeelden wordt ook voor de andere vakken verwezen naar ontwikkelde modules als die beschikbaar zijn.

In alle voorbeelden wordt een korte typering gegeven van de aard van de samenhang, waarbij zoveel mogelijk een onderscheid is gemaakt tussen sequentiële samenhang en contextuele samenhang. Bij sequentiële samenhang gaat het erom dat de kennis of concepten van het ene vak noodzakelijk zijn voor ontwikkeling van kennis of concepten in het andere vak. Bij contextuele samenhang gaat het om kennis of concepten van meer vakken binnen eenzelfde context.

1. Biologie - natuurkunde

1. Energiestroom

	Biologie	Natuurkunde
Eindtermen	<p>B8. Regulatie van ecosystemen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten energiestroom, kringloop, dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld verklaren op welke wijze ecosystemen zichzelf reguleren en kan beargumenteren met welke maatregelen de mens zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde kan beïnvloeden.</p>	<p>C2. Energieomzettingen</p> <p>De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.</p> <p>D1. Eigenschappen van stoffen en materialen</p> <p>De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren aan de hand van atomaire en moleculaire modellen.</p> <p>E2. Aarde en klimaat</p> <p>De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.</p> <p>F. Menselijk lichaam</p> <p>De kandidaat kan in de context van het menselijk lichaam fysische processen beschrijven, analyseren en verklaren en hun functie voor gezondheid en veiligheid toelichten.</p>
CE/SE	CE	CE (C2, D1) / SE (E2, F)
Typering samenhang	Fysische concepten zijn voorwaardelijk voor biologische concepten. Lichaam als energieomzetter kan context zijn voor natuurkundeonderwijs over energie. Aardkorst, atmosfeer en oceaan als opslagplaatsen resp. omzettingsomgevingen voor energie (→ duurzaamheid).	
Module	<i>De natuur grijpt zijn kans</i> <i>Natuur verder weg</i>	C2: geen aparte NiNa module D1: <i>Materialen</i> E2: <i>Aarde en atmosfeer</i> F: <i>Menselijk lichaam</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van duurzaamheid.	Persoonlijke context: lichamelijke prestaties als uiting van energiestroom in het lichaam. Wetenschappelijke contexten op het gebied van energiestromen in het lichaam. Maatschappelijke en wetenschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid.
Concepten	Energiestroom, duurzame ontwikkeling, kringloop.	Energieomzetting, energieopslag, kwaliteit van energie.

2. Cel

	Biologie	Natuurkunde
Eindtermen	<p>B2. Stofwisseling van de cel</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, transport, assimilatie en dissimilatie in contexten op het gebied van energie, gezondheid en voeding verklaren op welke wijze de stofwisseling van cellen van prokaryoten en eukaryoten verloopt.</p> <p>C1. Zelforganisatie van cellen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten genexpressie en celdifferentiatie in contexten op het gebied van energie, gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze de ontwikkeling van cellen verloopt.</p>	<p>F. Menselijk lichaam</p> <p>De kandidaat kan in de context van het menselijk lichaam fysische processen beschrijven, analyseren en verklaren en hun functie voor gezondheid en veiligheid toelichten.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Fysische concepten zijn voorwaardelijk voor biologische concepten.	
Module	<i>Celdeling en DNA</i>	<i>Menselijk lichaam</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van voeding en gezondheid.	Beroepscontexten op het gebied van voeding en gezondheid. (Verdiepend:) wetenschappelijke contexten op het gebied van informatieoverdracht.
Concepten	Cel, (cel)transport (diffusie, celmembran, spijsverteringskanaal).	Potentiaalverschil, actiepotentiaal.

3. Informatieverwerking

	Biologie	Natuurkunde
Eindtermen	B4. Zelfregulatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, hormonale regulatie en neurale regulatie in contexten op het gebied van gezondheid, sport en voeding verklaren op welke wijze eukaryoten zichzelf reguleren.	F. Menselijk lichaam De kandidaat kan in de context van het menselijk lichaam fysische processen beschrijven, analyseren en verklaren en hun functie voor gezondheid en veiligheid toelichten.
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Fysische concepten zijn voorwaardelijk voor biologische concepten.	
Module	<i>Lovers & losers</i>	<i>Menselijk lichaam</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van communicatie en gezondheid.	Beroepscontexten op het gebied van voeding en gezondheid. (Verdiepend:) wetenschappelijke contexten op het gebied van informatieoverdracht.
Concepten	Zenuwstelsel, zintuigen (neurale netwerken, oog, oor, spieren, endocrien systeem).	Impulsgeleiding, potentiaalverschil, actiepotentiaal, sensoren.

2. Biologie - scheikunde

1. Voedselveiligheid en -technologie

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>B4. Zelfregulatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, hormonale regulatie en neurale regulatie in contexten op het gebied van gezondheid, sport en voeding verklaren op welke wijze eukaryoten zichzelf reguleren.</p> <p>E3. Reproductie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten voortplanting en erfelijke eigenschap in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze eigenschappen worden overgedragen en benoemen op welke wijze de reproductie van eukaryoten en prokaryoten verloopt.</p>	<p>D1. Chemische vakmethodes De kandidaat kan met behulp van kennis van stoffen, materialen en chemische processen beargumen-teren waarom bepaalde scheidings-en/of analysemethoden passen in een voorgesteld ontwerp of productieproces.</p> <p>D2. Veiligheid De kandidaat kan stoffen en materialen analyseren en zuiveren en daarbij veilig omgaan met stoffen, materialen en apparatuur.</p> <p>F5. Kwaliteit en gezondheid De kandidaat kan kennis van chemische processen ten minste in de context van voeding of voedselproductie relateren aan uitspraken over kwaliteit en gezondheid.</p>
CE/SE	CE	CE (D1) / SE (D2, F5)
Typering samenhang	Contextuele samenhang.	
Module	<i>Voeding in mens en maatschappij</i>	<i>Wat hebben planten nodig?</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van voeding en gezondheid.	Kwalitatieve analyses en bepalingen uitvoeren in laboratoriumsituatie. Kwantitatief: spectroscopie. Chromatografie.
Concepten	Voeding, gezondheid, voortplanting.	Typologie van stoffen, ionentheorie, formules van zouten, zoutoplossingen.

2. Spijsvertering

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie benoemen op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en benoemen op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.	C1. Chemische processen De kandidaat kan chemische reacties en fysische processen beschrijven in termen van vormen en verbreken van (chemische) bindingen. C3. Energieberekeningen De kandidaat kan een chemisch proces en de daarbij optredende energieomzetting en energie-uitwisseling beschrijven en met een berekening toelichten.
CE/SE	CE	CE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, waarbij chemische basiskennis voorwaardelijk is voor ontwikkeling van het concept spijsvertering.	
Module	<i>Van mond tot kont</i>	<i>Chemie en bewegen Chemie van het leven I De schijf van vijf</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van voeding en gezondheid.	Energieproductie in het lichaam, voedingssupplementen, doping, gezonde voeding.
Concepten	Spijsvertering.	Glucose, eiwitten, koolhydraten, vetten, antioxidanten, verzadigde en onverzadigde vetzuren, verzeeping.

3. DNA-replicatie

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	E1. DNA-replicatie De kandidaat kan met behulp van het concept DNA-replicatie in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze erfelijk materiaal wordt gereproduceerd.	C1. Chemische processen De kandidaat kan chemische reacties en fysische processen beschrijven in termen van vormen en verbreken van (chemische) bindingen.
CE/SE	SE	CE
Typering samenhang	Chemische en biologische kennis overlapt elkaar grotendeels.	
Module	<i>Celdeling en DNA</i>	<i>Antibiotica</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van voeding en gezondheid, bijv. voedingstechnologie en erfelijkheidsonderzoek.	Synthetiseren van een antibioticum.
Concepten	DNA-replicatie, mutatie.	Peptidebinding, reactiesnelheid, aminozuren.

4. Duurzame productie

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>B8. Regulatie van ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten energiestroom, kringloop, dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld verklaren op welke wijze ecosystemen zichzelf reguleren en kan beargumenteren met welke maatregelen de mens zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde kan beïnvloeden.</p> <p>C3. Zelforganisatie van ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld benoemen op welke wijze ecosystemen zich kunnen ontwikkelen en beargumenteren met welke maatregelen de mens de zelforganisatie van ecosystemen beïnvloedt.</p> <p>E3. Reproductie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten voortplanting en erfelijke eigenschap in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze eigenschappen worden overgedragen en benoemen op welke wijze de reproductie van eukaryoten en prokaryoten verloopt.</p>	<p>F1. Industriële processen De kandidaat kan gegeven industriële processen beschrijven in blok-schema's, rendementsberekeningen maken, en kan aangeven hoe aspecten van "groene chemie" bij het ontwerp van het proces een rol spelen.</p> <p>G2. Milieueisen De kandidaat kan met behulp van kennis van chemische processen ten minste in de context van voedselproductie of gezondheid uitspraken doen over de kwaliteit van water, lucht, bodem en voedsel.</p> <p>F3. Energieomzettingen De kandidaat kan in de context van duurzaamheid beschrijven welke chemisch technologische processen worden gebruikt bij energieomzettingen en kan met behulp van kennis van energieproductie redeneren over duurzame processen.</p>
CE/SE	CE	CE
Typering samenhang	Contextuele samenhang en conceptuele samenhang (kringloop).	
Module	<i>Natuur verder weg De natuur grijpt zijn kans</i>	<i>Biobrandstoffen Groene brandstof</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van duurzaamheid of voeding, bijv. voedingstechnologie.	Energiedichtheid, atoombinding, zonne-energie.
Concepten	Duurzame ontwikkeling, kringloop, voortplanting.	Rendementen van verbrandingsprocessen, evenwichtsreacties.

5. Energie van planten

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>B4. Zelfregulatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, hormonale regulatie en neurale regulatie in contexten op het gebied van gezondheid, sport en voeding verklaren op welke wijze eukaryoten zichzelf reguleren.</p> <p>C2. Zelforganisatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van het concept levenscyclus in contexten op het gebied van gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze de ontwikkeling van organismen verloopt en verklaren op welke wijze verstoringen van de ontwikkeling ontstaan, kunnen worden voorkomen en worden aangepakt.</p> <p>E3. Reproductie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten voortplanting en erfelijke eigenschap in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze eigenschappen worden overgedragen en benoemen op welke wijze de reproductie van eukaryoten en prokaryoten verloopt.</p>	<p>F3. Energieomzettingen De kandidaat kan in de context van duurzaamheid beschrijven welke chemisch technologische processen worden gebruikt bij energieomzettingen en kan met behulp van kennis van energieproductie redeneren over duurzame processen.</p>
CE/SE	CE (B4, E3) / SE (C2)	CE
Typering samenhang	Conceptuele en contextuele samenhang, waarbij chemische basiskennis voorwaardelijke is voor ontwikkeling van het concept fotosynthese.	
Module	<i>De tellende teler</i>	<i>Gif om op te vreten Wat hebben planten nodig?</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van duurzaamheid.	Kringlopen.
Concepten	Fotosynthese, voortplanting.	Elementkringloop, reactiviteit, reactiemechanismen, neerslagreacties.

3. Biologie - NLT

1. Modellen en systemen

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B4. Zelfregulatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, hormonale regulatie en neurale regulatie in contexten op het gebied van gezondheid, sport en voeding verklaren op welke wijze eukaryoten zichzelf reguleren.</p> <p>B5. Afweer van het organisme De kandidaat kan met behulp van het concept afweer in contexten op het gebied van gezondheidszorg en voedselproductie benoemen op welke wijze eukaryoten zich te weer stellen tegen andere organismen, virussen en allergenen en welke problemen daarbij kunnen ontstaan.</p> <p>C2. Zelforganisatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van het concept levenscyclus in contexten op het gebied van gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze de ontwikkeling van organismen verloopt en verklaren op welke wijze verstoringen van de ontwikkeling ontstaan, kunnen worden voorkomen en worden aangepakt.</p>	<p>B1. Interdisciplinariteit De kandidaat kan voor de context relevante conceptuele kennis en benaderingen uit in ieder geval de aardwetenschappen, de biologie, de natuurkunde, de scheikunde en de wiskunde toepassen op interdisciplinaire vraagstukken, die betrekking hebben op de domeinen C t/m E. De kandidaat kan daarbij:</p> <ul style="list-style-type: none"> • situaties beschrijven in termen van modelvorming, systeem, schaal en verandering.
CE/SE	CE (B4, B5) / SE (C2)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, biologie als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Afweer</i>	<i>Dynamische modellen havo</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van gezondheid.	Griep, marathon.
Concepten	Afweer, homeostase, systeemdenken.	Griepepidemie, water en zoutbalans in het lichaam, dynamische systemen.

2. Luchtkwaliteit

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie benoemen op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en benoemen op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p> <p>B8. Regulatie van ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten energiestroom, kringloop, dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld verklaren op welke wijze ecosystemen zichzelf reguleren en kan beargumenteren met welke maatregelen de mens zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde kan beïnvloeden.</p> <p>C2. Zelforganisatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van het concept levenscyclus in contexten op het gebied van gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze de ontwikkeling van organismen verloopt en verklaren op welke wijze verstoringen van de ontwikkeling ontstaan, kunnen worden voorkomen en worden aangepakt.</p>	<p>C. Aarde en natuur De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen op interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het monitoren en (duurzaam) beheren van de natuurlijke en ingerichte leefomgeving.</p>
CE/SE	CE (B3, B8) / SE (C2)	SE
Typering samenhang	Luchtkwaliteit en gezondheid – ademhaling (astma) → conceptuele samenhang met biologie als voorkennis voor NLT. Klimaat en broeikas effect – biosfeer → contextuele samenhang.	
Module	<i>De tellende teler</i>	<i>Aerosolen en vuile lucht</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van gezondheid en duurzaamheid.	Luchtvervuiling.
Concepten	Biosfeer, ademhaling.	Klimaat en broeikas effect, luchtkwaliteit en gezondheid.

3. Forensische technieken

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B1. Eiwitsynthese De kandidaat kan met behulp van de concepten DNA en eiwitsynthese in contexten op het gebied van gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze bouwstoffen van de cel worden gevormd.</p> <p>B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie benoemen op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en benoemen op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p>	<p>D. Gezondheid, bescherming en veiligheid De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen op interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot bescherming, diagnose, genezing, verzorging of revalidatie van mensen.</p>
CE/SE	CE (B3) / SE (B1)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang Biologie als voorkennis voor NLT	
Module	<i>Celdeling en DNA</i>	<i>Forensisch onderzoek</i>
Contexten	Beroepscontexten op gebied van gezondheid en veiligheid.	Forensisch onderzoek.
Concepten	DNA, bloedsomloop.	Forensisch DNA-onderzoek, bloedonderzoek.

4. Bodemkunde

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B8. Regulatie van ecosystemen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten energiestroom, kringloop, dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld verklaren op welke wijze ecosystemen zichzelf reguleren en kan beargumenteren met welke maatregelen de mens zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde kan beïnvloeden.</p> <p>C3. Zelforganisatie van ecosystemen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld benoemen op welke wijze ecosystemen zich kunnen ontwikkelen en beargumenteren met welke maatregelen de mens de zelforganisatie van ecosystemen beïnvloedt.</p> <p>F3. Biodiversiteit</p> <p>De kandidaat kan met behulp van het concept biodiversiteit in contexten op het gebied van duurzaamheid benoemen op welke wijze de diversiteit van populaties en ecosystemen binnen het systeem Aarde varieert.</p>	<p>C. Aarde en natuur</p> <p>De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen op interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het monitoren en (duurzaam) beheeren van de natuurlijke en ingerichte leefomgeving.</p>
CE/SE	CE (B8, C3) / SE (F3)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, biologie als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Natuur verder weg De natuur grijpt zijn kans</i>	<i>De bodem leeft</i>
Contexten	Beroepscontexten op het gebied van duurzaamheid.	Duurzaam bodemgebruik.
Concepten	Voedselweb, ecosysteem, voedselrelatie, duurzaamheid, biodiversiteit, kringlopen, voeding.	Bodemecosysteem, duurzaam telen, duurzaam bodembeheer, biodiversiteit, koolstofkringloop en broeikas-effect, gebreksziekten bij planten.

4. Natuurkunde - scheikunde

1. Stoffen en materialen

	Natuurkunde	Scheikunde
Eindterm	<p>D1. Eigenschappen van stoffen en materialen</p> <p>De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren aan de hand van atomaire en moleculaire modellen.</p>	<p>B4. Bindingen, structuren en eigenschappen</p> <p>De kandidaat kan op basis van kennis van aanwezige structuren en de bindingen in en tussen deeltjes een macroscopische eigenschap van een stof of materiaal verklaren.</p> <p>B5. Macroscopische eigenschappen</p> <p>De kandidaat kan een macroscopische eigenschap relateren aan de structuur van een stof of materiaal.</p>
CE/SE	CE	CE
Typering samenhang	<p>In het verklaren van eigenschappen van stoffen en materialen gebruiken natuurkunde en scheikunde een gemeenschappelijk model voor de structuur van de materie. De scheikunde concentreert zich op een ander type interacties dan de natuurkunde, maar er is veel overlap.</p> <p>In de ontwikkeling van materialen spelen deze beelden van de structuur van de materie opnieuw een grote rol.</p>	
Module	<i>Materialen</i>	<i>Wat een kunst ... nieuwe materialen</i> <i>Onbreekbare bekertjes</i> <i>Scooter van de 21^e eeuw (gedeeltelijk)</i>
Contexten	Maatschappelijke contexten op het gebied van materialen.	Materiaaldeskundige op zoek naar nieuwe materialen. Onderzoek doen aan materiaaleigenschappen.
Concepten	Deeltjesmodel, microscopisch, macroscopisch, moleculaire beweging, elektronenschil.	Sinteren, elasticiteit, sterkte, geleidbaarheid, corrosie(bestendigheid), redoxreacties.

2. Energieomzettingen

	Natuurkunde	Scheikunde
Eindterm	<p>C2. Energieomzettingen</p> <p>De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.</p> <p>D1. Eigenschappen van stoffen en materialen</p> <p>De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren aan de hand van atomaire en moleculaire modellen.</p>	<p>F3. Energieomzettingen</p> <p>De kandidaat kan in de context van duurzaamheid beschrijven welke chemisch technologische processen worden gebruikt bij energieomzettingen en kan met behulp van kennis van energieproductie redeneren over duurzame processen.</p>
CE/SE	CE	CE
Typering samenhang	In de energievoorziening als maatschappelijke activiteit worden dikwijls energieomzettingen gebruikt op basis van verbranding. De scheikunde biedt inzicht in de details en mogelijkheden daarvan, evenals in de vervuilingsaspecten van die omzettingen (m.n. CO ₂) en manieren om die te beperken.	
Module	<p>C2: geen eigen NiNa-modules</p> <p>D1: <i>Materialen</i></p>	<p><i>Groene brandstof / Bioethanol</i></p> <p><i>Biobrandstoffen</i></p> <p><i>Zonne-energie, eeuwig maar moeilijk</i></p>
Contexten	Maatschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid.	Productie van ethanol uit maïs.
Concepten	Energieomzetting, energieopslag.	Redoxreacties, ionentheorie, atoombinding, elektrolyse, fotosynthese.

5. Natuurkunde - NLT

1. Dynamische modellen

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>A7. Modelvorming 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.</p> <p>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.</p>	<p>A2. Natuurwetenschappelijke, wiskundige en technische vaardigheden De kandidaat kan in contexten met name een gesloten 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.</p> <p>B1. Interdisciplinariteit De kandidaat kan voor de context relevante conceptuele kennis en benaderingen uit in ieder geval de aardwetenschappen, de biologie, de natuurkunde, de scheikunde en de wiskunde toepassen op interdisciplinaire vraagstukken, die betrekking hebben op de domeinen C t/m E. De kandidaat kan daarbij:</p> <ul style="list-style-type: none"> • situaties beschrijven in termen van modelvorming, systeem, schaal en verandering.
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module	geen eigen NiNa-modules	<i>Dynamische modellen havo</i>
Contexten	Stromend water, vallende kogel.	
Concepten	Kinematica, trilling.	(Val)bewegingen, trilling, veerconstante.

2. Lijmkracht

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>C1. Kracht en beweging</p> <p>De kandidaat kan in contexten de relatie tussen kracht en bewegingsveranderingen analyseren en verklaren met behulp van de wetten van Newton.</p> <p>D1. Eigenschappen van stoffen en materialen</p> <p>De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren aan de hand van atomaire en moleculaire modellen.</p>	<p>E2. Processen en producten</p> <p>De kandidaat kan een actueel technologisch proces of product beschrijven en daarbij de bouw of werking ervan verklaren aan de hand van relevante natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<p>C2: geen eigen NiNa-modules</p> <p>D1: <i>Materialen</i></p>	<i>Lijmen en hechting</i>
Contexten	Werking en toepassingen van lijmstoffen.	
Concepten	Krachten, momenten, eigenschappen van materialen.	Lijmkracht, koppelmoment, fysisch-chemische en mechanische eigenschappen lijm, constructies, trek- en drukspanning.

3. Duurzaam energiegebruik

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>D1. Eigenschappen van stoffen en materialen De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en verklaren aan de hand van atomaire en moleculaire modellen.</p> <p>E2. Aarde en klimaat De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.</p>	<p>C. Aarde en natuur De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen op interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het monitoren en (duurzaam) beheeren van de natuurlijke en ingerichte leefomgeving.</p>
CE/SE	CE (D1) / SE (E2)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module	D1: <i>Materialen</i> E2: <i>Aarde en atmosfeer</i>	<i>Glastuinbouw en energie</i>
Contexten	Duurzame kassen.	
Concepten	Energiebalans aarde, warmtegeleidingsprocessen.	Energiebalans, warmte, warmteverlies, warmteoverdracht, warmtekrachtkoppeling.

4. Procestechnologie

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>G1. Gebruik van elektriciteit De kandidaat kan aan de hand van fysische begrippen opwekking, transport en toepassingen van elektriciteit beschrijven en analyseren.</p> <p>G2. Technische automatisering De kandidaat kan meet-, stuur- en regelsystemen construeren en de functie en werking van de componenten beschrijven.</p>	<p>E2. Processen en producten De kandidaat kan een actueel technologisch proces of product beschrijven en daarbij de bouw of werking ervan verklaren aan de hand van relevante natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten.</p>
CE/SE	CE (G1) / SE (G2)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Domotica</i>	<i>Smaak maken</i>
Contexten	Broodproductie.	
Concepten	Aardlekschakelaar, automatisering.	Elektriciteit in huis, procestechnologie.

6. Scheikunde - NLT

1. Stoffen in het lichaam

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>C1. Chemische processen De kandidaat kan chemische reacties en fysische processen beschrijven in termen van vormen en verbreken van (chemische) bindingen.</p> <p>C3. Energieberekeningen De kandidaat kan een chemisch proces en de daarbij optredende energieomzetting en energie-uitwisseling beschrijven en met een berekening toelichten.</p> <p>F3. Energieomzettingen De kandidaat kan in de context van duurzaamheid beschrijven welke chemisch technologische processen worden gebruikt bij energieomzettingen en kan met behulp van kennis van energieproductie redeneren over duurzame processen.</p>	<p>D. Gezondheid, bescherming en veiligheid De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen op interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot bescherming, diagnose, genezing, verzorging of revalidatie van mensen.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Bioethanol</i>	<i>Een feest zonder katers</i>
Contexten	Effect van alcohol op het lichaam.	
Concepten	Destillatie, additiereactie, redox, structuur en fysische eigenschappen van alcohol, systematische naamgeving, R/S-zinnen, concentratie, massapercentages.	Gefractioneerde destillatie, additiereacties, vergisting, eigenschappen en risico's van alcohol, R/S-zinnen, Widmarkformule.

2. Lijmen en hechten

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>B4. Bindingen, structuren en eigenschappen De kandidaat kan op basis van kennis van aanwezige structuren en de bindingen in en tussen deeltjes een macroscopische eigenschap van een stof of materiaal verklaren.</p> <p>B5. Macroscopische eigenschappen De kandidaat kan een macroscopische eigenschap relateren aan de structuur van een stof of materiaal.</p> <p>C8. Classificatie van reacties De kandidaat kan eenvoudige reacties classificeren, en gebruiken bij het beschrijven van polymerisatiereacties.</p>	<p>E2. Processen en producten De kandidaat kan een actueel technologisch proces of product beschrijven en daarbij de bouw of werking ervan verklaren aan de hand van relevante natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Smart materials</i>	<i>Lijmen en hechting</i>
Contexten	Werking en toepassingen van lijmstoffen.	
Concepten	Bindingstypen, polymeren, thermoharders.	Chemische bindingen, hydrofoob, hydrofiel, adhesie, cohesie, lijmreacties.

3. Procestechnologie

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>F1. Industriële processen De kandidaat kan gegeven industriële processen beschrijven in blokschema's, rendementsberekeningen maken, en kan aangeven hoe aspecten van "groene chemie" bij het ontwerp van het proces een rol spelen.</p>	<p>E2. Processen en producten De kandidaat kan een actueel technologisch proces of product beschrijven en daarbij de bouw of werking ervan verklaren aan de hand van relevante natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Moderne biotechnologie, van cel tot fabriek</i>	<i>Smaak maken</i>
Contexten	Broodproductie.	
Concepten	Procestechnologie, blokschema, batch- en continuproces.	Procestechnologie, blokschema, batch- en continuproces.

4. Organische stof

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>G2. Milieueisen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van kennis van chemische processen minste in de context van voedselproductie of gezondheid uitspraken doen over de kwaliteit van water, lucht, bodem en voedsel.</p> <p>G3. Duurzame chemische technologie</p> <p>De kandidaat kan aangeven hoe grondstoffen voor de chemische industrie worden geproduceerd en kan met behulp van kennis van duurzame principes aan de hand van een voorbeeld uit de chemische industrie bijdragen van het bedrijfsproces relateren aan lokale en mondiale kwaliteit van leven.</p>	<p>C. Aarde en natuur</p> <p>De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen op interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het monitoren en (duurzaam) beheeren van de natuurlijke en ingerichte leefomgeving.</p>
CE/SE	CE (G2) / SE (G3)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Gif om op te vreten</i>	<i>De bodem leeft</i>
Contexten	Duurzaam bodemgebruik.	
Concepten	Koolstofkringloop, zouten.	Organische stof in de bodem, (rekenen aan) koolstofkringloop, gebrekscultures.

Bijlage 2 Samenhang tussen eindtermen van de examenprogramma's van de natuurwetenschappelijke vakken vwo

In deze bijlage wordt samenhang tussen eindtermen van de examenprogramma's voor de natuurwetenschappelijke vakken aangegeven. Voor vwo gaat het daarbij om de vakken biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT.

Steeds meer scholen willen, mede als gevolg van de invoering van NLT, aandacht schenken aan samenhang tussen de natuurwetenschappelijke vakken. Die is binnen school niet altijd eenvoudig uit te werken, het vraagt veel inzet van alle betrokkenen. Als hulp bij dit afstemmen volgen hierna inventarisaties van samenhang tussen tweetallen vakken. Natuurlijk is samenhangend onderwijs tussen meer vakken mogelijk, maar de complexiteit neemt toe met het aantal betrokken vakken, en dus docenten.

Achtereenvolgens komen vakkencombinaties in tweetallen van biologie, natuurkunde, scheikunde en NLT aan de orde. Daarbinnen is de genoemde volgorde aangehouden. De vakkencombinaties zoals vermeld suggereren geen verschil tussen de vakken. Zo kan de vakkencombinatie natuurkunde – scheikunde ook gelezen worden als scheikunde – natuurkunde.

Er is niet gestreefd naar volledigheid. Per vakkencombinatie is een beperkt aantal relevante voorbeelden opgenomen. De voorbeelden hebben soms een thematische, soms een conceptuele titel.

In alle voorbeelden gaat het om samenhang op het niveau van eindtermen, behalve waar het gaat om samenhang met NLT, daarover straks meer. Dat wil in ieder geval zeggen dat wat gepresenteerd wordt niet meer dan een richting aangeeft. Per vak in de combinatie is aangegeven of het eindtermen betreft uit het CE of het SE. Dat is van belang omdat er voor het SE geen sprake is van een in een syllabus voorgeschreven specificatie. In het algemeen zijn de mogelijkheden voor samenhang met SE-onderwerpen groter dan voor het CE. Voor de zomer van 2011 komen naar verwachting de op de nieuwe examenprogramma's gebaseerde syllabi beschikbaar⁵. Deze syllabi kunnen gebruikt worden bij het uitwerken van de hier gepresenteerde voorbeelden van samenhang. In de te verschijnen handreikingen voor het schoolexamen zal SLO vanzelfsprekend ook aandacht geven aan samenhang.

⁵ De syllabi worden opgenomen op www.betanova.nl

Bij de combinaties van de monodisciplinaire vakken met NLT is niet uitgegaan van de eindtermen van NLT, omdat die te globaal zijn voor een thematische of conceptuele keuze. Voor de samenhang met NLT is uitgegaan van ontwikkelde NLT-modules. In de voorbeelden wordt ook voor de andere vakken verwezen naar ontwikkelde modules als die beschikbaar zijn.

In alle voorbeelden wordt een korte typering gegeven van de aard van de samenhang, waarbij zoveel mogelijk een onderscheid is gemaakt tussen sequentiële samenhang en contextuele samenhang. Bij sequentiële samenhang gaat het erom dat de kennis of concepten van het ene vak noodzakelijk zijn voor ontwikkeling van kennis of concepten in het andere vak. Bij contextuele samenhang gaat het om kennis of concepten van meer vakken binnen eenzelfde context.

1. Biologie - natuurkunde

1. Energiestroom

	Biologie	Natuurkunde
Eindtermen	<p>B8. Regulatie van ecosystemen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten energiestroom, kringloop, dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld verklaren op welke wijze ecosystemen zichzelf reguleren; de kandidaat kan beargumenteren welke effecten op kunnen treden als zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde wordt verstoord, en kan beargumenteren met welke maatregelen de mens zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde kan beïnvloeden.</p>	<p>C2. Energie en wisselwerking</p> <p>De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.</p> <p>E1. Eigenschappen van stoffen en materialen</p> <p>De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.</p> <p>G1. Biofysica</p> <p>De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.</p> <p>G2. Geofysica</p> <p>De kandidaat kan in de context van geofysische systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.</p>
CE/SE	CE	CE (C2) / SE (E1, G1, G2).
Typering samenhang	Fysische concepten zijn voorwaardelijk voor biologische concepten. Lichaam als energieomzetter kan context zijn voor natuurkundeonderwijs over energie. Aardkorst, atmosfeer en oceaan als opslagplaatsen resp. omzettingssomgevingen voor energie (→ duurzaamheid).	
Module		<p>C2: Wisselwerking en Beweging, delen 5 en 6</p> <p>E1: Eigenschappen van stoffen en materialen</p> <p>G1: Leven en natuurkunde</p> <p>G2: Weer en klimaat</p>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid.	<p>Persoonlijke context: lichamelijke prestaties als uiting van energiestroom in het lichaam.</p> <p>Wetenschappelijke contexten op het gebied van energiestromen in het lichaam.</p>

Contexten		Maatschappelijke en wetenschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid.
Concepten	Energiestroom, duurzame ontwikkeling, kringloop.	Energieomzetting, energieopslag, kwaliteit van energie.

2. Fotosynthese

	Biologie	Natuurkunde
Eindtermen	<p>B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie verklaren op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en beargumenteren op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p>	<p>E2. Elektromagnetische straling en materie De kandidaat kan in astrofysische en andere contexten de wisselwerking tussen straling en materie beschrijven en verklaren aan de hand van de begrippen atoomspectrum, absorptie, emissie en stralingsenergie.</p> <p>F1. Quantumwereld De kandidaat kan in contexten de golf-deeltje dualiteit en de onbepaaldheidsrelatie van Heisenberg toepassen, en de kwantisatie van energieniveaus in enkele voorbeelden verklaren aan de hand van een eenvoudig quantumfysisch model.</p> <p>G1. Biofysica De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.</p>
CE/SE	CE	CE (E2, F1) / SE (G1)
Typering samenhang	Fysische concepten zijn voorwaardelijk voor biologische concepten.	
Module	<i>Planten</i>	<p>E2: Elektromagnetische straling en materie (in context van zon en sterren)</p> <p>F1: Quantumwereld</p> <p>G1: Leven en natuurkunde</p>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van voeding.	Wetenschappelijke en maatschappelijke (bio-energie) contexten voor het quantumbegrip.
Concepten	Fotosynthese.	Energiequantum, fotonen.

3. Cel

	Biologie	Natuurkunde
Eindtermen	<p>B2. Stofwisseling van de cel</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, transport, assimilatie en dissimilatie in contexten op het gebied van energie, gezondheid, duurzaamheid en voeding verklaren op welke wijze de stofwisseling van cellen van prokaryoten en eukaryoten verloopt.</p> <p>C.1 Zelforganisatie van cellen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van de concepten genexpressie en celdifferentiatie in contexten op het gebied van energie, gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze de ontwikkeling van cellen verloopt en beargumenteren op welke wijze stoornissen in de ontwikkeling kunnen ontstaan en worden aangepakt.</p>	<p>G1. Biofysica</p> <p>De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Fysische concepten zijn voorwaardelijk voor biologische concepten.	
Module	<i>Celdeling en DNA</i> <i>Cellen in bedrijf</i>	<i>Leven en natuurkunde</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van voeding en gezondheid.	Wetenschappelijke contexten op het gebied van informatieoverdracht.
Concepten	Cel, (cel)transport (diffusie, celmembraan, spijsverteringskanaal).	Diffusie, molecuul, brownbeweging, nanomotortjes, potentiaalverschil, actiepotentiaal.

4. Informatieverwerking

	Biologie	Natuurkunde
Eindtermen	B4. Zelfregulatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, hormonale regulatie en neurale regulatie in contexten op het gebied van gezondheid, sport en voeding verklaren op welke wijze zelfregulatie bij eukaryoten verloopt en beargumenteren op welke wijze daarin stoornissen kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.	G1. Biofysica De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Fysische concepten zijn voorwaardelijk voor biologische concepten.	
Module	<i>Lovers en losers</i> <i>Topsport of topsport</i>	<i>Leven en natuurkunde</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van communicatie en gezondheid.	Wetenschappelijke contexten op het gebied van informatieoverdracht.
Concepten	Zenuwstelsel, zintuigen (neurale netwerken, oog, oor, spieren, endocrien systeem).	Impulsgeleiding, potentiaalverschil, actiepotentiaal, sensoren, actuatoren, schakelaar.

2. Biologie - scheikunde

1. Voedselveiligheid en -technologie

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie verklaren op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en beargumenteren op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p> <p>B4. Zelfregulatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, hormonale regulatie en neurale regulatie in contexten op het gebied van gezondheid, sport en voeding verklaren op welke wijze zelfregulatie bij eukaryoten verloopt en beargumenteren op welke wijze daarin stoornissen kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p> <p>E3. Reproductie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten voortplanting en erfelijke eigenschap in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze eigenschappen worden overgedragen en benoemen op welke wijze de reproductie van eukaryoten en prokaryoten verloopt.</p>	<p>E1. Chemisch onderzoek De kandidaat kan met behulp van kennis van chemische processen in een beschreven onderzoek ten minste in de context van gezondheid, materialen of voedselproductie aangeven hoe die kennis wordt gebruikt.</p> <p>E3. Duurzaamheid De kandidaat kan met behulp van kennis van chemische processen uitspraken over duurzaamheid waarderen en van commentaar voorzien.</p>
CE/SE	CE	CE (E1) / SE (E3)
Typering samenhang	Contextuele samenhang.	
Module	<i>Chemie en beweging Wat hebben planten nodig?</i>	

Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van voeding en gezondheid.	Kwalitatieve analyses en bepalingen uitvoeren in laboratoriumsituatie. Kwantitatief: spectroscopie. Chromatografie
Concepten	Voeding, gezondheid, voortplanting.	Typologie van stoffen, ionentheorie, formules van zouten.

2. Spijsvertering

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie verklaren op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en beargumenteren op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.	E4. Nieuwe materialen De kandidaat kan met behulp van kennis van de chemische industrie ten minste in de context van geneesmiddelen, voeding of materialen toelichten hoe nieuwe toepassingen in bestaande en in nieuwe markten worden ontwikkeld. G1. Chemie van het leven De kandidaat kan kennis van chemische processen in levende organismen beschrijven en gebruiken.
CE/SE	CE	CE (G1) / SE (E4)
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, waarbij chemische basiskennis voorwaardelijk is voor ontwikkeling van het concept spijsvertering.	
Module	<i>Sputten of slikken</i>	
Contexten	Wetenschappelijke en beroepscontexten op het gebied van voeding en gezondheid.	Medicijntoediening in diverse vormen.
Concepten	Spijsvertering.	Reactiemechanismen.

3. DNA-replicatie

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>E1. DNA-replicatie</p> <p>De kandidaat kan met behulp van het concept DNA-replicatie in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze erfelijke materiaal wordt gereproduceerd.</p>	<p>E4. Nieuwe materialen</p> <p>De kandidaat kan met behulp van kennis van de chemische industrie ten minste in de context van geneesmiddelen, voeding of materialen toelichten hoe nieuwe toepassingen in bestaande en in nieuwe markten worden ontwikkeld.</p> <p>G1. Chemie van het leven</p> <p>De kandidaat kan kennis van chemische processen in levende organismen beschrijven en gebruiken.</p>
CE/SE	SE	CE (G1) / SE (E4)
Typering samenhang	Chemische en biologische kennis overlapt elkaar grotendeels.	
Module	<i>Celdeling en DNA</i>	<i>Antibiotica</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van voeding en gezondheid, bijv. voedingstechnologie en erfelijkheidsonderzoek.	Synthetische biologie, organische synthese, micro-organismen.
Concepten	DNA-replicatie, mutatie.	Peptidebinding, reactiesnelheid, energiediagrammen.

4. Duurzame productie

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>B8. Regulatie van ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten energiestroom, kringloop, dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld verklaren op welke wijze ecosystemen zichzelf reguleren; de kandidaat kan beargumenteren welke effecten op kunnen treden als zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde wordt verstoord, en kan beargumenteren met welke maatregelen de mens zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde kan beïnvloeden.</p>	<p>G1. Chemie van het leven De kandidaat kan kennis van chemische processen in levende organismen beschrijven en gebruiken. G2. Milieueffectrapportage De kandidaat kan met behulp van kennis van productieprocessen ten minste in de context van gezondheid of duurzaamheid beschrijven welke maatschappelijke condities aan de orde zijn en wat mogelijke gevolgen zijn.</p>
Eindtermen	<p>C3. Zelforganisatie van ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld benoemen op welke wijze ecosystemen zich kunnen ontwikkelen en beargumenteren met welke maatregelen de mens de zelforganisatie van ecosystemen en het systeem Aarde beïnvloedt. E3. Reproductie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten voortplanting en erfelijke eigenschap in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze eigenschappen worden overgedragen en benoemen op welke wijze de reproductie van eukaryoten en prokaryoten verloopt.</p>	<p>G3. Energie en industrie De kandidaat kan met behulp van kennis van productieprocessen ten minste in de context van duurzaamheid energieomzettingen vanuit de verschillende bronnen beschrijven, vergelijkingen maken en een beargumenteerd oordeel geven. G4. Milieueisen De kandidaat kan met behulp van kennis van grootschalige chemische processen beschrijven welke kwaliteiten van water, lucht, bodem en voedsel op welke wijze worden gewaarborgd en kan voorgestelde aanpassingen beoordelen.</p>
CE/SE	CE	SE (G1, G2, G3) / CE (G4)
Typering samenhang	Contextuele samenhang en conceptuele samenhang (kringloop).	
Module	<i>Moderne klassieke genetica</i>	<i>Chloorindustrie in Uganda</i> <i>Kolenvergasser</i>

Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid of voeding, bijv. voedingstechnologie.	Elektrolyse, redox, evenwichten, thermodynamica.
Concepten	Duurzame ontwikkeling, kringloop, voortplanting.	Rendementen van verbrandingsprocessen, evenwichtsreacties.

5. Energie van planten

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie verklaren op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en beargumenteren op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p> <p>E3. Reproductie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten voortplanting en erfelijke eigenschap in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze eigenschappen worden overgedragen en benoemen op welke wijze de reproductie van eukaryoten en prokaryoten verloopt.</p>	<p>E4. Nieuwe materialen De kandidaat kan met behulp van kennis van de chemische industrie ten minste in de context van geneesmiddelen, voeding of materialen toelichten hoe nieuwe toepassingen in bestaande en in nieuwe markten worden ontwikkeld.</p> <p>G4. Milieueisen De kandidaat kan met behulp van kennis van grootschalige chemische processen beschrijven welke kwaliteiten van water, lucht, bodem en voedsel op welke wijze worden gewaarborgd en kan voorgestelde aanpassingen beoordelen.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele en contextuele samenhang, waarbij chemische basiskennis voorwaardelijk is voor ontwikkeling van het concept fotosynthese.	
Module	<i>Planten</i>	<i>Gifom op te vreten Wat hebben planten nodig?</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid.	Kringlopen.
Concepten	Fotosynthese, voortplanting.	Reactiviteit, reactiemechanismen.

6. Ontwikkeling van de biosfeer

	Biologie	Scheikunde
Eindtermen	<p>F3. Biodiversiteit De kandidaat kan met behulp van het concept biodiversiteit in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld veranderingen in diversiteit van populaties en ecosystemen binnen het systeem Aarde verklaren en beargumenteren op welke wijze deze veranderingen beïnvloed worden.</p> <p>F4. Ontstaan van het leven De kandidaat kan met behulp van het concept ontstaan van het leven in contexten op het gebied van wereldbeeld benoemen met behulp van welke theorie het voorkomen van leven op Aarde wordt verklaard.</p>	<p>B1. Deeltjesmodellen De kandidaat kan deeltjesmodellen beschrijven en gebruiken.</p> <p>B4. Bindingen, structuren en eigenschappen De kandidaat kan op basis van kennis van structuren en de bindingen in en tussen deeltjes eigenschappen van stoffen en materialen verklaren en omgekeerd vanuit de eigenschappen van stoffen of materialen structuren voorspellen.</p> <p>C5. Chemisch evenwicht De kandidaat kan aangeven of er sprake is van evenwicht, kan berekeningen uitvoeren aan evenwichten, en kan verklaren hoe de ligging van een evenwicht kan worden beïnvloed.</p> <p>D4. Molecular modelling De kandidaat kan een reactiemechanisme opstellen met gebruik van onder andere “molecular modelling”, en daarbij, indien van toepassing, kennis van katalyse gebruiken.</p>
CE/SE	SE	CE (B1, B4, C5) / SE (D4)
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, waarbij kennis van stoffen en chemische reacties (samenstelling atmosfeer, chemische reacties binnen atmosfeer en tussen atmosfeer en aarde) nodig is om de condities te beschrijven waaronder het leven zich kon ontwikkelen.	
Module	<i>Evolutiebiologie</i>	<i>Denken in oplossingen, ontwikkelen van wetenschap</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van wereldbeeld.	Ontwikkeling van wetenschap.
Concepten	Evolutie, ontstaan van het leven.	Atoombouw / periodiek systeem, reactievergelijkingen.

3. Biologie - NLT

1. Klimaatverandering

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B8. Regulatie van ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten energiestroom, kringloop, dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld verklaren op welke wijze ecosystemen zichzelf reguleren; de kandidaat kan beargumenteren welke effecten op kunnen treden als zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde wordt verstoord, en kan beargumenteren met welke maatregelen de mens zelfregulatie van ecosystemen en het systeem Aarde kan beïnvloeden.</p> <p>C3. Zelforganisatie van ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten dynamiek en evenwicht in contexten op het gebied van duurzaamheid en wereldbeeld benoemen op welke wijze ecosystemen zich kunnen ontwikkelen en beargumenteren met welke maatregelen de mens de zelforganisatie van ecosystemen en het systeem Aarde beïnvloedt.</p> <p>D5. Interactie in ecosystemen De kandidaat kan met behulp van de concepten voedselrelatie en interactie met (a-)biotische factoren in contexten op het gebied van duurzaamheid, energie en voedselproductie benoemen welke relaties tussen populaties en ecosystemen bestaan en beargumenteren op welke wijze vraagstukken die daar betrekking op hebben, kunnen worden benaderd.</p>	<p>C1. Processen in levende natuur, aarde en ruimte De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen bij het verklaren van interdisciplinaire processen op het gebied van de studie van de levende natuur, aardwetenschappen en ruimtewetenschappen.</p> <p>C2. Duurzaamheid De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten gebruiken bij het analyseren van interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het duurzaam gebruik van grondstoffen, energie en ruimte.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, biologie als voorkennis voor NLT.	

Module	<i>Modelleren aan ecologie Natuur dichterbij, natuur verder weg</i>	<i>Klimaatverandering, als het noord-poolgebied opwarmt</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid.	Gevolgen van klimaatverandering voor poolgebied en zijn bewoners.
Concepten	Duurzame ontwikkeling, ecosysteem, interactie met abiotische/biotische factoren, voedselweb.	Klimaatverandering, ecosysteem, abiotische/biotische factoren, voedselweb.

2. Plantengroei

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B3. Stofwisseling van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten orgaan, fotosynthese, ademhaling, vertering, uitscheiding en transport in contexten op het gebied van energie, gezondheid, voeding en voedselproductie verklaren op welke wijze de stofwisseling van organismen verloopt en beargumenteren op welke wijze stoornissen daarin kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p> <p>C2. Zelforganisatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van het concept levenscyclus in contexten op het gebied van gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze de ontwikkeling van organismen verloopt, verklaren op welke wijze verstoringen van de ontwikkeling ontstaan en beargumenteren op welke wijze deze kunnen worden voorkomen of worden aangepakt.</p>	<p>C1. Processen in levende natuur, aarde en ruimte De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen bij het verklaren van interdisciplinaire processen op het gebied van de studie van de levende natuur, aardwetenschappen en ruimtewetenschappen.</p> <p>C2. Duurzaamheid De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten gebruiken bij het analyseren van interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het duurzaam gebruik van grondstoffen, energie en ruimte.</p>
CE/SE	CE (B3) / SE (C2)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang. NLT verdiepend t.o.v. biologie (fotosynthese).	
Module	<i>Planten</i>	<i>Brandstof voor het leven</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid en voeding.	Glastuinbouw.
Concepten	Fotosynthese, groei.	Fotosynthese, groei, biobrandstof.

3. Leren

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B4. Zelfregulatie van het organisme De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, hormonale regulatie en neurale regulatie in contexten op het gebied van gezondheid, sport en voeding verklaren op welke wijze zelfregulatie bij eukaryoten verloopt en argumenteren op welke wijze daarin stoornissen kunnen ontstaan en op welke wijze deze kunnen worden aangepakt.</p> <p>D3. Gedrag en interactie De kandidaat kan met behulp van de concepten gedrag en interactie met (a-)biotische factoren in contexten op het gebied van communicatie, duurzaamheid, gezondheid en veiligheid verklaren op welke wijze gedrag van organismen en populaties ontstaat, benoemen wat de functie van het gedrag is en benoemen op welke wijze het zich ontwikkelt.</p>	<p>D1. De gezonde en zieke mens De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten gebruiken bij het verklaren van interdisciplinaire processen in het menselijk lichaam (bij gezonde en zieke mensen), en bij het analyseren van interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot bescherming, diagnose, genezing, verzorging of revalidatie van mensen.</p>
CE/SE	CE (B4) / SE (D3)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, biologie als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Hersenen en leren</i>	
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van gezondheid.	Leren.
Concepten	Zenuwstelsel, gedrag.	Zenuwstelsel, neurale netwerken, leren.

4. Bio-informatica

	Biologie	NLT
Eindtermen	<p>B2. Stofwisseling van de cel De kandidaat kan met behulp van de concepten homeostase, transport, assimilatie en dissimilatie in contexten op het gebied van energie, gezondheid, duurzaamheid en voeding verklaren op welke wijze de stofwisseling van cellen van prokaryoten en eukaryoten verloopt.</p>	<p>C1. Processen in levende natuur, aarde en ruimte De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen bij het verklaren van interdisciplinaire processen op het gebied van de studie van de levende natuur, aardwetenschappen en ruimtewetenschappen.</p>

Eindtermen	<p>C.1 Zelforganisatie van cellen De kandidaat kan met behulp van de concepten genexpressie en celdifferentiatie in contexten op het gebied van energie, gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze de ontwikkeling van cellen verloopt en beargumenteren op welke wijze stoornissen in de ontwikkeling kunnen ontstaan en worden aangepakt.</p> <p>E1. DNA-replicatie De kandidaat kan met behulp van het concept DNA-replicatie in contexten op het gebied van veiligheid, energie, gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze erfelijke materiaal wordt gereproduceerd.</p> <p>E2. Levenscyclus van de cel De kandidaat kan met behulp van het concept celcyclus in contexten op het gebied van energie, gezondheid en voedselproductie benoemen op welke wijze reproductie van cellen verloopt en beargumenteren op welke wijze daarbij optredende verstoringen kunnen worden voorkomen of aangepakt.</p> <p>F1. Selectie De kandidaat kan met behulp van de concepten DNA, mutatie, genetische variatie, recombinatie en populatie in contexten op het gebied van duurzaamheid, gezondheid en voedselproductie verklaren op welke wijze variatie in populaties tot stand komt.</p>	<p>F1. Fundamentele theorieën De kandidaat kan een aantal voor de natuurwetenschap belangrijke recente theorieën benoemen en kan concepten uit een of meerdere van deze theorieën toepassen op natuurwetenschappelijke of technologische vraagstukken.</p>
CE/SE	CE (B2, C1, F1) / SE (E1, E2)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang. NLT verdiepend t.o.v. biologie.	
Module	<i>Celdeling en DNA</i> <i>Erfelijk ziek</i>	<i>Bio-informatica: DNA on a string</i>
Contexten	Wetenschappelijke contexten op het gebied van gezondheid en voeding.	Syndroom van Rett.
Concepten	Erfelijkheid, DNA-replicatie.	Erfelijkheid, chromosomen, mutaties, DNA, DNA-replicatie, genexpressie.

4. Natuurkunde - scheikunde

1. Stoffen en materialen

	Natuurkunde	Scheikunde
Eindterm	<p>E1. Eigenschappen van stoffen en materialen</p> <p>De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.</p>	<p>B4. Bindingen, structuren en eigenschappen</p> <p>De kandidaat kan op basis van kennis van structuren en de bindingen in en tussen deeltjes eigenschappen van stoffen en materialen verklaren en omgekeerd vanuit de eigenschappen van stoffen of materialen structuren voorspellen.</p> <p>C4. Reactiekinetiek</p> <p>De kandidaat kan op basis van kennis van reactiekinetiek chemische processen analyseren, onder andere door de concentratie van aanwezige stoffen en deeltjes te berekenen, en kan aangeven welke rol katalyse speelt.</p> <p>E1. Chemisch onderzoek</p> <p>De kandidaat kan met behulp van kennis van chemische processen in een beschreven onderzoek ten minste in de context van gezondheid, materialen of voedselproductie aangeven hoe die kennis wordt gebruikt.</p> <p>F4. Risico en veiligheid</p> <p>De kandidaat kan kennis van risico en veiligheid gebruiken en kan daarmee in industriële productieprocessen die aspecten beoordelen.</p>
CE/SE	CE	CE (B4, C4, E1) / SE (F4)
Typering samenhang	<p>In het verklaren van eigenschappen van stoffen en materialen gebruiken natuurkunde en scheikunde een gemeenschappelijk model voor de structuur van de materie. In de ontwikkeling van materialen spelen de beelden van de deeltjesmodellen een grote rol en gaat het vaak over de krachten tussen deeltjes en moleculen en de bindingsenergie.</p> <p>De scheikunde houdt zich daarnaast ook bezig met andere eigenschappen van stoffen en materialen, waarbij er een relatie wordt gelegd met biochemische eigenschappen en toepassingen en gebruik van organische stoffen zoals het geval is bij wasmiddelen, zoetstoffen, sportdranken en voedingssupplementen etc.</p>	

Module	<i>Eigenschappen van stoffen en materialen</i>	<i>Nanocoatings Smart materials Mossellijm</i>
Contexten	Wetenschappelijke en maatschappelijke contexten op het gebied van materialen.	Wetenschappelijke ontwikkelingen in de nanotechnologie, polymeerchemie, organische zonnecellen.
Concepten	Continuümmodel, deeltjesmodel, microscopisch, macroscopisch, wet van Avogadro, moleculaire beweging, elektronenschil.	Atoommodellen, hydrofoob/hydrofiel, additiereacties, polymeren en stroomgeleiding, reactiesnelheid, redoxreacties en redoxpotentiaal.
Opmerking	Gezien de aandacht in een aantal scheikundemodules voor innovatieve materialen geschikt voor het menselijk lichaam en toepasbaar in de biochemie zijn de eindtermen C4 en F4 ook bruikbaar voor de samenhang met biologie.	

2. Energieomzettingen

	Natuurkunde	Scheikunde
Eindterm	<p>C2. Energie en wisselwerking De kandidaat kan in contexten de begrippen energiebehoud, rendement, arbeid en warmte gebruiken om energieomzettingen te beschrijven en te analyseren.</p> <p>E1. Eigenschappen van stoffen en materialen De kandidaat kan in contexten fysische eigenschappen van stoffen en materialen beschrijven en kan deze eigenschappen verklaren en analyseren aan de hand van deeltjesmodellen.</p>	<p>C3. Behoudswetten en kringlopen De kandidaat kan verbanden leggen tussen behoudswetten en chemische processen, en kan deze verbanden relateren aan kringlopen.</p> <p>C5. Chemisch evenwicht De kandidaat kan aangeven of er sprake is van evenwicht, kan berekeningen uitvoeren aan evenwichten, en kan verklaren hoe de ligging van een evenwicht kan worden beïnvloed.</p> <p>G4. Milieueisen De kandidaat kan met behulp van kennis van grootschalige chemische processen beschrijven welke kwaliteiten van water, lucht, bodem en voedsel op welke wijze worden gewaarborgd en kan voorgestelde aanpassingen beoordelen.</p> <p>G5. Bedrijfsprocessen De kandidaat kan met behulp van chemische kennis ten minste in de context van duurzaamheid een voorbeeld uit de Nederlandse chemische industrie analyseren en aangeven wat de bijdrage is van het bedrijfsproces aan lokale en mondiale kwaliteit van leven.</p>

CE/SE	CE	CE (C3, C5) / SE (G4, G5)
Typering samenhang	In de energievoorziening als maatschappelijke activiteit worden dikwijls energieomzettingen gebruikt op basis van verbranding. De scheikunde biedt inzicht in de details en mogelijkheden daarvan, evenals in de vervuilingsaspecten van die omzettingen (m.n. CO ₂) en manieren om die te beperken.	
Module	<i>Wisselwerking en beweging,</i> delen 5 en 6	<i>Zonne-energie, eeuwig maar moeilijk Energie om mee te nemen Kolenvergasser</i>
Contexten	Wetenschappelijke en maatschappelijke contexten op het gebied van duurzaamheid.	CO ₂ -afvangen, kolenvergassing, brandstofcel.
Concepten	Energieomzetting, energieopslag, kwaliteit van energie.	Redoxpotentiaal, elektrodepotentiaal, chemisch evenwicht, thermodynamica.

5. Natuurkunde - NLT

1. Technisch ontwerpen

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>A6. Ontwerpen 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.</p> <p>G1. Biofysica De kandidaat kan in de context van levende systemen fysische verschijnselen en processen beschrijven, analyseren en verklaren.</p>	<p>A6. Ontwerpen 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.</p> <p>E1. Methoden en technieken van technologische ontwikkeling De kandidaat kan een aantal voor recente technologieën belangrijke methoden en technieken benoemen en kan een of meer daarvan toepassen op interdisciplinaire (ontwerp)vraagstukken.</p>
CE/SE	CE (A6) / SE (A6, G1)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Leven en natuurkunde</i>	<i>Technisch ontwerpen in de biomedische technologie</i>
Contexten	Technisch ontwerpen voor biomedische problemen.	
Concepten	Technische ontwerpcyclus.	Technische ontwerpcyclus, biomedische aanpassingen.

2. Kernfusie

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>D2. Elektrische en magnetische velden De kandidaat kan in contexten elektromagnetische verschijnselen beschrijven, analyseren en verklaren met behulp van elektrische en magnetische velden.</p> <p>E3. Kern- en deeltjesprocessen De kandidaat kan in contexten behoudswetten en de equivalentie van massa en energie gebruiken in het beschrijven en analyseren van deeltjes- en kernprocessen.</p>	<p>C1. Processen in levende natuur, aarde en ruimte De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen bij het verklaren van interdisciplinaire processen op het gebied van de studie van de levende natuur, aardwetenschappen en ruimtewetenschappen.</p>
CE/SE	CE (D2) / SE (E3)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<p>D2: Elektrische en magnetische velden E3: Deeltjes en hun wisselwerking</p>	<i>Kernfusie</i>
Contexten	Het ontwerpen van een fusiereactor.	
Concepten	Energie, vermogen, kernreactie, kernfusie, geladen deeltjes in magneetvelden.	Energie, energiebronnen, kernfusie, bindingsenergie, activeringsenergie, plasma, fusiecentrale.

3. Zwarte gaten

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>C3. Gravitatie De kandidaat kan bewegingen in het heelal analyseren en verklaren aan de hand van de gravitatiewisselwerking.</p>	<p>C1. Processen in levende natuur, aarde en ruimte De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten toepassen bij het verklaren van interdisciplinaire processen op het gebied van de studie van de levende natuur, aardwetenschappen en ruimtewetenschappen.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module		<i>Meten aan melkwegstelsels</i>
Contexten	Het midden van het melkwegstelsel.	
Concepten	Gravitatie.	Gravitatie, zwarte gaten, wetten van Kepler.

4. Holografie

	Natuurkunde	NLT
Eindtermen	<p>B1. Informatieoverdracht</p> <p>De kandidaat kan in contexten eigenschappen van trillingen en golven gebruiken bij het analyseren en verklaren van informatieoverdracht.</p>	<p>E1. Methoden en technieken van technologische ontwikkeling</p> <p>De kandidaat kan een aantal voor recente technologieën belangrijke methoden en technieken benoemen en kan een of meer daarvan toepassen op interdisciplinaire (ontwerp)vraagstukken.</p> <p>F1. Fundamentele theorieën</p> <p>De kandidaat kan een aantal voor de natuurwetenschap belangrijke recente theorieën benoemen en kan concepten uit een of meerdere van deze theorieën toepassen op natuurwetenschappelijke of technologische vraagstukken.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, natuurkunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Communicatie</i>	<i>Holografie</i>
Contexten	Werking en productie van hologrammen.	
Concepten	Trillingen, golven, interferentie.	Buiging, interferentie, tralies.

6. Scheikunde - NLT

1. Innovatieve reactoren

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>C7. Classificatie van reacties De kandidaat kan reacties classificeren en naar kenmerken beschrijven.</p> <p>C8. Technologische aspecten De kandidaat kan in contexten van technologische aard aspecten van schaal, verandering en reactiviteit herkennen en toelichten.</p> <p>G4. Milieueisen De kandidaat kan met behulp van kennis van grootschalige chemische processen beschrijven welke kwaliteiten van water, lucht, bodem en voedsel op welke wijze worden gewaarborgd en kan voorgestelde aanpassingen beoordelen.</p>	<p>E1. Methoden en technieken van technologische ontwikkeling De kandidaat kan een aantal voor recente technologieën belangrijke methoden en technieken benoemen en kan een of meer daarvan toepassen op interdisciplinaire (ontwerp)vraagstukken.</p> <p>E2. Processen en producten De kandidaat kan een actueel technologisch proces of product beschrijven en daarbij de bouw of werking ervan analyseren aan de hand van relevante natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten.</p>
CE/SE	SE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Oude brandstof in nieuwe vaten?</i>	
Contexten	Experimentele en industriële reactoren.	
Concepten	Batchreactor, evenwichten.	Reactortypen, chemische reactorproblemen.

2. Waterstoftechnologie

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>C5. Chemisch evenwicht De kandidaat kan aangeven of er sprake is van evenwicht, kan berekeningen uitvoeren aan evenwichten, en kan verklaren hoe de ligging van een evenwicht kan worden beïnvloed.</p> <p>C6. Energieberekeningen De kandidaat kan berekeningen maken over energieomzettingen en energie-uitwisseling bij chemische processen en hieruit conclusies trekken en voorstellen formuleren.</p> <p>G5. Bedrijfsprocessen De kandidaat kan met behulp van chemische kennis ten minste in de context van duurzaamheid een voorbeeld uit de Nederlandse chemische industrie analyseren en aangeven wat de bijdrage is van het bedrijfsproces aan lokale en mondiale kwaliteit van leven.</p>	<p>C2. Duurzaamheid De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten gebruiken bij het analyseren van interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het duurzaam gebruik van grondstoffen, energie en ruimte.</p> <p>E2. Processen en producten De kandidaat kan een actueel technologisch proces of product beschrijven en daarbij de bouw of werking ervan analyseren aan de hand van relevante natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten.</p>
CE/SE	CE (C5, C6) / SE (G5)	CE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>De scooter van de 21^e eeuw Energie om mee te nemen</i>	<i>De waterstofauto binnenstebuiten</i>
Contexten	Waterstof als energiedrager.	
Concepten	Bindingen, elektronegativiteit, redoxreacties.	Waterstofbrandstofcel, bindingstypen.

3. Fotosynthese

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>E4. Nieuwe materialen De kandidaat kan met behulp van kennis van de chemische industrie ten minste in de context van geneesmiddelen, voeding of materialen toelichten hoe nieuwe toepassingen in bestaande en in nieuwe markten worden ontwikkeld.</p> <p>G1. Chemie van het leven De kandidaat kan kennis van chemische processen in levende organismen beschrijven en gebruiken.</p> <p>G4. Milieueisen De kandidaat kan met behulp van kennis van grootschalige chemische processen beschrijven welke kwaliteiten van water, lucht, bodem en voedsel op welke wijze worden gewaarborgd en kan voorgestelde aanpassingen beoordelen.</p>	<p>C2. Duurzaamheid De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten gebruiken bij het analyseren van interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot het duurzaam gebruik van grondstoffen, energie en ruimte.</p>
CE/SE	CE (G1) / SE (E4, G4)	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Brandstof voor het leven</i>	
Contexten	Fotosynthese.	
Concepten	Fotosynthese, biobrandstof, biodiesel.	Brandstoffen, biobrandstof, fotosynthese, fotosystemen.

4. Biosensoren

	Scheikunde	NLT
Eindtermen	<p>C3. Behoudswetten en kringlopen De kandidaat kan verbanden leggen tussen behoudswetten en chemische processen, en kan deze verbanden relateren aan kringlopen.</p> <p>C4. Reactiekinetiek De kandidaat kan op basis van kennis van reactiekinetiek chemische processen analyseren, onder andere door de concentratie van aanwezige stoffen en deeltjes te berekenen, en kan aangeven welke rol katalyse speelt.</p> <p>C5. Chemisch evenwicht De kandidaat kan aangeven of er sprake is van evenwicht, kan berekeningen uitvoeren aan evenwichten, en kan verklaren hoe de ligging van een evenwicht kan worden beïnvloed.</p> <p>E1. Chemisch onderzoek De kandidaat kan met behulp van kennis van chemische processen in een beschreven onderzoek ten minste in de context van gezondheid, materialen of voedselproductie aangeven hoe die kennis wordt gebruikt.</p>	<p>D1. De gezonde en zieke mens De kandidaat kan natuurwetenschappelijke en wiskundige concepten gebruiken bij het verklaren van interdisciplinaire processen in het menselijk lichaam (bij gezonde en zieke mensen), en bij het analyseren van interdisciplinaire vraagstukken met betrekking tot bescherming, diagnose, genezing, verzorging of revalidatie van mensen.</p>
CE/SE	CE	SE
Typering samenhang	Conceptuele samenhang, scheikunde als voorkennis voor NLT.	
Module	<i>Biosensoren</i>	
Contexten	Ontwikkeling van biosensoren.	
Concepten	Molecuulstructuur eiwitten, redox-reacties.	Biomarker, specificiteit, sensitiviteit.

Bijlage 3 **Commentaar**

Op een conceptversie van hoofdstuk 2 van deze notitie is behalve door de vakvernieuwingscommissies commentaar gegeven door onderstaande mensen, werkzaam in wetenschappelijk onderzoek en technologie.

Benaderd door de Stuurgroep Nieuwe Scheikunde

- Prof.ir. Karel Luyben, Faculteit Technische Natuurwetenschappen, Technische Universiteit Delft
- Prof.dr. Bert Meijer, Faculteit Scheikundige Technologie, Technische Universiteit Eindhoven
- Prof.dr.ir. Adri Minnaard, Faculteit Wiskunde en Natuurwetenschappen, Rijksuniversiteit Groningen
- Prof.dr. Roeland Nolte, Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica, Radboud Universiteit Nijmegen

Benaderd door de Commissie Vernieuwing Biologie Onderwijs

- Prof.dr. Stanley Brul, voorzitter van het NIBI, hoogleraar Moleculaire Biologie en Microbiele Voedselveiligheid, Universiteit van Amsterdam
- Prof.dr.ir. Rudy Rabbinge, voorzitter van de Raad voor Aard- en Levenswetenschappen van de KNAW, universiteitshoogleraar Duurzame Ontwikkeling en Voedselzekerheid, Wageningen University & Research centre

Benaderd door de Commissie Vernieuwing Natuurkundeonderwijs

- Prof.dr. Karel Gaemers, Nationaal instituut voor subatomaire fysica (NIKHEF), Amsterdam
- Prof.dr. Edward Groenen, Huygens Laboratorium, Faculteit der Wiskunde en Natuurwetenschappen, Universiteit Leiden; voorzitter syllabuscommissie Nieuwe Natuurkunde
- Prof.dr. Herbert Löhner, Kernfysisch Versneller Instituut (KVI), Groningen

Benaderd door de Stuurgroep NLT

- Prof.dr. Dennis Dieks, Instituut voor Geschiedenis en Grondslagen, Departement Natuur- en Sterrenkunde, Faculteit Bètawetenschappen, Universiteit Utrecht
- Prof.dr. Bert Theunissen, Instituut voor Geschiedenis en Grondslagen, Departement Natuur- en Sterrenkunde, Faculteit Bètawetenschappen, Universiteit Utrecht

- Prof.dr. Roel van Driel, Nuclear Organisation Group (NOG), Swammerdam Institute for Life Sciences (SILS), Faculteit der Natuurwetenschappen, Wiskunde en Informatica, Universiteit van Amsterdam
- Dr.ir. Fokko Jan Dijksterhuis, Department of Science, Technology, and Policy Studies, Universiteit Twente
- Prof.dr. Thijs Michels, afdeling Theory of Polymers and Soft Matter, Faculteit Technische Natuurkunde, Technische Universiteit Eindhoven

