

Docentenhandleiding

Synthetische biologie

Wat is er mogelijk en wenselijk?



Colofon



Universiteit Utrecht



Freudenthal Instituut
voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen

v3.1

Deze lesmodule is ontwikkeld door het Freudenthal Instituut voor Didactiek van Wiskunde en Natuurwetenschappen, in het kader van het Europese project SYNENERGENE.

Auteurs

Miranda Overbeek, Marie-Christine Knippels, Dirk Jan Boerwinkel,
Liesbeth de Bakker, Vera Weetzel, Michiel van Harskamp.
Met dank aan Wouter Spoor.

Illustraties

Jenty Heijstek

Vormgeving

Miranda Overbeek

Op deze lesmodule is de Creative Commons Naamsvermelding Niet-commercieel Gelijk delen 3.0 Nederland Licentie van toepassing (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl>).

Voor vragen of opmerkingen kunt u contact opnemen met het Freudenthal Instituut (fisme@science.uu.nl).



Deze lesmodule is ontwikkeld met subsidie van het 'European Union's Seventh Framework Programme for research, technological development and demonstration' (subsidieovereenkomst nummer: 321488).

Inhoud

Niveau en leerdoelen.....	4
Inleiding.....	5
Achtergrondinformatie voor de docent.....	5
Opbouw lesmodule.....	6
Instructies per les.....	7
Antwoorden lesmodule onderdeel 1.....	11
Antwoorden lesmodule onderdeel 3.....	13
Bijlage 1: Alternatief voor onderdeel 2.....	18
Bijlage 2: Hypothetisch Leertraject (HLT).....	20
Bijlage 3: Docententool voor het voeren van een klassikale dialoog.....	24

Niveau en leerdoelen

Niveau	Bovenbouw havo/vwo
Vak	Biologie
Benodigde voorkennis	<p>Voor deze lesmodule moeten leerlingen de volgende thema's afgerond hebben:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Genetica • DNA • Biotechnologie (leerlingen moeten bekend zijn met technieken als de recombinant DNA technologie)
Leerdoelen	<p>Na het doorlopen van de lesmodule kunnen de leerlingen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • omschrijven wat synthetische biologie (synbio) inhoudt. Ze kunnen hierin twee aspecten aangeven: het ontwerpen en vervolgens aanpassen of bouwen van respectievelijk bestaande of nieuwe biologische systemen, en het interdisciplinaire karakter van synbio; • (iGEM-)toepassingen van synbio noemen en herkennen; • de wenselijkheid van synbio-toepassingen doordenken vanuit vijf verschillende perspectieven; • een onderbouwde mening over synbio (toepassingen) geven. • genexpressie en -regulatie uitleggen en toepassen in de context van synbio
Eindtermen	<p>Deze lesmodule sluit o.a. aan bij de volgende (sub)domeinen uit het examenprogramma biologie:</p> <ul style="list-style-type: none"> • A1 Informatievaardigheden gebruiken • A2 Communiceren • A9 Waarderen en oordelen • A14 Systeemdenken • B1 Eiwitsynthese • C1 Zelforganisatie van cellen • C3 Zelforganisatie van ecosystemen • D1 Moleculaire interactie • D2 Cellulaire interactie • E2 Levenscyclus van de cel
Tijd	3 x 50 minuten

Inleiding

Synthetische biologie (synbio) is een nieuw interdisciplinair vakgebied dat sterk in ontwikkeling is. Synbio heeft veel potentie om bijvoorbeeld problemen met betrekking tot gezondheid, voedsel en energie op te lossen, maar er zijn ook mogelijke risico's. In deze lesmodule worden leerlingen begeleid bij het vormen van een mening over synbio. Zij leren wat synbio is en wat de mogelijkheden van synbio zijn. Ook gaan ze in groepjes een toepassing van synbio uitwerken en klassikaal presenteren. De lesmodule wordt afgesloten met een dialoog over de wenselijkheid van de toepassingen. Gedurende de gehele module passen leerlingen hun kennis over genexpressie en -regulatie toe.

Achtergrondinformatie voor de docent

Het interdisciplinaire wetenschapsgebied synbio is sinds een tiental jaren in opkomst, door de samenwerking tussen biologen, engineers en informatici. In de synbio worden bestaande technieken uit de biotechnologie, zoals de recombinant DNA technologie en DNA sequencing, doorontwikkeld zodat bestaande en nieuwe biologische systemen aangepast, ontworpen en gebouwd kunnen worden. Dit wordt ook wel het *engineeren* van biologische systemen genoemd. Waar in de klassieke recombinant DNA technologie de gewenste DNA sequentie uit bestaand DNA moest worden geknipt, kunnen DNA sequenties nu gesynthetiseerd worden, en is het nu mogelijk om het DNA via internet te bestellen. Het DNA kan worden gekozen uit een database of zelf worden ontworpen. Ook zijn BioBricks, gestandaardiseerde DNA onderdelen met een bepaalde functie, beschikbaar. Hiermee kunnen bestaande systemen worden aangepast of nieuwe systemen worden gecreëerd.

Wanneer u meer wilt weten over synbio, kunt u de volgende links bekijken:

- Het virtuele leerplatform over synthetische biologie van het Freudenthal Instituut, met o.a. achtergrondinformatie en werkvormen:
<http://www.fi.uu.nl/synenergine/index.php?language=0&category=0>
- NEMO-Kennislink heeft een themapagina over synbio met achtergrondinformatie, toepassingen en interviews:
<https://www.nemokennislink.nl/kernwoorden/synthetische-biologie>
- Het cahier van de Stichting Biowetenschappen en Maatschappij biedt uitgebreide (achtergrond)informatie over synbio:
http://assets.kennislink.nl/system/files/000/230/891/original/Synthetische_biologie.pdf
- Een maatschappelijke reflectie op de opkomst van synthetische biologie door het Rathenau Instituut:
<https://www.rathenau.nl/nl/files/leven-makenpdf>

Opbouw lesmodule

Voor een uitgebreid overzicht van de lesmodule inclusief de verwachte leeropbrengsten van de verschillende onderdelen, zie het hypothetisch leertraject in bijlage 2 (blz. 20).

Les 1

1	Introductie	5 min	Leerlingen activeren met vraag
2	Filmpje: https://youtu.be/UHBdEwNbXIO	10-15 min	Introductiefilmpje over synbio en invullen techniek/toepassing-tabel
3	Lesmodule onderdeel 1: 'Synthetische biologie: wat is het en wat kan je ermee?'	20-25 min	Inhoudelijk klassikaal onderdeel over de geschiedenis, technieken en toepassingen van synbio
4	Lesmodule onderdeel 2: 'Een iGEM-toepassing van synthetische biologie kiezen'	10 min	Kiezen welke van de vier iGEM- toepassing ze willen uitwerken en een groepje vormen
5	Afsluiting	5 min	Huiswerk: informatie over iGEM-toepassing opzoeken

Les 2

1	Introductie	5 min	
2	Lesmodule onderdeel 3: 'De iGEM-toepassing uitwerken'	15-20 min	Leerlingen werken in hun groepjes de iGEM-toepassing uit a.d.h.v. het huiswerk en onderdeel 3
3	Lesmodule onderdeel 4: 'Hoe wenselijk is jullie iGEM-toepassing?'	15-20 min	Leerlingen denken in hun groepjes na over de wenselijkheid van hun iGEM-toepassing
4	Vorbereiden presentaties	10 min	Tijd in de les om aan de presentaties te werken
5	Afsluiting	5 min	Huiswerk: presentatie afmaken

Les 3

1	Introductie	5 min	
2	Presentaties	20-25 min	Elk groepje presenteert in 5 minuten hun iGEM-toepassing. Leerlingen maken aantekeningen in onderdeel 5 van de lesmodule
3	Korte inhoudelijke nabespreking van de iGEM-toepassingen	5 min	Aan de hand van de typen gebruikte BioBricks
4	Dialogo	15-20 min	Dialogo over de wenselijkheid van de iGEM-toepassingen en synbio in het algemeen. Leerlingen noteren daarna argumenten in onderdeel 5 van de lesmodule
5	Mening over synbio noteren en afsluiting	5-10 min	Leerlingen noteren in lesmodule onderdeel 5 hun mening over de wenselijkheid van synbio en of dit veranderd is t.o.v. les 2

Instructies per les

Les 1

1	Introductie	5 min	Leerlingen activeren met vraag
2	Filmpje: https://youtu.be/UHBdEwNbXI0	10-15 min	Introductiefilmpje over synbio en invullen techniek/toepassing tabel
3	Lesmodule onderdeel 1: 'Synthetische biologie: wat is het en wat kan je ermee?'	20-25 min	Inhoudelijk klassikaal onderdeel over de geschiedenis, technieken en toepassingen van synbio
4	Lesmodule onderdeel 2: 'Een iGEM-toepassing van synthetische biologie kiezen'	10 min	Kiezen welke van de vier iGEM- toepassing ze willen uitwerken en een groepje vormen
5	Afsluiting	5 min	Huiswerk: informatie over iGEM-toepassing opzoeken

Benodigheden

- Smartboard of projector voor filmpje (duur: 6.30 min).
 - Nederlandse ondertiteling is beschikbaar door op het 'CC' icoon te klikken rechtsonder in het YouTube filmpje.
- Lesmodule (1 per leerling), geprint in kleur (i.v.m. leesbaarheid figuren).

1. Introductie (5 min)

- Starten met een vraag om de (voorkennis van de) leerlingen te activeren:
 - Wanneer synbio al eerder in de klas is besproken, bijvoorbeeld: 'Weet je nog wat synthetische biologie is, ...?' of 'Weet iemand een toepassing van synbio?'
 - Wanneer synbio nog niet eerder in de klas is besproken, bijvoorbeeld: 'Heeft iemand weleens gehoord van synthetische biologie?' of 'Heb je een idee wat synthetische biologie zou kunnen zijn, ...?'
- De lesmodule uitdelen, kort introduceren en leerlingen opdracht 1 laten lezen.

2. Filmpje (10-15 min)

- Het filmpje tonen tot 2.50. Hierna vullen leerlingen opdracht 1 in. Vervolgens de rest van het filmpje afspelen, waarna leerlingen de techniek/toepassing tabel van opdracht 1 invullen.

3. Lesmodule onderdeel 1: 'Synthetische biologie: wat is het en wat kan je ermee?' (20-25 min)

- Klassikaal of individueel met de leerlingen onderdeel 1 maken (zie blz. 11 voor de antwoorden).
 - Ook aandacht besteden aan de verschillende weergaven van DNA / genoom in de figuren.

4. Lesmodule onderdeel 2: 'Een iGEM-toepassing van synthetische biologie kiezen' (10 min) *

- Onderdeel 2 kort klassikaal introduceren.
 - Aangeven in welke vorm er gepresenteerd moet worden.
 - Het huiswerk uitleggen en aangeven dat deze huiswerkopdracht onderling verdeeld moet worden.
 - De leerlingen een iGEM-toepassing laten kiezen.
- Leerlingen met dezelfde iGEM-toepassing een groepje laten vormen. Ervoor zorgen dat elk groepje leerlingen ongeveer even groot is.
- De groepjes leerlingen hun aanpak voor het huiswerk laten bespreken.

5. Afsluiting (5 min)

- Het onderling verdelen en maken van het huiswerk benadrukken.

Les 2

1	Introductie	5 min	
2	Lesmodule onderdeel 3: 'De iGEM-toepassing uitwerken'	15-20 min	Leerlingen werken in hun groepjes de iGEM-toepassing uit a.d.h.v. het huiswerk en onderdeel 3
3	Lesmodule onderdeel 4: 'Hoe wenselijk is jullie iGEM-toepassing?'	15-20 min	Leerlingen denken in hun groepjes na over de wenselijkheid van hun iGEM-toepassing
4	Vorbereiden presentaties	10 min	Tijd in de les om aan de presentaties te werken
5	Afsluiting	5 min	Huiswerk: presentatie afmaken

Benodigheden

- Perspectieventabel op A3-formaat (1 per groepje).
- Post-it briefjes (10 per groepje).
- Tafels in groepsopstelling.
- Lesmodule (reeds in bezit van leerlingen).

1. Introductie (5 min)

- Kort herhalen wat er in de vorige les is gedaan en deze les introduceren.

2. Lesmodule onderdeel 3: 'De iGEM-toepassing uitwerken' (15-20 min)

- Onderdeel 3 kort klassikaal introduceren.
- De leerlingen in hun groepje onderdeel 3 laten maken.
- Zie blz. 13 voor voorbeelduitwerkingen van de vier iGEM-toepassingen.

3. Lesmodule onderdeel 4: 'Hoe wenselijk is jullie iGEM-toepassing?' (15-20 min)

- Onderdeel 4 kort klassikaal introduceren.
- De leerlingen onderdeel 4 laten maken. De eerste vraag wordt individueel gemaakt, de overige vragen in het groepje.

4. Vorbereiden presentaties (10 min)

- De leerlingen krijgen tijd in de les om alvast aan hun presentaties te werken.

5. Afsluiting (5 min)

- Huiswerk: Afmaken van de presentaties.

Les 3

1	Introductie	5 min	
2	Presentaties	20-25 min	Elk groepje presenteert in 5 minuten hun iGEM-toepassing. Leerlingen maken aantekeningen in onderdeel 5 van de lesmodule
3	Korte inhoudelijke nabespreking van de iGEM-toepassingen	5 min	Aan de hand van de typen gebruikte BioBricks
4	Dialogoog	15-20 min	Dialogoog over de wenselijkheid van de iGEM-toepassingen en synbio in het algemeen. Leerlingen noteren daarna argumenten in onderdeel 5 van de lesmodule
5	Mening over synbio noteren en afsluiting	5-10 min	Leerlingen noteren in lesmodule onderdeel 5 hun mening over de wenselijkheid van synbio en of dit veranderd is t.o.v. les 2

Benodigheden

- Eventueel smartboard of projector voor PowerPoint, materialen zoals plakband voor het bevestigen van posters of illustraties.
- Schoolbord of whiteboard voor aantekeningen.
- Lesmodule (reeds in bezit van leerlingen).

1. Introductie (5 min)

- Kort herhalen wat er in de vorige les is gedaan en deze les introduceren.

2. Presentaties (20-25 min)

- Elk groepje in 5 minuten hun presentatie laten houden. Na elke presentatie kan een korte verhelderende vraag worden gesteld.
- Leerlingen per presentatie een toepassing, techniek en hun mening laten noteren in onderdeel 5.

3. Korte inhoudelijke nabespreking van de iGEM-toepassingen (5 min)

- Klassikaal nabespreken wat de overeenkomsten en verschillen zijn in de gebruikte technieken / BioBricks bij de iGEM-toepassingen.

In de vier iGEM-toepassingen worden de volgende typen BioBricks gebruikt:

1. Functionele genen die gewenste stoffen produceren (*LactoAid*, *Grätzel cellen*, *BananaGuard* en *Click Coli*).
2. Kill switch of ander systeem dat bacterie met genconstruct doodt als ze niet meer nodig zijn en/of horizontale transfer voorkomt (*Grätzel cellen* en *BananaGuard*).
3. Gen voor fluorescerende kleurstof voor aantonen productie (*LactoAid* en *BananaGuard*).
4. Induceerbare promotor die reageert op stoffen in het milieu (*LactoAid* en *BananaGuard*).
5. Molecuul dat helpt bij membraanpassage (*LactoAid*).
6. Receptor die stoffen in de omgeving herkent en signaal vormt voor promotor (*LactoAid*).
7. Fluorescerende kleurstof gehecht aan stof die bindt aan een te onderzoeken product om na te gaan hoeveel daarvan aanwezig is (*Click Coli*).
8. Afwijkend tRNA synthetase dat afwijkend aminozuur kan inbouwen op een bepaalde genetische code, bijvoorbeeld een code die normaalgesproken een stopcodon oplevert (*Click Coli*).

4. Dialoog (15-20 min)

- Alle stellingen uit de presentaties op het bord schrijven.
- Met de leerlingen klassikaal in dialoog gaan, met als centrale vraag: 'Zijn deze iGEM-toepassingen wenselijk?'
- Beginnen met het één voor één bespreken van de wenselijkheid van de verschillende toepassingen, en daarna de wenselijkheid van synbio in het algemeen bespreken.
- De perspectieventabel gebruiken als ruggengraat voor de dialoog, door de tabel bijvoorbeeld te projecteren. De perspectieventabel kan dan voor twee doeleinden gebruikt worden:
 - Benoemen onder welk perspectief genoemde argumenten vallen.
 - Het dilemma verder doordenken vanuit perspectieven die nog niet aan bod zijn gekomen in de dialoog.
- In de dialoog gaan de leerlingen met elkaar in gesprek, in plaats van dat zij een standpunt moeten verdedigen. Op deze manier is er meer ruimte om naar elkaar te luisteren en van elkaar te leren. Daarvoor is vooral doorvragen van belang.
- Voor handvatten voor het begeleiden van de dialoog kunt u gebruik maken van de 'Docententool voor het voeren van een klassikale dialoog' in bijlage 3 (blz. 24).
- Leerlingen nadat de dialoog is afgelopen argumenten laten noteren in de perspectieventabel in onderdeel 5.

5. Mening over synbio noteren en afsluiting (5-10 min)

- Leerlingen hun mening over de wenselijkheid van synbio laten noteren in onderdeel 5, en of hun mening veranderd is door de presentaties en dialoog.
- Kort samenvatten wat er in de lesmodule is gedaan. Bijvoorbeeld:
 - Geleerd over (toepassingen van) synbio.
 - Door niet alleen over de inhoud maar ook over de wenselijkheid na te denken hebben we nu een completer beeld van synbio, en kunnen we onze mening over synbio beter onderbouwen.
- Eventueel kunnen leerlingen die zich verder willen verdiepen in synbio verwezen worden naar de themapagina van NEMO-Kennislink. Zij kunnen hier meer informatie vinden, en online verder praten over wat zij van synbio en synbio-toepassingen vinden. De link naar de themapagina is: <https://www.nemokennislink.nl/kernwoorden/synthetische-biologie>
- Leerlingen zouden zich verder kunnen verdiepen in de wenselijkheid van synbio bij de vakken Maatschappijleer, Filosofie of Levensbeschouwing.

Antwoorden lesmodule onderdeel 1

'Synthetische biologie: wat is het en wat kan je ermee?'

Opdracht 1

Noteer de technieken en toepassingen van synthetische biologie die in het filmpje genoemd worden. **N.B.** Leerlingen hoeven maar drie technieken en drie toepassingen te noemen.

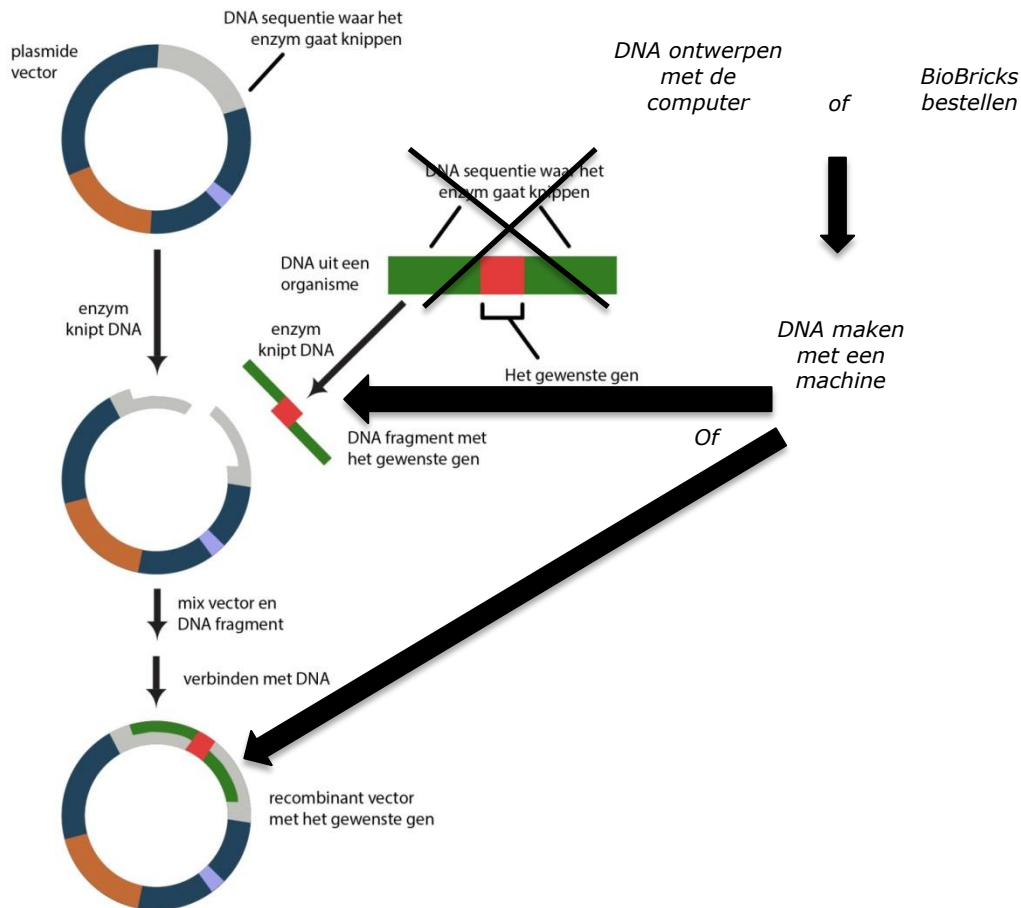
Onderwerpen die in het filmpje worden besproken en hier mogelijk als antwoord gegeven kunnen worden, zijn:

Geschiedenis	Technieken	Toepassingen	Hypothetische toepassingen
<i>Van beschrijvende naar experimentele biologie</i>	GEGEVEN DNA knippen en plakken, recombinant DNA technologie	GEGEVEN E. chromi: detecteert verschillende concentraties van een giftige stof	<i>Algen die CO₂ eten en biobrandstof produceren</i>
<i>Selectief kweken en fokken van planten en dieren</i>	<i>BioBricks: gestandaardiseerde DNA onderdelen / systemen met een bepaalde functie</i>	<i>E. coliroid: werkt als een bacteriële polaroid camera</i>	<i>De 'kliver': een biologisch zeefachtig orgaan dat lever- en niertransplantaties kan vervangen</i>
<i>Ontdekking van DNA als drager van erfelijke eigenschappen</i>	<i>Online DNA bestellen</i>	<i>Artemisinine: een synthetisch malariamedicijn</i>	<i>Plantenzaden die kunnen uitgroeien tot een huis</i>
<i>DNA sequencen</i>	<i>Synthetisch gemaakt DNA</i>	<i>Bacterie met synthetisch genoom</i>	<i>Terravorming op dode planeten zoals Mars</i>
<i>DNA knippen en plakken, recombinant DNA technologie</i>	<i>DNA als programmeertaal</i>	<i>Biobrandstof uit plantenresten door gemodificeerde gist</i>	
<i>Ontrafeling van het humane genoom</i>			

Opdracht 2

Laat zien wat het verschil is tussen de klassieke recombinant DNA technologie en de recombinant DNA technologie zoals deze bij synthetische biologie gebruikt wordt. Verander daartoe figuur 2: laat in deze figuur zien hoe je bij synthetische biologie aan het gewenste gen komt. Je kan hiervoor bijvoorbeeld delen van de figuur wegstrepen of delen eraan toevoegen.

Zie volgende pagina.



Toelichting: Bij synbio hoeft het gewenste gen niet uit bestaand DNA te worden geknipt. In plaats daarvan kan het gewenste gen worden ontworpen met de computer, of geselecteerd worden uit de BioBricks database. Dit wordt dan door een machine geproduceerd. Vervolgens kan het DNA zoals bij de recombinant DNA technologie in de vector worden ingebracht. Ook kan een gehele vector, chromosoom of zelfs genoom op de computer worden ontworpen en door een machine worden geproduceerd.

Opdracht 3

Wat is het voordeel van het inbrengen van een BioBrick in een minimale cel (mogelijke toekomstige methode), vergeleken met het inbrengen van een BioBrick in een bestaand organisme zoals een gistcel (huidige methode)?

Mogelijke antwoorden zijn bijvoorbeeld:

*Minder kans op (negatieve) invloed van andere genen op het gewenste proces.
Efficiëntere productie, omdat de cel zo min mogelijk andere processen uitvoert.*

Antwoorden lesmodule onderdeel 3

'De iGEM-toepassing uitwerken'

Voorbeelduitwerking iGEM-toepassing LactoAid

Opdracht 1. Welk probleem lost de toepassing op en hoe?:

- Welk probleem lost de toepassing op?

Brandwonden hebben een verhoogd risico om geïnfecteerd te raken en worden daarom preventief met antibiotica behandeld. De verbanden worden regelmatig verwisseld om de infecties tegen te gaan. Sommige ziekteverwekkers zijn resistent tegen antibiotica. Binnendringen hiervan in het bloed leidt tot sepsis en is levensgevaarlijk. Juist door het antibioticagebruik neemt resistentie onder ziekteverwekkers toe.

- Hoe lost de toepassing dit probleem op?

De iGEM oplossing bestaat eruit om een verband te behandelen met een bacteriestam die zelf geen infecties veroorzaakt maar wel reageert op de aanwezigheid van pathogene bacterien door het produceren van stoffen die de ziekteverwekker specifiek bestrijden.

- Is er al een andere oplossing voor dit probleem? Zo ja, welke?

Behandeling met antibiotica, wonden verbinden

- Als er al een oplossing is, waarom is de iGEM-toepassing dan een betere oplossing?

Er worden geen antibiotica toegevoegd, maar er plekke geproduceerd door bacterien, daardoor minder kans op resistentie. Verband hoeft niet vervangen te worden.

Opdracht 2. Wat is de toepassing?:

- Hoe heet de toepassing?

LactoAid

- Hoe werkt de toepassing?

LactoAid werkt als volgt: pathogene bacteriën produceren signaal-moleculen waarmee ze onderling communiceren. Bij een bepaalde dichtheid van de bacterie neemt ook dit signaal toe en dat leidt ertoe dat de bacterie vliezen (biofilms) gaat vormen die de bestrijding moeilijker maken.

In de iGEM oplossing wordt een genconstruct ingebracht in de (onschadelijke) Lactobacillus bacterie. Het genconstruct bestaat uit een promotor die op de signaalmoleculen van het pathogeen reageert, en genen die coderen voor stoffen (specifieke antibiotica) die de bacterie doden en remmen. Verbanden die behandeld zijn met deze Lactobacillus produceren dus alleen antibiotica als een

Opdracht 3. Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?:

- Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?

Gebuurde technieken houden in:

- 1. Een promotor ontwerpen die aangeschakeld wordt door signaalmoleculen van de ziekteverwekker*
- 2. Deze promotor in een genconstruct onderbrengen samen met*
 - a. Genen die coderen voor een antibacteriële stof*
 - b. Genen die coderen voor een stof die de antibiotica de cel uit transporteert*
 - c. Een ribosomenbindingsplek*
 - d. Terminator sequenties om het einde aan te geven*
- 3. Het genconstruct inbrengen in een plasmide*
- 4. De plasmide inbrengen in Lactobacillus*

Voorbeelduitwerking iGEM-toepassing Grätzel cellen

1. Welk probleem lost de toepassing op en hoe?:

- Welk probleem lost de toepassing op?

Toegang tot elektriciteit is in landelijke gebieden in ontwikkelingslanden vaak een probleem.

- Hoe lost de toepassing dit probleem op?

Door het ontwikkelen van een zonnecel waarvan het pigment lokaal geproduceerd kan worden en die goedkoop en verplaatsbaar is.

- Is er al een andere oplossing voor dit probleem? Zo ja, welke?

(Niet uit de tekst te halen, maar te bedenken:) Elektriciteit opwekken via generators, windmolens of batterijen

- Als er al een oplossing is, waarom is de iGEM-toepassing dan een betere oplossing?

Generatoren hebben fossiele brandstof nodig, windmolens zijn mogelijk kwetsbaar en niet te vervoeren, batterijen raken op en vervuilen

2. Wat is de toepassing?:

- Hoe heet de toepassing?

Het voorstel heeft geen eigen naam

- Hoe werkt de toepassing?

Het project is gericht op de productie van een pigment Pelargonidine dat licht kan opvangen en binnen een zonnecel elektriciteit kan opwekken. Voor de productie van Pelargonidine zijn zeven enzyme nodig. Deze genen worden ingebouwd in een E. coli bacterie in een genconstruct. Een deel van het genconstruct is een promotor die in normale omstandigheden aangeschakeld wordt door lactose maar hier door een daarop gelijkende stof die niet wordt afgebroken. De promotor blijft dus ingeschakeld. Voor de enzyme wordt verder een moleculaire werkbank (scaffold) geproduceerd waardoor de enzyme zodanig ten opzichte van elkaar liggen dat het product van het ene enzym meteen substraat wordt van het volgende enzym. Verder zit er een 'kill switch' in die de cel doodt zodra er een tekort aan voedingsstoffen ontstaat.

3. Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?:

- Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?

1. *Isoleren van het DNA dat codeert voor de enzymen, vanuit verschillende bronnen*
2. *Deze genen combineren in een genconstruct met een promotor die altijd aangeschakeld is*
3. *Dit genconstruct inbouwen in een E. coli met een moleculaire 'werkbank' (hoe dat laatste gebeurt wordt niet duidelijk uit de tekst)*

Voorbeelduitwerking iGEM-toepassing BananaGuard

1. Welk probleem lost de toepassing op en hoe?:

- Welk probleem lost de toepassing op?
Vrijwel alle bananen zijn steriele klonen van eenzelfde plant, de Cavendish banana. Daardoor zijn ze zeer kwetsbaar voor schimmelziekte, vooral Fusarium die zich nu wereldwijd uitbreidt.
- Hoe lost de toepassing dit probleem op?
Door een bacterie te ontwikkelen die de ziekteverwekkende schimmel kan doden
- Is er al een andere oplossing voor dit probleem? Zo ja, welke?
Spuiten met schimmeldodende middelen werkt niet bij Fusarium, kweken van resistente bananenrassen kan niet doordat ze steriel zijn. Dus nee.
- Als er al een oplossing is, waarom is de iGEM-toepassing dan een betere oplossing?
Niet van toepassing

2. Wat is de toepassing?:

- Hoe heet de toepassing?
Bananaguard
- Hoe werkt de toepassing?
Een bacterie, Pseudomonas putida is gekozen om tot schimmelwerend middel te dienen. Dat gaat via het inbrengen van een genconstruct dat bestaat uit
 - *Een promotor-repressor systeem, dat reageert op de aanwezigheid van een stof die door de ziekteverwekker wordt afgegeven. De stof (fusaric acid) bindt zich aan de repressor die normaal gesproken de promotor afdekt en zet zo de genen die daarachter liggen in werking.*
 - *Genen die coderen voor stoffen die Fusarium aanvallen*
 - *Genen die coderen voor een moleculaire pomp die fusaric acid de cel uitpomp*

Verder worden systemen ingebouwd die de verspreiding van de gemodificeerde bacterie tegengaan als er geen Fusarium meer is
Een kill switch die de bacterie doodmaakt als Fusarium er niet is
Een systeem dat horizontale transfer tegengaat doordat twee plasmiden worden geïntroduceerd die elk de code voor een andere gifstof bevatten maar ook elk de code voor de antistof tegen het gif van de andere plasmide. Alleen bacteriën die beide plasmiden in zich hebben kunnen dus overleven, en horizontale transfer van 1 plasmide zal dus de dood van de ontvangende bacterie betekenen.

3. Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?:

- Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?
 1. *Een promotor-repressorsysteem dat reageert op fusaric acid maken*
 2. *Een genconstruct maken met deze promotor en genen voor anti-Fusarium stoffen*
 3. *Twee plasmiden met codes voor gifstoffen en antistoffen tegen deze gifstoffen*
 4. *Genconstruct inbouwen in de plasmiden*
 5. *Plasmiden inbouwen in de Pseudomonas bacterie*
 6. *Systeem testen door in het genconstruct een gen in te bouwen dat codeert voor een pigment, zodat te zien is als het werkt.*

Voorbeelduitwerking iGEM-toepassing Click Coli

1. Welk probleem lost de toepassing op en hoe?:

- Welk probleem lost de toepassing op?
Genetisch gemodificeerde bacteriën hebben een beperkte capaciteit om te overleven in moeilijke omstandigheden zoals industriële reactoren

- Hoe lost de toepassing dit probleem op?
Een speciale coating van bacteriën die deze beschermt tegen schadelijke invloeden.

- Is er al een andere oplossing voor dit probleem? Zo ja, welke?
Niet bekend

- Als er al een oplossing is, waarom is de iGEM-toepassing dan een betere oplossing?
Niet van toepassing

2. Wat is de toepassing?:

- Hoe heet de toepassing?
Click Coli

- Hoe werkt de toepassing?
De toepassing bestaat uit twee delen; stoffen die de buitenkant van een cel bedekken en een 'haak' bevatten, en een moleculair 'anker' in het membraan waar deze haak aan vastgeklikt kan worden. De 'ankers' bestaan uit eiwitten die azidophenylalanine bevatten, een afwijkend aminozuur dat normaal gesproken niet in eiwitten wordt ingebouwd tenzij een eveneens afwijkend (orthogonal) t-RNA synthetase wordt gebruikt. Dit afwijkende synthetase leest de code op een andere manier af. Waar normaal gesproken TAG een stopcodon is waar geen t-RNA op landt, bindt het afwijkende synthetase hier wel en bouwt het aminozuur azidophenylalanine in. Door nu op bepaalde plaatsen een stopcodon in te bouwen wordt bij aanwezigheid van het afwijkende synthetase hier steeds het eiwit met het afwijkende aminozuur ingebouwd dat het anker vormt en in het membraan wordt ingebouwd. Andere stoffen zoals DCBO 'klikken' aan dit anker. Door aan dit DCBO weer andere stoffen te plakken kunnen allerlei 'coatings' van de bacteriemembraan worden ontworpen. Het systeem kan ook worden getest door aan het DCBO een fluorescerende stof te koppelen.

3. Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?:

- Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?
 1. TAG (stop) codes inbouwen in een sequentie die voor een membraaneiwit codeert
 2. Afwijkend t-RNA synthetase en afwijkend aminozuur azidophenylalanine toevoegen waarbij een membraaneiwit met anker ontstaat
 3. DCBO koppelen aan andere gewenste stoffen
 4. De combinatie DCBO koppelen aan het membraaneiwit met anker

Antwoorden lesmodule onderdeel 4

Hoe wenselijk is jullie iGEM-toepassing?

Opdracht 8

Welke mogelijke gevolgen heeft jullie iGEM-toepassing voor de maatschappij? Verwerk in jullie presentatie minstens één positief en één negatief mogelijk gevolg. Gebruik hierbij ter inspiratie jullie ingevulde perspectieventabel.

LactoAid

- Welk(e) mogelijk(e) positief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
*De oplossing kan leiden tot minder antibioticumgebruik, daardoor tot minder resistentie. Bij afwezigheid van pathogenen is er geen reactie en kan het helingsproces ongehinderd verlopen.
Mogelijk ook minder wisselen van verband nodig.*
- Welk(e) mogelijk(e) negatief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
mogelijk risico van het brengen van bacteriën bij een open wond, bijvoorbeeld bij mensen die een verlaagde immuunreactie hebben.

Grätzel cellen

- Welk(e) mogelijk(e) positief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
Positieve effecten zijn dat op geïsoleerde plaatsen elektriciteit goedkoop en flexibel kan worden opgewekt.
- Welk(e) mogelijk(e) negatief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
Plotselinge toegang tot goedkope elektriciteit kan sociale gevolgen hebben in een gemeenschap zoals afhankelijkheid van elektriciteit, verschuiving in behoeften etc.

BananaGuard

- Welk(e) mogelijk(e) positief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
De gemodificeerde bacterie kan helpen Fusarium te bestrijden
- Welk(e) mogelijk(e) negatief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
Het project zou het invoeren op grote schaal inhouden van een gemodificeerde bacterie, met mogelijk onvoorziene gevolgen.

ClickColi

- Welk(e) mogelijk(e) positief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
Een grotere productie door genetisch gemodificeerde bacteriën doordat ze beter beschermd zijn tegen schadelijke invloeden
- Welk(e) mogelijk(e) negatief(e) gevolg(en) heeft de toepassing?
(Niet uit de tekst te halen, maar te bedenken:) De beschermde bacteriën zijn mogelijk ook moeilijker te bestrijden als ze schadelijk zouden worden.

Bijlage 1: Alternatief voor onderdeel 2

'Een iGEM-toepassing van synthetische biologie kiezen'

ONDERDEEL 2

Bedenk zelf een toepassing van synthetische biologie

Er zijn allerlei toepassingen van synthetische biologie (synbio), zoals artemisinine en bio-ethanol. Waar zou jij synbio voor willen inzetten? Bedenk samen met je groepje een toepassing op basis van synbio. In de derde les gaan jullie deze toepassing aan de klas presenteren.

Wie zitten er in je groepje? Namen:

Hoe?

Een paar manieren om een nieuwe toepassing te bedenken zijn:

- Bedenk een **probleem** dat je wil oplossen. Een probleem is bijvoorbeeld: het medicijn tegen malaria is schaars en daardoor voor veel mensen niet beschikbaar.
- Bedenk een **richting** waarin je een toepassing wil bedenken. De meeste synbio toepassingen worden ontwikkeld in de richtingen: **vaccins**, **medicijnen**, **brandstof** en **voedsel**, maar er zijn natuurlijk ook andere mogelijkheden.
- Denk na over je **eigen leven**. Heb je misschien een allergie waar synbio bij zou kunnen helpen? Of vind je chloor in zwembadwater niet prettig en bedenk je een toepassing waardoor dit niet meer nodig is?

Waar moet je nog meer over nadenken?

- Bedenk hoe de toepassing praktisch gemaakt moet worden. Breng je bijvoorbeeld een **gen** in een cel in, of verwijder je juist een gen of meerdere genen? Maak je gebruik van een **BioBrick** of laat je zelf DNA synthetiseren? Breng je het DNA in in een **gist** of een ander **organisme**?
- Wat ga je maken met synbio? **Moleculen**, **cellen**, **weefsels** of **organismen**?
- Hoe werkt jullie toepassing?

De presentatie

In de derde les moeten jullie met je groepje een presentatie van **5 minuten** houden over jullie toepassing. In de presentatie moeten de volgende vragen beantwoord worden:

1. Welk probleem lost de toepassing op en hoe?
 - Is er al een andere oplossing voor dit probleem? Zo ja, welke? En waarom is jullie toepassing dan een betere oplossing?
2. Wat is de toepassing?
 - Bedenk bijvoorbeeld hoe de toepassing heet, hoe het werkt en hoe het eruit ziet?
3. Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?
 - Maak hier een afbeelding bij ter verduidelijking.
 - Hoe komt het gen/de BioBrick dat nodig is voor de toepassing tot expressie?
4. Wat zijn de gevolgen van de toepassing? → Hier gaan jullie in de volgende les mee aan de slag (in onderdeel 4 'Hoe wenselijk is jullie toepassing?', blz. 14).

Dit is onze toepassing:

Huiswerk

Zoek voor de volgende les informatie op die je nodig hebt om antwoord te kunnen geven op de volgende vragen. Spreek met je groepje af wie wat opzoekt.

- **Welk probleem lost de toepassing op en hoe?** Zoek informatie op over het probleem. Is er al een andere oplossing voor dit probleem? Zo ja, welke? En waarom is jullie toepassing dan een betere oplossing?
- **Met welke techniek(en) is de toepassing gemaakt?** Zoek bijvoorbeeld extra informatie op over de technieken die bij het maken van jullie toepassing gebruikt kunnen worden, zoals recombinant DNA technologie of BioBricks, over de genen die nodig zijn om jullie toepassing te kunnen maken en hoe je er dan voor kunt zorgen dat deze genen tot expressie komen.

Kijk bijvoorbeeld op de volgende websites:

- <https://www.nemokennislink.nl/kernwoorden/synthetische-biologie>
- <https://www.scientias.nl/?s=synthetische+biologie>

Bijlage 2: Hypothetisch Leertraject (HLT)

Een weergave van de verschillende onderwijsleeractiviteiten (OLA's) en hun hypothetische leeropbrengst, met hierbij ook de acties van de docent en van de leerling.

Les 1

	Leeractiviteit	Tijd	Actie van de docent	Actie van de leerling	Hypothetische leeropbrengst
OLA 1	Vraag	3 min	De docent stelt één of twee korte vragen aan de klas om synbio voorkennis te activeren.	Een aantal leerlingen geeft antwoord op de vraag.	De leerling wordt geactiveerd en zal hierna actiever meedoen met de les.
OLA 2	Introductie van les 1	2 min	De docent vertelt kort wat er in de les gedaan wordt. De docent deelt de lesmodule uit.	De leerling luistert naar de uitleg van de docent en stelt eventueel vragen.	De leerling weet wat er gaat gebeuren en waarom (aandacht wordt gericht).
OLA 3	Introductie-filmpje	15 min	De docent laat een filmpje zien over synthetische biologie (https://youtu.be/UHBdEwNbX10), pauzeert bij 2.50.	De leerling kijkt naar het filmpje en vult daarna de techniek/toepassing tabel in.	De interesse van de leerling voor synbio wordt door het filmpje gewekt en de leerling doet eerste kennis op over synbio technieken en toepassingen.
OLA 4	Lesmodule onderdeel 1: 'Synthetische biologie: wat is het en wat kan je ermee?'	25 min	De docent maakt onderdeel 1 van de lesmodule klassikaal met de leerlingen of laat het ze individueel doen.	De leerlingen maken onderdeel 1 van de lesmodule klassikaal of individueel.	De relevante voorkennis van de leerling wordt geactiveerd en zij koppelt hier nieuwe informatie over synbio aan. De leerling weet wat synbio is en weet globaal de geschiedenis en onderliggende technieken van synbio. De interesse van de leerling wordt gewekt door concrete voorbeelden, en zij heeft een beeld van wat voor toepassingen binnen synbio vallen.

OLA 5	Lesmodule onderdeel 2: 'Een iGEM-toepassing van synthetische biologie kiezen'	10 min	De docent introduceert onderdeel 2. De docent zorgt ervoor dat elke leerling een iGEM-toepassing kiest en dat de groepjes leerlingen ongeveer even groot zijn.	De leerlingen lezen de vier iGEM-toepassingen en bepalen welke toepassing ze graag verder uit zouden willen werken. Leerlingen met dezelfde iGEM-toepassing vormen een groepje.	Er zijn maximaal vier groepjes leerlingen gevormd met elk een andere iGEM-toepassing om uit te werken in het vervolg van de lesmodule.
OLA 6	Afsluiting	5 min	De docent vertelt wat er voor de volgende les moet worden voorbereid en beantwoordt vragen.	De leerling luistert, noteert huiswerk en stelt vragen.	De leerling weet wat zij voor de volgende les moet voorbereiden.
HW				Informatie opzoeken over hun iGEM-toepassing aan de hand van de vragen voor de presentatie, de website over de toepassing en de bijbehorende toelichting.	Met de opgezochte informatie kunnen leerlingen in les 2 gelijk aan de slag met onderdeel 3.

Les 2

	Leeractiviteit	Tijd	Actie van de docent	Actie van de leerling	Hypothetische leeropbrengst
OLA 7	Introductie van les 2	5 min	De docent geeft een korte introductie, wat is er de vorige les gebeurd en wat gaan we vandaag doen.	De leerling luistert.	De leerling weet wat er gaat gebeuren en waarom (aandacht wordt gericht).
OLA 8	Lesmodule onderdeel 3: 'De iGEM-toepassing uitwerken'	20 min	De docent introduceert onderdeel 3 en loopt rond voor vragen en tips.	De leerlingen maken in hun groepjes onderdeel 3 over de inhoud van hun iGEM-toepassing.	De leerling activeert en verdiept haar theoretische kennis over synthetische biologie en genexpressie en -regulatie. De leerling leert veel over een specifieke synbio toepassing en techniek.
OLA 9	Lesmodule onderdeel 4: 'Hoe wenselijk is jullie iGEM-toepassing?'	20 min	De docent introduceert onderdeel 4 en loopt rond voor vragen en tips.	De leerlingen werken in hun groepjes aan onderdeel 4 over de wenselijkheid van hun iGEM-toepassing.	De leerling wordt zich bewust van de perspectieven die je kunt gebruiken om een dilemma te doordenken. De leerling denkt na over de voor- en nadelen van de iGEM-toepassing.
OLA 10	Vorbereiden presentaties	10 min	De docent licht toe wat er in de presentatie moet komen en loopt rond voor vragen en tips.	De leerlingen werken in groepjes aan hun presentatie.	De leerling maakt een begin met de presentatie.
OLA 11	Afsluiting	5 min	De docent vertelt wat er voor de volgende les moet worden voorbereid en beantwoordt vragen.	De leerling luistert, noteert huiswerk en stelt vragen.	De leerling weet wat zij voor de volgende les moet voorbereiden.
HW				Presentatie over de iGEM-toepassing afmaken.	

Les 3

	Leeractiviteit	Tijd	Actie van de docent	Actie van de leerling	Hypothetische leeropbrengst
OLA 12	Introductie van les 3	5 min	De docent geeft een korte introductie, wat is er de vorige les gebeurd en wat gaan we vandaag doen.	De leerling luistert.	De leerling weet wat er gaat gebeuren en waarom (aandacht wordt gericht).
OLA 13	Presentaties van de iGEM-toepassingen	25 min	De docent luistert naar de presentaties en houdt de tijd in de gaten (5 min per presentatie). Na elke presentatie is er kort de tijd voor een verhelderende vraag over de inhoud.	De leerlingen geven in hun groepje een presentatie over hun iGEM-toepassing, en maken aantekeningen van de andere presentaties. Na elke presentatie kunnen leerlingen een verhelderende vraag over de inhoud stellen.	De leerling herkent de iGEM-toepassingen van andere groepjes als zijnde synbio toepassingen, doet inhoudelijke kennis op over de iGEM-toepassingen en verdiept haar kennis over genexpressie en -regulatie.
OLA 14	Korte inhoudelijke nabespreking van de iGEM-toepassingen	5 min	De docent bespreekt overeenkomsten tussen de iGEM-toepassingen aan de hand van de typen gebruikte BioBricks.	De leerlingen denken mee.	De leerling verwerft inzicht in de verschillende typen BioBricks en genexpressie/-regulatie.
OLA 15	Dialogo over de wenselijkheid van de iGEM-toepassingen en van synbio in het algemeen	20 min	De docent faciliteert een dialoog over de wenselijkheid van synbio, en laat hierbij o.a. de iGEM-toepassingen aan bod komen (zij noteert op het bord de stellingen die de groepjes bedacht hebben). De docent kan expliciete vragen stellen, bijvoorbeeld a.d.h.v. de perspectieventabel.	Alle leerlingen nemen deel aan de dialoog. De leerlingen brengen argumenten in of stellen vragen. Leerlingen noteren nadat de dialoog is afgelopen argumenten in de perspectieventabel in onderdeel 5 van de lesmodule.	De leerling herkent de perspectieven die in de dialoog genoemd worden. In de dialoog kan de leerling standpunten, argumenten of vragen inbrengen, en deze aan het bijbehorende perspectief koppelen.
OLA 16	Mening over synbio noteren en afsluiting	10 min	De docent vraagt leerlingen hun mening over synbio te noteren. De docent vat samen wat er in de module is besproken en sluit de les af.	Leerlingen noteren hun mening over de wenselijkheid van synbio en of dit veranderd is t.o.v. les 2.	De leerling is zich bewust van haar mening over synbio, of deze veranderd is en waarom.
HW (optioneel)			Verwijs eventueel de leerlingen naar de synbio themapagina op de website van NEMO kennislink. https://www.nemokennislink.nl/kernwoorden/synthetische-biologie	De leerling kan meer informatie over synbio en synbio toepassingen opzoeken en hier online verder over praten.	Extra discussiëren over de wenselijkheid van synbio (toepassingen).

Bijlage 3: Docententool voor het voeren van een klassikale dialoog

Door: Miranda Overbeek, Marie-Christine Knippels en Arend Jan Waarlo (Freudenthal Instituut, 2014)

Wetenschap en technologie zijn continu in ontwikkeling; hoe bereid je leerlingen voor op besluitvorming over *socio-scientific issues* (SSIs) ofwel complexe problemen door wetenschappelijke/technologische ontwikkelingen die invloed hebben op de maatschappij? Eén van de manieren om dit te doen is d.m.v. een klassikale dialoog. Maar hoe pak je dit aan? Deze tool geeft hier handvatten voor, op het gebied van waarden. SSIs bestaan namelijk uit een kennis- en waardencomponent. Deze tool richt zich dus op de waardencomponent en gaat in op:

- Waarom een dialoog?
- Rol van de docent
- Vraagtechnieken
- Frames (referentiekaders)

Waarom een dialoog¹?

Het doel van een dialoog is om met elkaar na te denken over een probleem en elkaar te begrijpen. Een dialoog is dus coöperatief van aard¹. In een dialoog worden leerlingen niet gedwongen om een standpunt te verdedigen, waardoor er gelegenheid is om iets te leren van de perspectieven van de andere leerlingen².

Bij een discussie en debat is het doel om een meningsverschil op te lossen, zodanig dat er uiteindelijk een winnaar is, ook als er bijvoorbeeld meerdere zienswijzen mogelijk zijn. Een discussie en debat zijn dus competitief van aard¹. In een discussie/debat graven mensen zich in in hun eigen standpunten en luisteren daardoor niet meer open naar anderen, waardoor ze niet snel iets leren van het perspectief van de ander².

Daarom is in deze tool voor een dialoog als werkvorm gekozen: een dialoog is meer geschikt om de waarden van leerlingen, die vaak impliciet aanwezig zijn, te verhelderen.

In een dialoog is het volgende van belang:

- Gelijkwaardigheid: alle leerlingen hebben evenveel recht om dingen te zeggen/vragen.
- Wederzijds vertrouwen, respect, openheid en begrip.
- Meninge onderbouwen met argumenten en gezamenlijk de geldigheid van deze redeneringen ontdekken.
- Naar elkaar luisteren en proberen te begrijpen wat de ander wil zeggen.
- Reflecteren op wat er gezegd wordt.
- Met elkaar meedenken over het onderwerp.

Rol van de docent⁴

Afhankelijk van je doel – waardenvorming door transmissie (bepaalde waarden overdragen), door verheldering (leerlingen hun eigen waarden laten ontdekken) of door communicatie (leerlingen leren communiceren over waarden)³ – zijn er verschillende rollen die je als docent in de dialoog kunt vervullen. In onderstaande tabel wordt een overzicht gegeven van deze verschillende rollen en de mate waarin ze geschikt zijn voor waardenvorming door transmissie, verheldering of communicatie. Hierbij geldt: ++ is zeer geschikt, + is redelijk geschikt en – is niet geschikt.

Rol docent	Rolomschrijving	Waardenvorming door:		
		Transmissie	Verheldering	Communicatie
<i>Deelnemer</i>	Je bent vrij om ideeën, meningen en gevoelens te uiten net zoals de leerlingen. Dit kan verwarrend zijn voor leerlingen, omdat docenten de professionals zijn.	+	+	+
<i>Toegewijde leraar</i>	Je draagt je eigen mening uit over het onderwerp. Dit kan leiden tot indoctrinatie.	++	-	-
<i>Waarnemer</i>	Je interfereert niet in de dialoog.	-	+	++
<i>Instructeur</i>	Je verheldert relevante informatie, concepten en ideeën. Je stelt vragen om de mate van begrip te beoordelen. En je geeft positieve of negatieve feedback op de inbreng van leerlingen.	-	+	+
<i>Advocaat van de duivel</i>	Je neemt tegenovergestelde standpunten in om de dialoog te stimuleren.	-	+	++
<i>Advocaat</i>	Je presenteert alle mogelijke gezichtspunten en concludeert met je eigen mening, onderbouwd met argumenten.	+	-	+
<i>Onpartijdige voorzitter / Neutrale facilitator</i>	Je stimuleert leerlingen om bij te dragen aan de dialoog en bewaakt de dialoogregels, maar geeft niet je eigen mening of positieve/negatieve feedback op de inbreng van leerlingen.	-	++	++
<i>Verklaard belanghebbende</i>	Aan het begin van de dialoog verkondig je je eigen standpunt, zodat leerlingen bias van de docent later kunnen beoordelen.	-	+	+

Welke rol neemt u gewoonlijk aan? En zou u dat na het lezen van deze verschillende rollen blijven doen?

In deze docententool gaan wij uit van de rol van de docent als onpartijdige voorzitter / neutrale facilitator in een klassikale dialoog, omdat ons uitgangspunt waardenvorming door verheldering en communicatie is. Waardenvorming op deze manier vraagt het volgende van een docent:

- Zorg voor een open, uitnodigende en veilige atmosfeer.
- Wees onpartijdig.
- Pas vraagtechnieken toe (worden hieronder beschreven).
- Stel uitkomsten van redeneerprocessen door leerlingen vast.

Vraagtechnieken⁵ⁱ

Bij een klassikale dialoog is het van belang dat:

- het voor iedereen duidelijk is wat een leerling probeert te zeggen (**duidelijkheid**).
- naar boven komt waarop leerlingen hun mening baseren, dit kan zowel rationeel als emotioneel/intuïtief zijn (**argumenten**).
 - en de geldigheid hiervan te onderzoeken.
- de vraag waarmee de dialoog gestart is steeds in het oog blijft (**structuur**).

Duidelijkheid: Welke vraag kun je stellen als...

... het niet duidelijk is wat een leerling probeert te zeggen?

- "Kun je dit uitleggen?"
- "Kun je een voorbeeld geven?"
- "Wat bedoel je met ...?"

... je er niet zeker van bent dat je, of de klas, goed begrijpt wat een leerling probeert te zeggen?

- "Bedoel je ... als je zegt dat ...?"
- "Begrijp ik het goed wanneer je zegt dat ...?"

... het niet duidelijk is wat het door een leerling gezegde te maken heeft met het onderwerp van de dialoog?

- "Wat heeft dit te maken met ...?"
- "Hoe komt dit overeen met ...?"
- "Helpt dit ons vooruit met ... in de dialoog?"

Argumenten: Welke vraag kun je stellen als...

... een leerling zijn/haar mening niet onderbouwt?

- "Waarom denk je dat?"
- "Waarop heb je dat gebaseerd?"
- "Kun je dit aantonen?"

ⁱ Alle vragen onder 'vraagtechnieken', m.u.v. de vragen waarachter een andere bron vermeld staat, zijn geciteerd uit pagina 108-112 van: Anthonie, R. & Mortier, F. (1997). Socrates op de speelplaats. Filosoferen met kinderen in de praktijk. Leuven / Amersfoort: Acco.

... een leerling een onjuist argument geeft?

- Vraag aan de klas: "Denkt iemand daar anders over?". En laat ze vervolgens hun mening onderbouwen (zoals hierboven beschreven).
- Vraag aan de klas: "Indien wat X zegt zo is, wat zou daarvan het gevolg kunnen zijn?"
- "Waarop heb je dat gebaseerd?"
- "Kan het tegendeel waar zijn?"
- "Hoe past dit in wat je daarnet zei?"
- Introduceer je eigen mening als hypothese: "Stel dat ..., wat zouden we daarover kunnen zeggen?"

... een leerling een discussiestopper gebruikt⁶?

- Wanneer een leerling een discussiestopper gebruikt zoals "Het is ieders eigen keuze of je de technologie wel of niet gebruikt." of "Je kan de technologische vooruitgang niet stoppen/beïnvloeden.", leg dan uit dat de samenleving en technologie/wetenschap met elkaar verweven zijn en elkaar beïnvloeden: de maatschappij beïnvloedt de wetenschap en de wetenschap beïnvloedt de maatschappij. Twee voorbeelden:
 - De maatschappij beïnvloedt de wetenschap: de maatschappij kan wel degelijk invloed uitoefenen op bijvoorbeeld het gebruik van technologische innovaties. Toen bijvoorbeeld het bedrijf Myriad Genetics een patent aanvraag op alle medische behandelingen die ontwikkeld worden op basis van mutaties in BRCA-1 die zij ontdekken, werkten vele borstkanker patiëntenverenigingen internationaal samen om dit tegen te gaan.
 - De wetenschap beïnvloedt de maatschappij: wetenschap kan o.a. de waarden van de maatschappij veranderen. Door de komst van de anticonceptiepil werd homoseksualiteit bijvoorbeeld meer geaccepteerd, omdat heteroseksuelen nu ook geslachtsgemeenschap konden hebben zonder dat dit als doel voortplanting had.

... een leerling een emotioneel argument geeft?

- Stimuleer leerlingen om naar de waarden achter hun emoties te kijken⁷. Vraag door / reflecteer op de emotie!
 - *Voorbeeld doorvragen:* Een leerling zegt "Ik ben er bang voor." Vraag dan door: "Waar ben je dan bang voor?"⁸.
 - Bij emotionele reflectie is het van belang om zowel eigen emoties als emoties van anderen mee te nemen. *Voorbeeld emotioneel reflecteren:* Een leerling zegt: "Ik ben bang voor de technologie." Om erachter te komen of de leerling echt bang is voor de technologie op zich (dus de gevolgen voor de samenleving), kun je de leerling uitnodigen om m.b.v. emoties een breder perspectief aan te nemen, bijvoorbeeld: leef je in in de positie van mensen die voordeel of nadeel hebben van de technologie. Is de technologie dan aanvaardbaar voor de samenleving of niet⁹?
 - Soms zijn emoties gebaseerd op verkeerde feitelijke informatie. In dat geval is het belangrijk dat dit op feitelijk niveau gecorrigeerd wordt⁸. Tevens kunnen emoties ons blind maken voor kwantitatieve overwegingen, bijvoorbeeld: vliegtuigcrashes komen weinig voor, maar mensen met vliegangst focussen zich hierop. Corrigeer ook deze emoties met feitelijke informatie. Doe dit wel op subtiele wijze, door erkenning te geven/mee te praten, bijvoorbeeld: "Het is inderdaad erg, maar gelukkig komt het niet vaak voor." Dat de kans klein is dat hetgeen waar iemand bang voor is daadwerkelijk gaat gebeuren, hoeft overigens

lang niet altijd te betekenen dat de emotie 'angst' dan irrationeel is. Bijvoorbeeld in het geval van kernenergie: de kans op een kernramp is misschien klein, maar de gevolgen zijn desastreus. Bovendien zijn er alternatieven voor kernenergie⁹.

... een leerling een algemeen argument geeft¹⁰?

- Vraag de leerling om meer specifiek te zijn. Voorbeeld: een leerling zegt "We moeten de autonomie respecteren." Vraag dan bijvoorbeeld: "Wat betekent dat hier in deze situatie?"

... leerlingen elkaars mening/argumentatie niet (willen) begrijpen

- Nodig ze uit het perspectief van de ander in te nemen; laat ze zich in de ander verplaatsen m.b.v. emoties³.
- Leerlingen kunnen verschillende argumentatiepatronen/denkwijzen gebruiken. Als dit de oorzaak is waardoor leerlingen lijnrecht tegenover elkaar staan, maak ze dan duidelijk dat ze beiden gebruik maken van een ander argumentatiepatroon/denkwijze. Er zijn drie argumentatiepatronen/denkwijzen⁴:
 - *Pragmatische argumentatie*: Actie X mag (niet) uitgevoerd worden, omdat X leidt tot de (niet) wenselijke consequentie Y.
 - *Deontologische argumentatie*: Actie X mag (niet) uitgevoerd worden, omdat X (niet) in overeenstemming is met het morele principe Y.
 - *Rechtvaardigheidsargumentatie*: Actie X mag (niet) uitgevoerd worden, omdat actie X zelf of de consequenties van X (niet) rechtvaardig zijn.

Structuur: Welke vraag kun je stellen als...

... je de dialoog af wil ronden?

- "Begrijpen we de kwestie beter?" / "Hebben jullie een helderdere kijk op de zaak gekregen?"
- "Denken sommigen onder jullie er nu anders over dan voorheen?"

... je wil reflecteren op de dialoog?

- "Hebben we alle mogelijkheden onderzocht?"
- "Is dit gesprek af?"

... het onderwerp van de dialoog te ver afwijkt van de oorspronkelijke vraag?

- "Wat heeft dit te maken met wat we eerst bespraken?"
- "Hoe zijn we van ... naar ... gekomen?"

Frames (referentiekaders)¹¹

Frames zijn cognitieve shortcuts, of eigenlijk referentiekaders, die mensen (onbewust) gebruiken om complexe informatie te kunnen begrijpen. Frames zijn gebaseerd op overtuigingen, waarden en ervaringen van iemand. Frames helpen je om informatie te interpreteren en organiseren. Ze zorgen voor een versimpeling van de informatie, door de informatie (onbewust) te filteren: sommige aspecten uit de informatie zie je als belangrijk en andere aspecten laat je buiten beschouwing doordat ze irrelevant lijken of tegen je intuïtie ingaan. Doordat verschillende mensen verschillende frames hebben, kunnen ze dezelfde situatie anders interpreteren. Daardoor kunnen frames een dialoog bemoeilijken¹². Bij een meningsverschil in een dialoog is het daarom van belang om te achterhalen hoe leerlingen de dialoog framen / wat de onderliggende frames zijn. Om hierachter te komen, is doorvragen naar onderliggende overtuigingen/waarden en vervolgens vanuit het perspectief van de ander kijken noodzakelijk (beschreven onder vraagtechnieken).

Naast bovengenoemde *persoonlijke frames*, zijn er ook *mediaframes*. Mediaframes gaan over de manier waarop informatie gepresenteerd wordt in de media: er kunnen (onbewust) aspecten uitgelicht of onderbelicht worden¹³. Mediaframes kun je als docent op twee manieren toepassen in de dialoog:

- In de gaten houden dat je de dialoog niet onbewust frame, bijvoorbeeld door in de inleiding het onderwerp alleen vanuit een economisch perspectief te benaderen.
- Het dialoogonderwerp vanuit verschillende invalshoeken te doordenken / nieuwe perspectieven aan te dragen in de dialoog. Dit kan m.b.v. de voorbeeldvragen uit het onderstaande frameschema, maar ook door bijvoorbeeld te vragen "Als je het nu eens vanuit een economisch perspectief bekijkt, wat vind je er dan van?".

Hieronder volgt een overzicht van mogelijke mediaframes m.b.t. technologische innovaties, met per frame een aantal voorbeeldvragen die gebruikt kunnen worden in de dialoog. Per frame wordt een voorbeeld gegeven vanuit klassikale dialogen over genetische manipulatie (m.u.v. het voorbeeld bij het frame 'wet- en regelgeving' omdat dit frame niet in de klassikale dialogen voorkwam). De frames 'globalisatie' en 'wet- en regelgeving' zal je als docent vaak zelf in moeten brengen, terwijl andere frames meer 'vanzelfsprekend' bij leerlingen aanwezig zijn. De verschillende frames sluiten elkaar niet uit. Sommige frames hebben juist veel met elkaar te maken, dit is in het schema aangegeven met pijlen.

Mediaframe	Omschrijving & voorbeeldvragen	Voorbeeld
Vooruitgang	Wat kan een technologische innovatie opleveren, in termen van vooruitgang? Kleven er ook nadelen aan deze vooruitgang? Het kan hier om allerlei vormen van vooruitgang gaan, bijvoorbeeld: welvaart (samenhang met economisch frame), welzijn (gelukkiger voelen is ook een vooruitgang), goed doen (samenhang met ethisch frame) of schade voorkomen/beperken (samenhang met risicoframe).	"Je kunt het lijden van mensen verminderen (als er bv. geen kanker meer zou zijn)."
Economisch	Wat kan de technologische innovatie opleveren, in termen van economische vooruitgang? En wie hebben daar dan voordeel van? Zijn er ook andere manieren mogelijk om hetzelfde economische voordeel te behalen? Of gaat de economie erop achteruit? En wie hebben daar dan nadeel van? Of heeft het geen effect op de economie?	"Het heeft geen positief effect op het economisch systeem, doordat je overbevolking krijgt als er geen ziektes zijn. De economische crisis zal dan nog groter worden."
Ethisch	Is de technologische innovatie ethisch verantwoord: mag dit wel? Wat zou er allemaal wel en niet moeten kunnen/mogen met de innovatie, denkend vanuit ethische principes? Waar trekken we de grens? Welke risico's die de innovatie met zich meebrengt, zijn acceptabel (ethisch gezien)? Heeft het consequenties als we de innovatie niet uit zouden voeren, doordat potentiële voordelen dan niet gerealiseerd kunnen worden (<i>risk of inaction</i>)? Onder het ethisch frame vallen ook <i>soft impacts</i> ¹⁴ : de technologische innovatie beïnvloedt de waarden (<i>techno-moral change</i>). Voorbeeld: door de komst van de anticonceptiepil werd homoseksualiteit meer geaccepteerd, omdat heteroseksuelen nu ook geslachtsgemeenschap konden hebben zonder dat dit als doel voortplanting had.	"Er moeten grenzen aan zijn. Je uiterlijk veranderen is bijvoorbeeld minder belangrijk dan het genezen/voorkomen van ziektes."
Risico	Bij het risicoframe kunnen <i>soft impacts</i> en <i>hard impacts</i> ¹⁴ onderscheiden worden. <i>Hard impacts</i> zijn meetbare gevolgen van de technologische innovatie. Vragen die hierbij gesteld zouden kunnen worden, zijn: Wat voor risico's zou de innovatie met zich mee kunnen brengen? Wat zijn de risico's voor mens, dier en natuur (<i>bio safety</i>)? Kunnen we de risico's eigenlijk wel voorspellen (<i>unknown risk</i>)? En kunnen we de risico's eigenlijk wel in de hand houden? Wordt de innovatie niet ten kwade ingezet (<i>bio security</i>)? <i>Soft impacts</i> zijn niet-meetbare gevolgen van de technologische innovatie op individuen en maatschappij. Vragen die hierbij gesteld zouden kunnen worden, zijn: Hoe ziet een leerling de innovatie in relatie tot zichzelf / hoe is de innovatie op hem/haar van invloed? Hoe zullen bepaalde groepen over de innovatie denken (stereotypering) / hoe is de innovatie op hen van invloed? Wat is de invloed van de innovatie op normen en waarden van mensen?	"De gevolgen op de lange termijn zijn onduidelijk, er zouden dingen mis kunnen gaan."

Nature-nurture	<p>Heeft de technologische innovatie invloed op nature/nurture? Wordt de invloed van de omgeving bijvoorbeeld verkleind door de innovatie? Zullen genen / genetische variatie veranderen door de innovatie?</p> <p>Bij nature-nurture kunnen twee <i>beheersingsoriëntaties</i> onderscheiden worden: extern (het is het lot, dit is onbeheersbaar = nature georiënteerd) en intern (autonomie, je kunt het zelf beïnvloeden = nurture georiënteerd). Met andere woorden: is iets gegeven of maakbaar? Door ontwikkelingen als genetisch testen, verandert de externe beheersingsoriëntatie (het lot wordt minder onbeheersbaar). Synthetische biologie bijvoorbeeld zorgt voor meer 'maakbaarheid', waardoor de interne beheersingsoriëntatie vergroot wordt.</p>	"Het is de natuur dat er zieke en gezonde mensen zijn, en daar werkt natuurlijke selectie op."
Wet- en regelgeving →	Wie houdt er controle over de technologische innovatie: afremmen indien nodig, reguleren? Zou de bevolking daarin betrokken moeten/kunnen zijn? Is het de verantwoordelijkheid van de maatschappij? Spelen er verschillende belangen op privé en maatschappelijk niveau?	"De overheid was bang dat de therapie zo effectief zou zijn dat wijdverspreid gebruik ervan zou leiden tot overbevolking. Daarom hebben ze gebruik ervan gelimiteerd tot mensen zonder kinderen."
Globalisatie	Wat zijn de gevolgen van de technologische innovatie als je wereldwijd kijkt? Verbetert het de positie van ons land in de wereldeconomie? Hebben derdewereldlanden er baat bij?	"Derdewereldlanden kunnen het niet betalen, waardoor de gewassen alleen naar Europa gaan, de derdewereldlanden er niets aan hebben en je alleen maar nog grotere verschillen krijgt."

Bronnen

1. Smaling, A. (2008). *Dialogo en empathie in de methodologie*. Amsterdam: SWP Humanistics University Press, 22-27
2. Zande, P.A.M. van der (2012). *Beweegredeneren, een werkvorm bij dilemma's in de klas*
3. Zande, P.A.M. van der (2011). *Learners in dialogue: teacher expertise and learning in the context of genetic testing*. Proefschrift
4. Waarlo, A.J., (2014). *Enhancing Socio-Scientific Issues-based Learning in Schools, D2.1 SYN-ENERGENE*, co-funded by the European Commission under the 7th Framework Programme, Karlsruhe, Germany / Utrecht University, Freudenthal Institute for science and mathematics education (NL)
5. Anthone, R. & Mortier, F. (1997). *Socrates op de speelplaats. Filosoferen met kinderen in de praktijk*. Leuven / Amersfoort: Acco.
6. Boerwinkel, D.J., Swierstra, T. & Waarlo, A.J. (2012). Reframing and articulating socio-scientific classroom discourses on genetic testing from an STS perspective. *Science & Education*, 23:2, 485-507
7. Zande, P.A.M. van der, Brekelmans, M., Vermunt, J.D. & Waarlo, A.J. (2009). Moral reasoning in genetics education. *JBE*, 44, 31-36
8. Interview met Sabine Roeser door Arend Jan Waarlo op 7 januari 2014
9. Roeser, S. (2010). Emotional reflection about risks. *The International Library of Ethics, Law and Technology*, 5, 231-244
10. Handleiding moreel beraad
11. Nisbet, M.C. & Lewenstein, B.V. (2002). Biotechnology and the American media - The policy process and the elite press, 1970 to 1999. *Science Communication*, 23(4), 359-391
12. Kaufman, S., Elliott, M. & Shmueli, D. (2003). *Frames, framing and reframing. Beyond Intractability*. Eds. Burgess, G. & Burgess, H.. Conflict Information Consortium, University of Colorado: Boulder
13. Carver, R.B. (2012). *Framing the Gene: A science communication study of how newspapers frame different meanings of the gene concept, with applications for science education*. Proefschrift
14. Boerwinkel, D.J., Swierstra, T.E. & Waarlo, A.J. (2012). Reframing and articulating socio-scientific classroom discourses on genetic testing from an STS perspective. *Science & Education*, 23(2), 485-507