

# ECObrandstoffen

De Delftse Leerlijn  
Module 2

 TU Delft

 VNCI



## Colofon

### ECObrandstoffen

Module 2, ECObrandstoffen, is een vervolg op de module ECOreizen. Beide modules vormen één geheel.

Bij deze module is gebruik gemaakt van materiaal uit de module "Superslurpers" van de Sectie Chemiedidactiek van de Universiteit Utrecht en van materiaal ter beschikking gesteld door het DNA lab "Racen met WC-papier" van de Technische Universiteit Delft.

De module ECObrandstoffen is ontwikkeld door Aonne Kerkstra, Juleke van Rhijn en Jan van Rossum, auteurs van de Delftse Leerlijn.

### Samenwerking

ECObrandstoffen is tot stand gekomen in samenwerking met het Kluyver Centre van de Technische Universiteit Delft en de reizende DNA labs.



### Vormgeving

T2 Ontwerp, Den Haag ([www.t2ontwerp.nl](http://www.t2ontwerp.nl))

© 2010 Technische Universiteit Delft te Delft

Het auteursrecht op dit onderwijsmateriaal voor Nieuwe Scheikunde berust bij de TU Delft. De TU Delft is derhalve de rechthebbende zoals bedoeld in de hieronder vermelde creative commons licentie.

De TU Delft en door hen ingehuurde auteurs hebben bij de ontwikkeling van de module gebruik gemaakt van materiaal van derden. Bij het verkrijgen van toestemming, het achterhalen en voldoen van de rechten op teksten, illustraties, enz. is de grootst mogelijke zorgvuldigheid betracht. Mochten er desondanks personen of instanties zijn die rechten menen te kunnen doen gelden op tekstgedeeltes, illustraties, enz. van een module, dan worden zij verzocht zich in verbinding te stellen met de TU Delft.

Hoewel het onderwijsmateriaal met zorg is samengesteld, is het mogelijk dat deze onjuistheden en/ of onvolledigheden bevatten. De TU Delft aanvaardt derhalve geen enkele aansprakelijkheid voor enige schade, voortkomend uit (het gebruik van) dit materiaal.

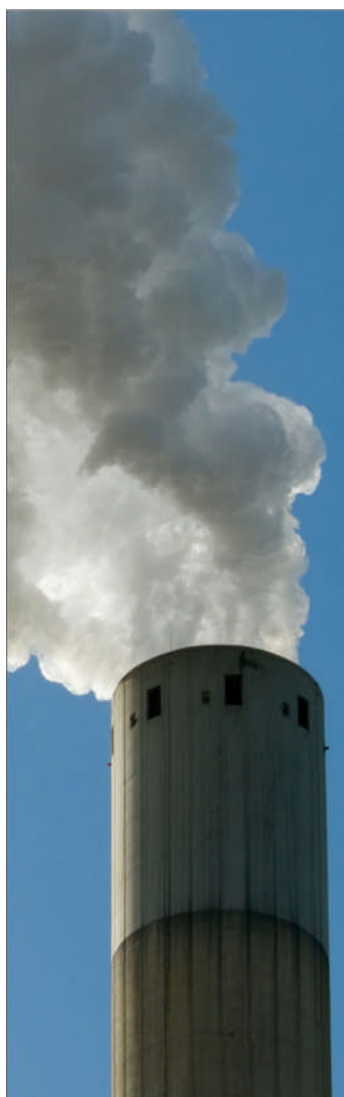
Voor dit onderwijsmateriaal geldt een Creative Commons Naamsvermelding-Niet-Commercieel-Gelijk delen 3.0 Nederland licentie

<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/nl/>

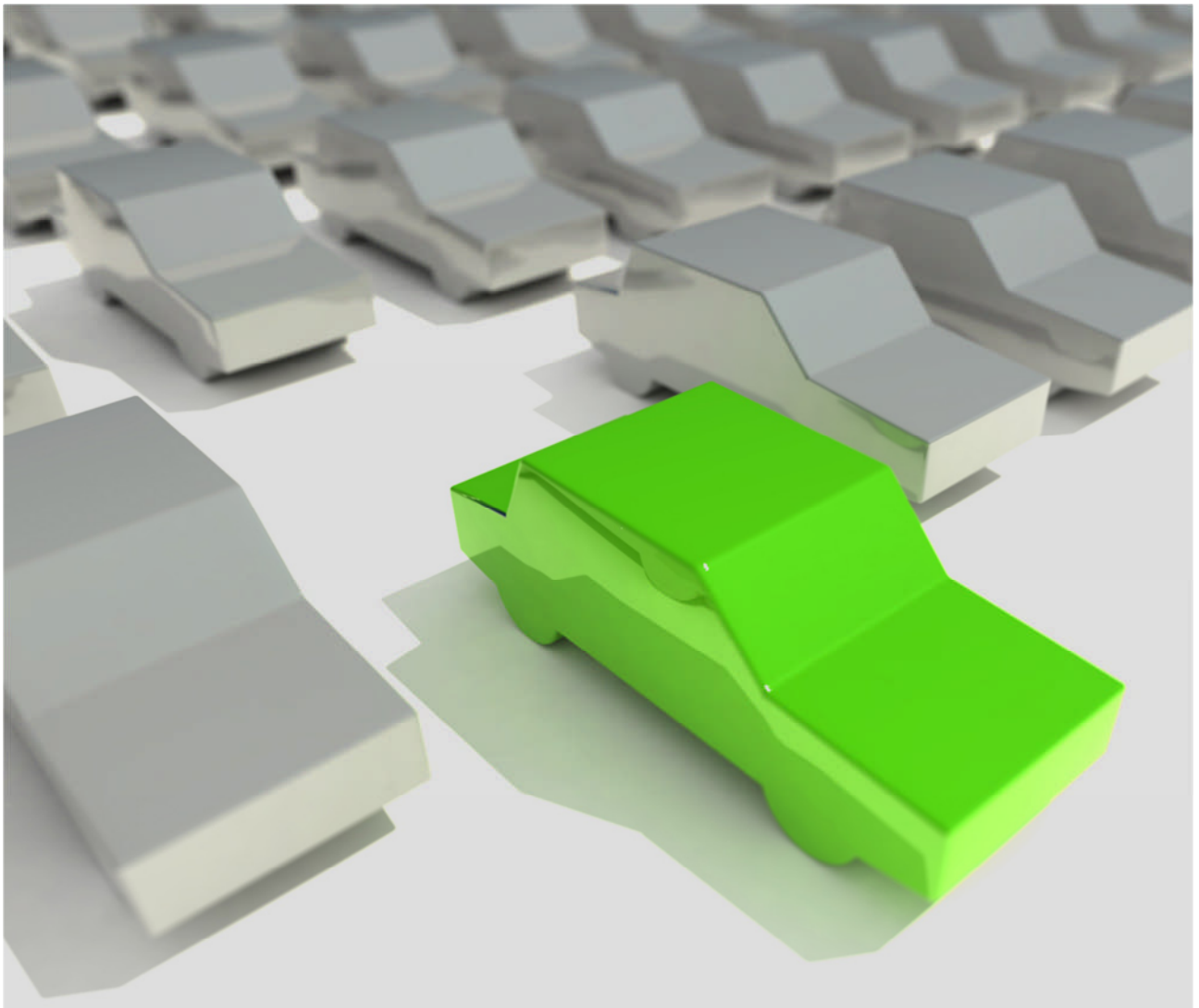
Aangepaste versies hiervan mogen alleen verspreid worden indien het in het colofon wordt vermeld dat het een aangepaste versie betreft, onder vermelding van de naam van de auteur van de wijzingen. Bij deze aangepaste versies mag geen gebruik gemaakt worden van de opmaak van de Delftse Leerlijn.

Delft, september 2011.

<b>1. Contextvragen</b>	<b>4</b>
1.1 Inleiding	7
<b>2. Kringlopen</b>	<b>9</b>
2.1 Elementenkringloop	10
2.2 Materialenkringloop	11
2.3 Cradle to Cradle (C2C) – wieg tot wieg	13
<b>3. Koolstofverbindingen</b>	<b>17</b>
3.1 Alkanen	18
3.2 Alkenen	26
3.3 Opdracht	32
3.4 Alkanolen	32
3.5 Koolhydraten	33
<b>4. ECObrandstoffen</b>	<b>37</b>
4.1 Indeling biobrandstoffen	40
4.2 De koolstofkringloop in balans	44
4.3 Het wonder van bakkergist <i>Saccharomyces cerevisiae</i>	46
4.4 Genomics, de uitdaging!	48
<b>5. Practicum 'Racen met wc-papier'</b>	<b>53</b>
5.1 Inleiding	54
5.2 Onderzoeksvraag	55
5.3 Benodigheden	56
5.4 Werkwijze	56
5.5 Resultaten	59
5.6 Verwerking resultaten	59
5.7 Conclusie	61
5.8 Vragen bij de proef	61
5.9 Het grote Racen met wc-papier kruiswoordraadsel	62
<b>6. Afsluiting</b>	<b>63</b>
6.1 Contextvragen beantwoorden	64
6.2 Oefenopgaven	67



# 1. Contextvragen



**“In module 1, ECOreizen, hebben jullie alle continenten bezocht en geprobeerd zo min mogelijk CO<sub>2</sub> uit te stoten. ECOREIZEN BV wil graag meer duurzame reizen organiseren en is dus geïnteresseerd in het verminderen van het brandstofverbruik en in nieuwe energievormen.”**

**In de reizen die jullie hebben gemaakt, hebben jullie op enkele uitzonderingen na, gebruik gemaakt van fossiele brandstoffen. De wereld draait op fossiele brandstoffen. Zonder olie geen transport en vervoer, geen grootschalige landbouw, geen consumptieartikelen. Maar geologen denken dat de olievoorraad haar einde nadert en binnen afzienbare tijd niet meer zal kunnen voldoen aan de alsmaar stijgende vraag naar energie.**

**Maar wat moet het worden?**

**Om het gebruik van fossiele brandstoffen te beperken zijn er twee mogelijkheden. Je kunt motoren van transportvoertuigen dusdanig verbeteren dat het brandstofverbruik per kilometer fors vermindert en je kunt het onderzoek naar nieuwe energiebronnen uitbreiden.**

### **Informatie 1**



*Het Nederlandse studenten team 'The Hydro Cruisers' van de Haagse Hogeschool/TH Rijswijk hebben met hun 'stadsauto' Sharky II in 2008 hun titel in de Shell Eco-marathon geprolongeerd. Het team wist met behulp van waterstof 848 kilometer op (omgerekend) slechts één liter benzine af te leggen.*

#### **Eco-marathon**

De Eco-marathon is een jaarlijkse competitie, die gesponsord wordt door Shell. De wedstrijd gaat niet om de snelheid maar om de efficiëntie van de voertuigen. Het is de bedoeling om een zo groot mogelijk aantal kilometers te rijden op één liter benzine (Euro 95).

Shell, wereldwijd een van de belangrijkste spelers in de oliemarkt, is reeds jaren geleden begonnen met onderzoek om het verbruik van de consument in te perken en op zoek te gaan naar alternatieven.

*"De Eco-marathon is een project van Shell. Shell ziet de wedstrijd als een platform voor jongeren om te experimenteren met duurzame energie. Snelheidsrecords zijn onbelangrijk bij de Eco-marathon. Centraal staan duurzame mobiliteit, milieubewustzijn en betaalbare alternatieven voor huidige fossiele brandstoffen. Het evenement is daarnaast een klassieke proeftuin waarin studenten hun research kunnen demonstreren en technische innovaties etaleren. Een ontmoetingsplek voor aankomende technici en ingenieurs waar ze elkaar kunnen inspireren en van elkaar kunnen leren. Tenslotte kunnen hun resultaten en ervaringen ook andere jongeren inspireren tot het kiezen van een technische studie en beroep"*



*Figuur 1: PAC-CAR II, winnend Zwitsers ontwerp in Nagaro*

*Update 10 mei 2010: Ongelofelijk maar waar. De winnaar van 2010, het Polytech' Nantes team uit Frankrijk, verbrak met een auto op waterstof het wereldrecord uit 2005 en reed 4896,1 kilometer met omgerekend één liter euro 95.*



*Figuur 2: Logo Novozymes*

De eerste Shell Eco-Marathon werd in 1985 gehouden op het Paul Ricard-circuit in Le Castellet in Frankrijk. Twintig teams verschenen aan de start en de winnaars uit Zwitserland wisten omgerekend 680 kilometer op één liter benzine te rijden. In 2000 verhuisde het evenement naar het Paul Armagnac-circuit in Nogaro. Daar vestigden in 2005 wederom Zwitserse deelnemers het huidige record van 3836 kilometer op omgerekend één liter benzine in de klasse 'prototypes'.

Sinds 2003 is een nieuwe klasse toegevoegd aan de race; 'Urban Concept'. In deze klasse moeten de voertuigen 'lijken' op auto's voor normaal weggebruik. Grootte van het voertuig, een ruime zitpositie, verlichting en een claxon zijn verplicht voor auto's in deze klasse. Een Deens team heeft daarbij in 2006 een verbruik gehaald van 810 km op omgerekend 1 liter euro 95.

## Informatie 2

### Bio-ethanol / Microdiesel

Novozymes, een groot Deens biotechnologiebedrijf, heeft in februari 2010 bekendgemaakt een enzym te hebben ontwikkeld dat niet-eetbaar landbouwafval zoals stro, maïskolven en suikerriet om kan zetten in bio-ethanol.

Het zou volgens Novozymes slechts 2 dollar kosten om een gallon bio-ethanol te produceren. Dit komt neer op slechts 37 eurocent per liter! Hoewel er in Nederland natuurlijk nog wel belasting op deze prijs zal komen, blijven de kosten onder die van een liter benzine.

Een genetisch gemodificeerde bacterie die brandstof produceert uit plantaardig materiaal. Biobrandstof maken uit bijvoorbeeld soja kon al, maar er zijn chemicaliën nodig bij het proces. Onderzoekers van de universiteit van Münster klusten een bacterie die zonder chemicaliën zogenaamde microdiesel maakt. In de toekomst waarschijnlijk van plantafval, dat bij de productie van voedsel overblijft. Zo zijn de uitgestrekte plantages met gewassen voor biobrandstof straks niet meer nodig. Wat wordt het nu? Gaan we straks op maïsresten rijden.

Het ontwikkelen van motoren die zeer weinig brandstof verbruiken per kilometer is nog niet zo ver dat het tot grote besparingen op brandstof zal leiden. In de wetenschap, politiek en industrie gaan meer en meer stemmen op om serieus werk te gaan maken van het onderzoek naar nieuwe energiebronnen. Het produceren van alternatieve en duurzame brandstoffen biedt veel meer perspectief.

Samen met ECOREIZEN BV ga je nu zelf op zoek naar duurzame brandstoffen. In tegenstelling tot de vorige module hoef je onderstaande contextvragen pas aan het eind van de lessenserie te beantwoorden.

### Contextvragen

1. Hoe maak je van plantenafval een biobrandstof?
2. Wat tanken wij in 2020?

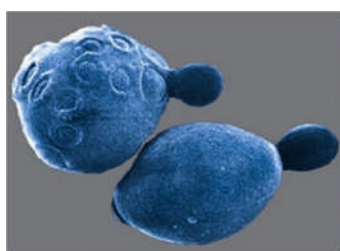
## 1.1 Inleiding

### Fossiele brandstoffen

Nu je ervaren hebt wat groene en duurzame reizen zijn, gaat de ontdekkingsstocht naar groene en duurzame brandstoffen beginnen. Daarvoor moet je eerst heel wat kennis over de fossiele brandstoffen doornemen. Aardolie bestaat wel uit tienduizend verschillende koolstofverbindingen, die allemaal een andere structuurformule hebben. Tot nu toe is aardolie misschien wel de belangrijkste grondstof. Niet alleen voor brandstoffen, maar ook voor kunststoffen, medicijnen en andere nuttige producten.



*Brazilië heeft het grootste en meest succesvolle biobrandstof programma ter wereld, waaronder de productie van bio-ethanol uit suikerriet. Het automerk Fiat is in Brazilië nauw betrokken bij de grootschalige productie van bio-ethanol.*



*Figuur 3: Bakkersgist*

### ECObrandstoffen

ECObrandstoffen worden ook wel groene brandstoffen genoemd, maar meestal wordt de term **biobrandstoffen** gebruikt. Biobrandstoffen zijn vervangers van fossiele brandstoffen. Net als fossiele brandstoffen ontstaat er bij de verbranding van biobrandstoffen ook koolstofdioxide. CO<sub>2</sub> maakt deel uit van de **koolstofkringloop**. Je zult leren hoe je de kringlopen duurzamer kunt maken. Groene planten en bomen kunnen door de fotosynthesereactie uit koolstofdioxide en water glucose en zuurstof maken. Het materiaal dat van planten en bomen afkomstig is wordt biomassa genoemd. Als we nu auto's op plantenmateriaal kunnen laten rijden dan wordt de koolstofkringloop een stuk ingekort en komt er geen extra CO<sub>2</sub> in de atmosfeer.

**Bio-ethanol** is een biobrandstof van de eerste generatie, dat wil zeggen het wordt gemaakt van suikerriet, suikerbiet, maïs, tarwe of gerst. Biobrandstoffen die niet aan voedsel gerelateerd zijn worden meestal de tweede generatie genoemd. Deze kunnen gemaakt worden uit biomassa bijvoorbeeld: wilgen, houtsnippers, stro, afval, enz.

### Wat heeft het produceren van bio-ethanol met DNA te maken?

Het wonder zit hem in bakkersgist *Saccharomyces cerevisiae*, een micro-organisme dat glucose – een koolhydraat – eet en ethanol produceert. Er zijn echter meer koolhydraten. Plantenmateriaal (biomassa) bestaat o.a. uit cellulose, hemicellulose, lignine en xylose. Om de ethanolopbrengst uit plantenmateriaal nog hoger te krijgen zou bakkersgist ook de andere koolhydraten moeten gaan omzetten. Eén van die koolhydraten is xylose.

Onderzoekers van de TU Delft is het gelukt om door genetische modificatie een supergist te maken. Deze supergist is in staat om xylose ook om te zetten in bio-ethanol.

### **Practicum 'Racen met wc-papier'**

Aan het eind van de module ga je zelf bio-ethanol maken. Voor dit practicum komen Life Science & Technology studenten van de TU Delft langs om het geheel te begeleiden. Bio-ethanol wordt gemaakt met behulp van bakkersgist en wc-papier. WC-papier bestaat hoofdzakelijk uit cellulose, dat met het enzym cellulase wordt omgezet in glucose. Als dat is gebeurd kan bakkersgist zijn werk doen. Bij de fermentatie van glucose ontstaat naast bio-ethanol ook CO<sub>2</sub>. Jullie krijgen allemaal een andere verhouding wc-papier/ bakkersgist en zullen ontdekken wie het snelste bio-ethanol produceert. Het wordt een spannende race!

### **Afsluiting**

Na het practicum ga je in een groepje de contextvragen beantwoorden. De module wordt afgesloten met een aantal oefenopgaven.



*Figuur 4: 'Racen met wc-papier'?*



## 2. Kringlopen



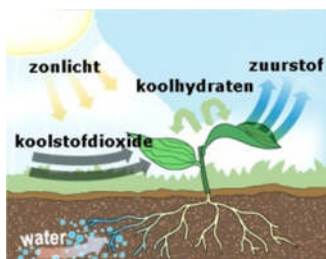
**“Kringlopen, het woord zegt het al, zijn cirkelvormige processen waarbij elke positie in de cirkel weer gevolgen heeft voor de daarop volgende positie in de cirkel.”**

## 2.1 Elementenkringloop

Zoals je in de derde klas hebt geleerd blijven de elementen (atoomsoorten) na een aantal reacties altijd behouden. Dat noemen we ook wel een elementenkringloop. Als voorbeeld nemen we de koolstofkringloop.



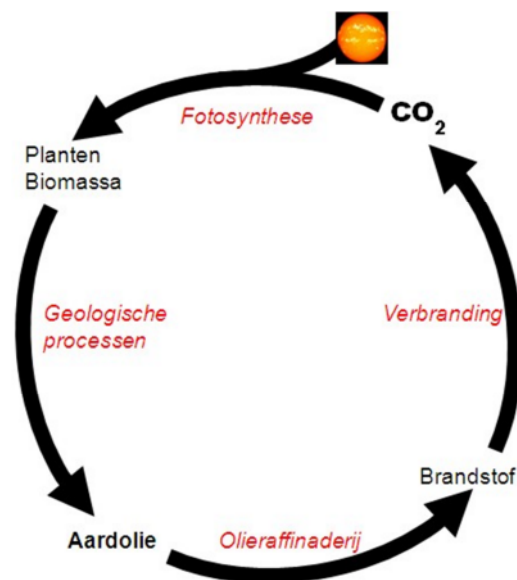
*Kelpwieren gebruiken luchtblaasjes om aan de oppervlakte te blijven om fotosynthese mogelijk te maken.*



*Figuur 2: Fotosynthese in een plant*

### Koolstofkringloop

Koolstofdioxide maakt deel uit van de koolstofkringloop. Door fotosynthese zijn groene planten en bomen in staat om uit koolstofdioxide en water met behulp van zonlicht glucose en zuurstof te maken. De gevormde glucose in de planten en bomen wordt weer omgezet in andere koolstofverbindingen. Het materiaal dat van planten en bomen afkomstig is wordt biomassa genoemd. Door allerlei geologische processen kan biomassa worden omgezet o.a. in aardolie. Je kunt stellen dat er in planten, bomen en dus ook in aardolie een flinke hoeveelheid chemische energie is opgeslagen. De aardolie wordt gewonnen en in een olieraffinaderij worden door destillatie van ruwe olie o.a. brandstoffen geproduceerd. In de vervoermiddelen, die jullie gebruiken hebben bij ECOreizen, worden deze brandstoffen verbrand met de bij de fotosynthese vrijgekomen zuurstof en komt de bij de fotosynthese gebonden koolstofdioxide weer vrij: de koolstofkringloop is gesloten.



*Figuur 1: Een koolstofkringloop*

### Vragen

1. Geef de reactievergelijking voor de fotosynthese.
2. Als je in figuur 1 het tijdsverloop in ogenschouw neemt, dan kun je zeggen dat de weergegeven koolstofkringloop uit balans is. Leg uit wat dat betekent.
3. Leg uit hoe de je de verstoorde koolstofkringloop uit figuur 1 weer in balans zou kunnen krijgen.

## 2.2 Materialenkringloop

In de biosfeer is er een voortdurende uitwisseling van materialen met de omgeving. De waterkringloop is een bekend voorbeeld van een kringloop met één stof.

### Stikstofkringloop

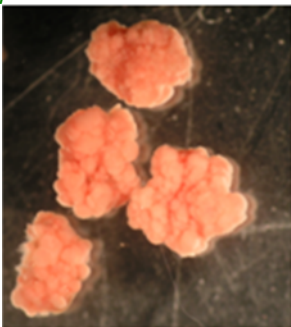
Dagelijks is men bezig met de stikstofkringloop, zonder dat men zich er zelf bewust van is. De stikstofkringloop is een kringloop die belangrijk is voor het handhaven van leven op aarde.



Stikstof is een belangrijke stof bij de vorming van eiwitten.

Dieren halen hun stikstof uit voedsel, planten uit nitraten (stikstofzouten) in de bodem. De nitraten in de bodem worden geproduceerd door bacteriën die de stikstof uit de lucht kunnen binden tot nitraten.

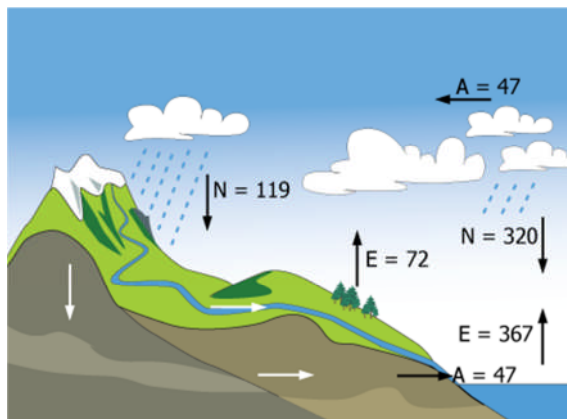
Weer andere bacteriën brengen stikstof via een aantal chemische reacties weer terug in de atmosfeer door afbraak van stikstofproducten in de bodem.



In de jaren negentig van de vorige eeuw is er een nieuwe groep van bacteriën, de Anammox-bacteriën, ontdekt die in één stap de stikstofzouten in de bodem kunnen omzetten in stikstof.

### Waterkringloop

Water is voortdurend in beweging. Water kan van hoedanigheid veranderen, verontreinigd raken, of in een andere aggregatietoestand overgaan (damp, ijs), maar het blijft water. Water is ten gevolge van verdamping in de atmosfeer aanwezig in de vorm van waterdamp. Wanneer waterdamp opstijgt, condenseert de waterdamp op een gegeven ogenblik en worden wolken gevormd. Via de wolken komt het water in de vorm van sneeuw, regen of hagel op het landoppervlak terecht. Daarnaast kan water ook condenseren als mist, dauw of ijzel. Gedeeltelijk komt het gecondenseerde water terecht in meren, beken en rivieren, maar ook verdampt er water, stroomt water over het terreinoppervlak af en infiltrereert water in de ondergrond. Rivieren voeren water af naar de zee, grondwater stroomt door de bodem naar lager gelegen plaatsen en bereikt uiteindelijk ook de zee. Vanuit de zee verdampt er weer water (figuur 3). De wateraanvoer van zee naar het land (en omgekeerd) is 47.000 km<sup>3</sup> per jaar.



Figuur 3: Waterkringloop en balans (hoeveelheden in 1000 km<sup>3</sup>/jaar).  
N = neerslag, E = verdamping en A = transport

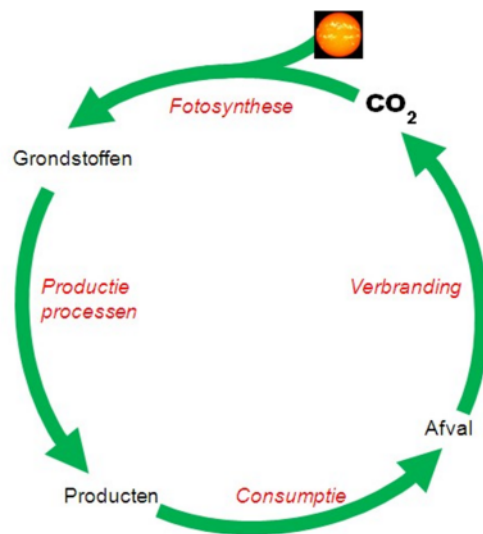
Vanuit de waterkringloop krijgt Nederland heel veel water. Het grootste deel van het water in Nederland komt van over de grenzen. De rivieren de Rijn en de Maas voeren per jaar 110 km<sup>3</sup> water aan. Soms is de afvoer van de rivieren zelfs zo groot dat ze buiten hun oevers treden, denk aan de overstroming van de Rijn en de Maas in 1993 en 1995. Aan neerslag valt in Nederland per jaar 30 km<sup>3</sup>. Hiervan verdampt een groot gedeelte, de rest infiltrereert in de ondergrond of stroomt af via grondwater en het oppervlaktewater naar uiteindelijk de Noordzee. De jaarlijkse aanvoer in Nederland van 110 km<sup>3</sup> per jaar komt overeen met meer dan 7.000 m<sup>3</sup> per inwoner, elk jaar. De hoeveelheid water die door de waterleidingbedrijven gebruikt wordt

voor de productie van drinkwater bedraagt 1,2 km<sup>3</sup> per jaar, ofwel ongeveer 1% van de jaarlijkse wateraanvoer in Nederland.

### Vragen

4. Geef de waterkringloop schematisch weer zoals in figuur 1.
5. Leg uit dat er in figuur 3 sprake is van een duurzame kringloop.

Een voorbeeld van een algemene kringloop waar meerdere materialen bij betrokken zijn is de kringloop in figuur 4.



Figuur 4: Een materialenkringloop

In deze kringloop worden de verschillende stadia/ situaties van een stof, materiaal of product, met elkaar in verband gebracht.

De zon levert energie aan de aarde. Vanaf het ontstaan van de aarde heeft dit een voorraad aan bruikbare grondstoffen opgeleverd. Deze grondstoffen worden door de mens onttrokken aan de aarde door ze in een bepaald productieproces op te nemen. Deze producten worden geconsumeerd en na consumptie weer teruggeven

aan de aarde (de natuur en het milieu) in de vorm van afval. Dit afval wordt weer toegevoegd aan de voorraad die de aarde (de natuur en het milieu) in zich draagt en daarmee is de kringloop gesloten.



Figuur 5: Plastic bekertjes



Figuur 6: Papieren bekertjes

### Vraag

6. Maak voor de volgende producten : plastic bekertje en papieren bekertje, een kringloop zoals in figuur 4 is weergegeven.

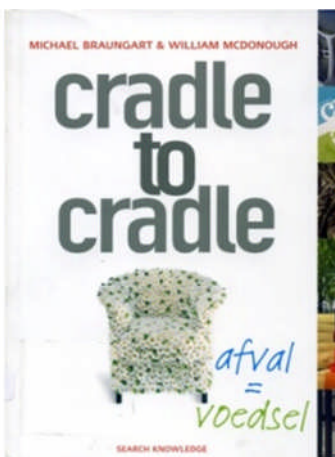
### Duurzame kringloop

In ECOreizen heb je geleerd wat duurzaamheid betekent en wat een duurzame ontwikkeling is. Als je naar de materialenkringloop in figuur 4 kijkt, dan lijkt het alsof deze kringloop ononderbroken door kan gaan. Bovendien lijkt het alsof de toevoeging van afval aan de voorraad grondstoffen er voor zorgt dat de kwaliteit van die grondstoffen hetzelfde is en blijft. Maar dit is meestal niet het geval. Want als stoffen in de vorm van afval weer toegevoegd worden aan de voorraad zijn ze niet meer hetzelfde als de grondstoffen. De elementen in het afval zijn vaak anders gerangschikt in de moleculen. Om weer bruikbaar te zijn in de kringloop moet er vaak heel veel gebeuren om ze weer in de oorspronkelijke vorm terug te krijgen. Dit hele proces duurt in de natuur over het algemeen heel lang – langer dan wij

eigenlijk kunnen wachten – en kost bovendien energie. Om dit natuurlijke proces te versnellen en het afval bruikbaar te maken wordt het afval vaak voor andere doeleinden gebruikt. We spreken hier daarom van verlies van kwaliteit van de (afval)stoffen en de hoeveelheid energie die in deze stoffen opgesloten ligt in vergelijking met de oorspronkelijke grondstoffen. Als dit verlies er niet of nauwelijks is dan spreken we van een **duurzame kringloop**. Dus de richtlijn voor een duurzame kringloop is dan ook: zorg ervoor dat er zo weinig mogelijk energie verloren gaat en zorg ervoor dat de afvalstoffen gemakkelijk en snel weer in de oorspronkelijke vorm teruggebracht kunnen worden, liefst zo dat het weinig energie kost.

### Vraag

7. Hoe zou je de kringlopen die je in vraag 6 hebt getekend duurzaam kunnen maken? Wat moet je dan veranderen aan de kringloop? Bedenk steeds minimaal twee oplossingen.



Figuur 7: Omslag van de Nederlandse vertaling

## 2.3 Cradle to Cradle (C2C) – wieg tot wieg

In 2002 verscheen het boek "Remaking the Way We Make Things" van Michael Braungart en William McDonough met een nieuwe visie op duurzaam ontwerpen. De huidige methoden voor duurzame productontwikkeling, zoals o.a. een levenscyclusanalyse (LCA), richten zich op het beperken van de schadelijkheid van het product. Het product wordt hier gezien als de keten van ontstaan (winning van grondstoffen, productie), gebruik (energieverbruik en verbruik van hulpstoffen zoals waspoeder en benzine) en afdanking (hergebruik en stort). Het "minder slecht maken" van het product bestaat uit het kiezen van schonere grondstoffen, het zuiniger maken van het product in gebruik, en het optimaliseren voor recycling. Dit kan gezien worden als ontwerpen van wieg tot graf.

De kern van Cradle to Cradle (C2C) ligt in het concept: **afval = voedsel**. Alle gebruikte technologische materialen kunnen na hun leven in het ene product, nuttig worden ingezet in een ander product (technologische kringloop), alle biologische materialen gaan terug in de natuur (de biologische kringloop). Hierbij dient geen kwaliteitsverlies op te treden en kunnen alle restproducten worden hergebruikt zonder schadelijke effecten te veroorzaken (binnen C2C wordt dit samengevat als upcycling). De kringloop is dan compleet en 'afval is voedsel' of beter 'voedsel blijft voedsel'.

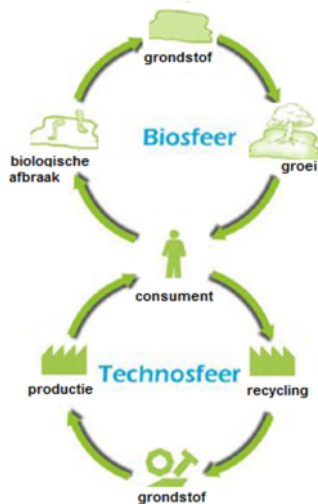
Ecologen onderscheiden drie sferen in het gelaagde landschap.



**Antropogene sfeer:**  
alles wat onder invloed van de mens is ontstaan of wordt beïnvloed.

**Biotische sfeer:** de levende natuur.

**Abiotische sfeer:**  
bodem, water en lucht: de niet levende natuur, waartoe ook onze grondstoffen behoren.



*Figuur 8: Drie ecologische sferen*

Braungart en McDonough onderscheiden in hun boek twee belangrijke kringlopen: de biologische- en de technische kringloop.

### **Biologische kringloop**

De biologische kringloop is gebaseerd op de biotische sfeer. Restproducten van de ene kringloop vormen voedsel voor de volgende (biologische) kringloop. De uitgebloeide bloesem van de appelboom valt op de grond en verteert waarmee micro-organismen, insecten, planten, dieren en de aarde zelf weer gevoed worden.

### **Vraag**

**8.** Bedenk een product dat via de biologische kringloop herbruikbaar is.

### **Technische kringloop**

De technische kringloop omvat alle materialen die wij uit de biotische en abiotische sfeer halen. We zuiveren ze, zetten ze om in andere producten, mengen, scheiden, sublimeren, en uiteindelijk storten we ze ergens in de biologische kringloop of verbranden we ze in een vuilverbranding. Alle materialen zijn weg, niet meer terug te halen, omdat ze dusdanig vermengd zijn dat het technisch onmogelijk is of niet de moeite waard is om de verschillende materialen te scheiden (dat wil zeggen alleen tegen hoge financiële inspanningen).

### **Vraag**

**9.** Bedenk een materiaal dat via de technische kringloop herbruikbaar is.

*Figuur 9 : Samenhang tussen de biologische kringloop en de technische kringloop.*



*Een voorbeeld van een technische kringloop is de bekleding, die de firma Rohner Textil AG maakt voor meubels: 1. Bekleding van natuurlijke materialen bijv. katoen 2. Bekleding is composteerbaar, ook de verf 3. Afval van het productieproces wordt verwerkt tot composteerbare winterdekkens voor de landbouw.*



Figuur 10: Puingranulaat of OIP (Ontijzerd Industrieel Puin).

### Recyclen

In Nederland komt jaarlijks 61 miljoen ton afval vrij. 83% hiervan vindt een nuttige toepassing; *recyclen* noemen we dat. Maar wat is nuttig? Bijvoorbeeld: veel puingranulaat (puinkorrels) afkomstig van sloopprojecten in de bouw krijgt een nuttige toepassing als ophoogmateriaal onder wegen.

### Vraag

**10.** Bedenk nog een afvalproduct dat een nuttige toepassing heeft gekregen.

### Downcyclen

In heel veel gevallen denken wij met recyclen een positieve bijdrage te leveren aan het terugdringen van de milieubelasting. Maar vaak blijkt dat we producten en materialen 'wegstoppen' omdat het technisch niet mogelijk is, of te duur is om ze op een zinvolle wijze toe te passen. Binnen de C2C-filosofie heet dit *downcyclen*. De oorspronkelijke materialen - uit de biologische- of technische kringloop - kunnen niet terugkeren in de kringlopen waar ze van oorsprong vandaan komen en gaan aldus verloren. In C2C termen worden dit monsterlijke hybriden genoemd: grondstoffen of producten van mengsels van verschillende materialen die niet meer uit elkaar zijn te halen. Ook internationaal afvaltransport draagt op deze wijze bij aan het verloren gaan van oorspronkelijk waardevolle materialen.

### Vraag

**11.** Is het toepassen van puinkorrels als ophoogmateriaal onder wegen een voorbeeld van *recyclen* of *downcyclen*? Licht je antwoord toe

### Upcyclen

Willen we werkelijk komen tot het sluiten van materiaalkringlopen, dan zullen we meer moeten doen: upcyclen. We spreken van upcyclen wanneer de gerecyclede grondstof van betere kwaliteit is als de oorspronkelijke grondstof of als het gerecyclede product van betere kwaliteit is als het oorspronkelijke product. Upcyclen is het tegenovergestelde van downcyclen. Er is bijvoorbeeld een Nederlands bedrijf dat zich bezig houdt met upcyclen en tracht kwalitatief hoogwaardig plasticgranulaat terug te winnen uit de polyetheendoppen van PET-flessen. Het plasticgranulaat is van betere kwaliteit als de oorspronkelijke polyetheen van de dop.

### Opdracht

**12.** Ga naar onderstaande websites en beschrijf een ander materiaal of een product dat *geupcycled* wordt. Gebruik eventueel de zoekterm "upcycle product".

<http://nl.wikipedia.org/wiki/Upcycling>

<http://en.wikipedia.org/wiki/Upcycle>



Figuur 11: Symbool van upcyclen.

**Wat je nu moet weten****Elementenkringloop**

- Koolstofkringloop
- Ander voorbeeld geven

**Materialen kringloop**

- Voorbeelden geven
- Hoe je een materialen kringloop duurzaam kunt maken met voorbeelden

**Cradle to Cradle (C2C)**

- Biologische kringloop
- Technische kringloop
- Recyclen
- Downcyclen
- Upcyclen



# 3. Koolstofverbindingen

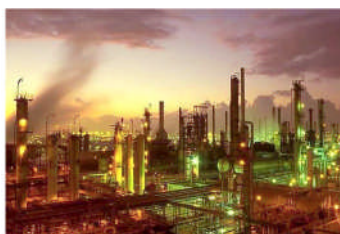


“Met koolstof en nog een paar andere atoomsoorten kun je miljoenen verschillende koolstofverbindingen maken! De scheikunde van de koolstofverbindingen wordt ook nog vaak met de verouderde term organische chemie aangeduid. Vroeger dacht men dat koolstofverbindingen alleen konden voortkomen uit organisch materiaal van mensen, dieren of planten. Aardolie bestaat uit wel tienduizend verschillende koolstofverbindingen. Het is misschien wel de belangrijkste grondstof. Niet alleen voor brandstoffen, maar ook voor kunststoffen, medicijnen en andere nuttige producten.”

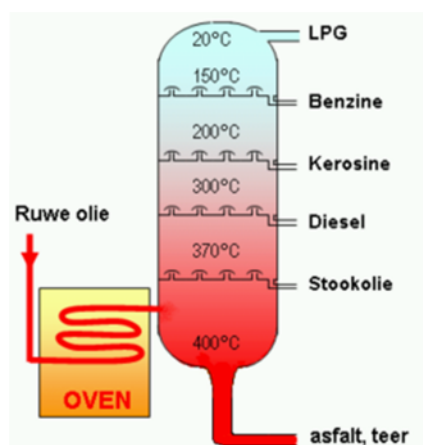
In dit hoofdstuk leer je hoe brandstoffen worden gemaakt en uit wat voor soorten moleculen brandstoffen zijn opgebouwd.

### 3.1 Alkanen

Aardolie wordt wel ‘de machine van de twintigste eeuw’ genoemd, terwijl voor de aardbewoners uit dat tijdvak al de benaming ‘koolwaterstofmens’ is bedacht. Olie en gas zijn koolstofwaterstofverbindingen. Van ruwe olie worden niet alleen maar brandstoffen gemaakt. De chemische industrie gebruikt de van olie gemaakte grondstoffen voor de productie van een oneindig grote variatie aan oplosmiddelen, verf, vezels, kunstmest, rubbers, geneesmiddelen, kunststoffen, enzovoort. Olie en gas spelen dus een belangrijke rol in ons dagelijks leven. Bij de destillatie van aardolie ontstaan verschillende fracties die koolwaterstoffen bevatten.



Figuur 1: Een olieraffinaderij



Figuur 2: Schematische weergave van een destillatietoren. Fracties met een hoog kookpunt condenseren onderin de toren waar de temperatuur het hoogst is en fracties met een laag kookpunt condenseren bovenin de toren

Koolwaterstoffen bevatten de elementen C en H. Een deelverzameling van deze groep zijn de **alkanen**. Dat zijn koolwaterstoffen die voldoen aan de algemene formule  $C_nH_{2n+2}$ . Als een groep aan een algemene formule voldoet, zegt men dat deze groep een **homologe reeks** vormt. Binnen zo'n homologe reeks hebben de stoffen vrijwel gelijke chemische eigenschappen. In figuur 3 staan de molecuulformules en de systematische namen van de

eerste tien alkanen. Deze namen en molecuulformules moet je uit het hoofd kennen.

molecuul- formule	naam	kookpunt in °C
CH <sub>4</sub>	methaan	- 161
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	ethaan	- 88
C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	propaan	- 42
C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	butaan	0
C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	pentaan	36
C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	hexaan	69
C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	heptaan	99
C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	octaan	126
C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	nonaan	151
C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	decaan	174
C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>		

**Zinnetjes om alkanen te onthouden**

**Met Een Paraplu Blijft Pino Heel Hoog Ook Nog Droog**

**Mice Eat Peanut Butter Plus Ham Here On Nice Days**

*Figuur 3: Gegevens van enkele alkanen*

In figuur 3 staan de fossiele brandstoffen die bij je ECOREIZEN hebt gebruikt:

- C<sub>7</sub>H<sub>16</sub> is benzine
- C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> is diesel
- C<sub>9</sub>H<sub>20</sub> is kerosine
- C<sub>10</sub>H<sub>22</sub> is stookolie

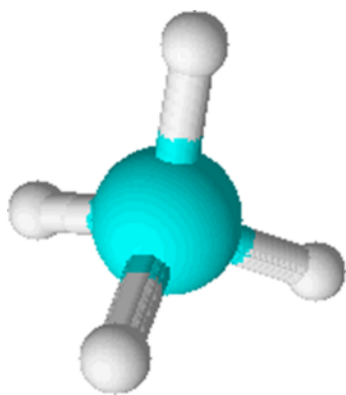
### Vragen

1. Icosaan is een smeermiddel. Het is een alkaan met 20 koolstofatomen. Geef de molecuulformule van icoosaan.
2. In Binas tabel 66C zijn de numerieke voorvoegsels genoemd. Geef de naam van C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>.

### Structuurformules

In methaan, CH<sub>4</sub>, zijn de bindingen tussen het C-atoom en de 4 H-atomen gelijkwaardig. De covalentie van een C-atoom is vier en die van een H-atoom is gelijk aan één. De hoeken tussen de H-C-H zijn gelijk, 109,5°. Op deze manier zijn de vier H-atomen zo ver mogelijk van elkaar verwijderd. De H-atomen bevinden zich op de hoekpunten van een denkbeeldig tetraeder, ook wel regelmatig viervlak genoemd (zie figuur 4).

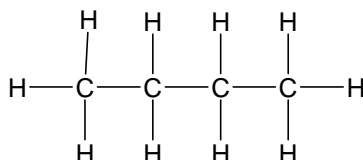
Het maken van een ruimtelijke tekening levert bij het groter worden van het aantal C-atomen steeds meer problemen op. Vandaar dat er structuurformules worden ingevoerd. Hoeken die 109,5° zijn, worden in de structuurformu-



*Figuur 4: Een model van de ruimtelijke structuur van methaan*

le als 90° getekend. Voor de duidelijkheid tekenen wij de koolstofketen meestal recht.

De meest gebruikelijke schrijfwijze voor de structuurformule van butaan is:



De 'recht' getekende structuurformule is de meest overzichtelijke. Voortaan teken je alle structuurformules zo.

Opm.: In de uitwerkingen van de vragen wordt nogal eens de volgende korte notatie gebruikt voor een structuurformule:  $\text{CH}_3 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_3$ , maar dit is een onduidelijke structuurformule.

In de reeks van de alkanen zijn er vanaf  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  bij dezelfde molecuulformule meerdere structuurformules mogelijk.

### Vraag

3. Teken naast de structuurformule van butaan nog een structuurformule die eveneens voldoet aan  $\text{C}_4\text{H}_{10}$ .

Deze twee gevonden structuurformules stellen dan ook twee verschillende stoffen voor. Wij noemen beide stoffen **isomeren**. Als bij één molecuulformule twee of meer stoffen horen, spreken wij van **isomerie**.

### Vraag

4. Men onderscheidt vertakte en onvertakte alkanen. Geef aan de hand van je antwoord op vraag 3 een voorbeeld van een alkaan met een vertakte en een alkaan met een onvertakte structuurformule.

Eerder heb je al de namen geleerd van een aantal alkanen met een onvertakte keten. Maar hoe zou je de alkanen met een vertakte keten moeten noemen?

Internationaal zijn er afspraken gemaakt voor de naamgeving. Deze naamgeving is gebaseerd op de structuurformule. Men noemt dit de systematische naamgeving.

### Isomeren

*Isomeren hebben dezelfde molecuulformule, maar verschillende structuurformules.*

*Het zijn dan ook verschillende stoffen met verschillende fysische eigenschappen.*

### Systematische naamgeving

*De International Union of Pure and Applied Chemistry, de IUPAC, is de instantie die het beheer heeft over de systematische naamgeving van chemische verbindingen (IUPAC-nomenclatuur).*

### Systematische naamgeving

De regels voor het opstellen van de systematische naam van een koolstofverbinding (Binas tabel 66D) zijn als volgt:

- Zoek de langste onvertakte koolstofketen in het molecuul. Wij noemen dit de 'hoofdketen'. De naam van de hoofdketen is de 'stamnaam'.
- Kijk welke atomen of atoomgroepen (behalve de H-atomen) aan de hoofdketen vast zitten. Voor deze zijgroepen leer je een aantal namen (zie figuur 5).



Auto's rijden straks niet alleen op benzine die is gemaakt van aardolie of traditionele bio-brandstof, maar ook uit hout. Wetenschappers van de Universiteit Twente en bedrijven zijn erin geslaagd om hout zo te bewerken dat dit het 'zwarte goud' uit de grond kan vervangen. Wetenschappers waren er al langer in geslaagd om hout te transformeren tot een vloeibaar zwart goedje waarmee kan worden gestookt. Alleen was het tot dusver niet mogelijk om er een brandstof van te maken die ook geschikt is voor auto's. Dit is nu wel mogelijk. In Hengelo wordt hard gewerkt aan de eerste en grootste fabriek in de Europese Unie waar op grote schaal hout kan worden omgezet in olie.

Bron: Algemeen Dagblad

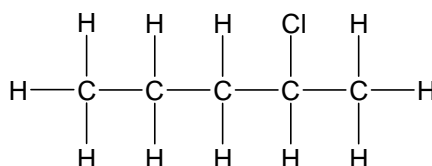
- Bij meer zijgroepen zet je deze in alfabetische volgorde voor de stamnaam (di-, tri-, etc tellen niet mee), dus alfabetische volgorde gaat voor numerieke volgorde (zie d).
- Kijk aan welk C-atoom van de hoofdketen zich de zijgroepen bevinden. Dit geven wij in de naam met een plaatsnummer aan, het nummer moet zo laag mogelijk zijn. Zijn er meer zijgroepen aanwezig, dan moet de som van de nummers zo laag mogelijk zijn.
- Bij een ringvormige alkaan wordt de stamnaam bepaald door het aantal C-atomen in de ring en krijgt de stamnaam het voorvoegsel cyclo-

structuurformule zijgroep	naam
-F	fluor
-Cl	chloor
-Br	broom
-I	jood
-CH <sub>3</sub>	methyl
-CH <sub>2</sub> — CH <sub>3</sub>	ethyl
-CH <sub>2</sub> — CH <sub>2</sub> — CH <sub>3</sub>	propyl
-CH — CH <sub>3</sub>   CH <sub>3</sub>	(1-methylethyl)

Figuur 5: Namen van zijgroepen aan de hoofdketen

### Voorbeeld 1

Geef de systematische naam van de stof met de volgende structuurformule:

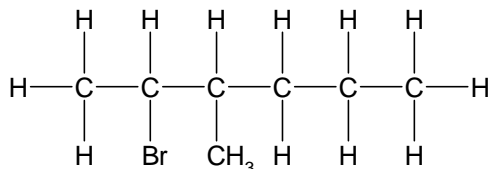


- De onvertakte hoofdketen bestaat uit 5 C-atomen. De stamnaam is dus pentaan.
- De zijgroep is een chlooratoom. Dit wordt aangegeven met het voorvoegsel chloor. De naam wordt dan chloorpentaan.
- Het chlooratoom is aan het tweede C-atoom gebonden. De systematische naam wordt dan: 2-chloorpentaan.

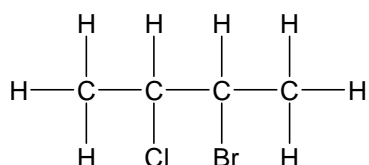
## Vragen

5. Geef de systematische namen van de volgende stoffen.

a.



b.



6. De volgende namen zijn fout. Teken eerst de structuurformule en geef vervolgens de juiste systematische naam.

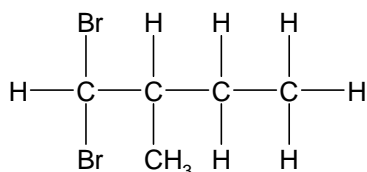
- 4-joodbutaan
- 5-chloor-3-fluor-3-joodhexaan



Een kunstwerk van een methaanmolecuul aan de snelweg in Groningen, geplaatst ter herinnering aan de ontdekking van de gasbel in Slochteren. De ruimtelijke piramidale structuur van het molecuul is hier goed te zien.

### Voorbeeld 2

Geef de systematische naam van de stof met de volgende structuurformule:

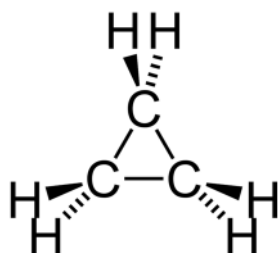


- De stamnaam is butaan.
- De zijgroepen zijn twee Br-atomen en één methylgroep. Voor de beide Br-atomen wordt het Griekse telwoord di gebruikt.
- De beide Br-atomen zitten aan het eerste C-atoom en de methylgroep aan het tweede C-atoom.  
De systematische naam wordt dan: 1,1-dibroom-2-methylbutaan.

### Vraag

7. Geef de structuurformules van de volgende stoffen.

- 2,2,3-trichloorpentaan
- hexafluorethaan
- 3,4-diethyl-3-methylhexaan
- propylheptaan; leg uit waarom hier geen plaatsnummer nodig is.
- 4-(1-methylethyl)octaan



**Cyclopropano**, molecuulformule  $C_3H_6$ , bestaande uit drie C-atomen die samen een ring vormen, met twee H-atomen op elk koolstofatoom. De bindingen tussen de koolstofatomen zijn een stuk zwakker dan gewone C-C bindingen. Dit komt door de hoek van  $60^\circ$  tussen de koolstofatomen, wat veel minder is dan de normale hoek van  $109,5^\circ$  (zie blz.19). Vanwege deze ringspanning is cyclopropano reactiever dan andere cycloalkanen zoals cyclopentaan.

Vanwege de spanning in de C-C bindingen in cyclopropano heeft het molecuul een enorme hoeveelheid potentiële energie. Op kamertemperatuur is vloeibaar cyclopropano zelf-exploderend. Zelfs als de veiligheidsvoorschriften gevolgd worden blijft cyclopropano gevaarlijk om te maken en om mee te werken.

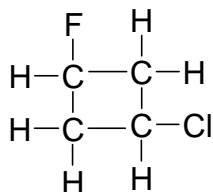
### Cycloalkanen

Er bestaan ook ringvormige alkanen met de algemene formule  $C_nH_{2n}$ . In de systematische naamgeving wordt de stamnaam bepaald door het aantal C-atomen in de ring en krijgt de stamnaam het voorvoegsel cyclo-.

molecuulformule	naam	structuurformule
$C_3H_6$	cyclopropano	
$C_4H_8$	cyclobutaan	
$C_nH_{2n}$		

Figuur 6: Enkele voorbeelden van cycloalkanen

### Voorbeeld 3



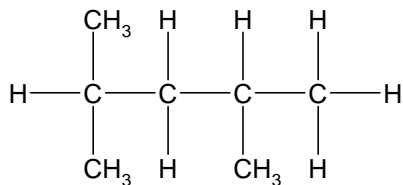
- De stamnaam is cyclobutaan
- De zijgroepen zijn een F-atoom en een Cl-atoom
- Plaatsing is aan het eerste en derde C-atoom

De systematische naam wordt dan: 1-chloor-3-fluorcyclobutaan

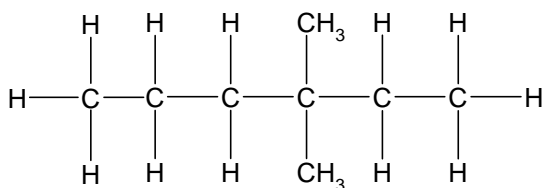
### Vragen

8. Geef van elk van de volgende stoffen de systematische naam.

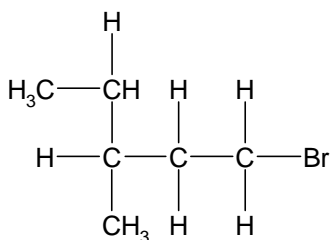
a.



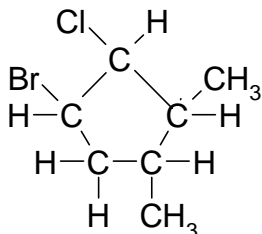
b.



c.



d.



9. Er zijn stoffen waarbij het plaatsnummer kan worden weggelaten.

- Een voorbeeld is ethylpentaan. Waarom kan hier het plaatsnummer worden weggelaten? Teken de structuurformule.
- Mag dat ook bij methylpropanaan? En bij methylbutaan? Teken de structuurformules.

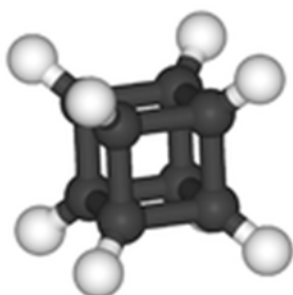
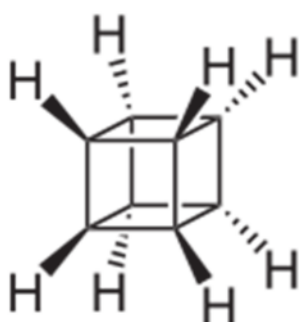
10. Geef de structuurformules en de systematische namen van alle isomeren die voldoen aan:

- $\text{C}_5\text{H}_{12}$
- $\text{C}_6\text{H}_{14}$





Figuur 7: Minardi met Robert Doornbos



Figuur 8: Cubaan,  $C_8H_8$

## Informatie 1

### Cubaan in race-auto's

In Italië hebben onderzoekers van het concern Agip de mogelijkheid onderzocht om de energie-inhoud van benzine te vergroten. Een dergelijke brandstof zorgt voor een verlaging van het benzinegebruik bij gelijkblijvende prestaties. Ze hebben daarvoor gekeken naar kleine ringvormige organische koolwaterstoffen.

Als koolstofatomen kleine ringen vormen ontstaat een bepaalde spanning tussen de atomen van de ringstructuur. De bindingen bevatten daardoor meer energie dan normale bindingen. Als je een dergelijke stof gaat verbranden komt die extra energie vrij.

Met cubaan hebben de Italianen succes. Cubaan ( $C_8H_8$ ) heeft de vorm van een kubus en heeft dus 6 vierringen die onder spanning staan. Benzine heeft een verbrandingswarmte van  $44 \text{ MJ kg}^{-1}$ . Bij de verbranding van cubaan komt echter  $46,5 \text{ MJ kg}^{-1}$  vrij. Race-auto's die een 30% oplossing gebruikten kwamen al tot betere prestaties. Ook hadden ze minder tankstops nodig omdat de dichtheid van cubaan groter is.

### Gegevens voor vraag 11.

Een raceauto die op benzine zonder cubaan rijdt, heeft een verbruik van 1 op 2,8. Dit betekent dat de auto 2,8 kilometer kan rijden op 1 liter benzine (293 K).

De raceauto kan zuiniger rijden door de gewone benzine te vervangen door benzine waarin cubaan is opgelost. De benzine bevat dan 30 massa% cubaan.

De dichtheid van benzine met 30 massa% cubaan is  $8,6 \cdot 10^2 \text{ g L}^{-1}$  (293 K).

De dichtheid van gewone benzine,  $C_7H_{16}$ , is  $7,2 \cdot 10^2 \text{ g L}^{-1}$  (293 K).

In het informatieblok staan de verbrandingswarmtes van benzine en cubaan in mega Joule per kg, M = mega =  $10^6$ .

Aangenomen mag worden dat het aantal kilometers dat je kunt rijden met 1 liter brandstof evenredig is met het aantal joules dat bij verbranding van een liter brandstof vrijkomt.

Gebruik deze gegevens voor de uitwerking van vraag 11.

### Vraag

**11.** In deze opgave ga je uitrekenen hoeveel kilometer de raceauto kan rijden op 1,0 liter benzine waarin 30 massa% cubaan aanwezig is (293 K). Deze berekening voer je uit in een aantal stappen.

- Bereken met de gegeven verbrandingswarmtes uit het informatieblok hoeveel Joule er vrijkomt als je 1,0 gram zuiver cubaan verbrandt en hoeveel Joule er vrijkomt als je 1,0 gram gewone benzine verbrandt.
- Bereken de hoeveelheid energie (J) die vrijkomt als je 1,0 gram benzine verbrandt waarin 30 massa% cubaan is opgelost.

- c. Bereken nu de totale hoeveelheid energie (J) die vrijkomt bij de verbranding van 1,0 liter benzine met 30 massa% cubaan (293 K).
- d. Bereken de hoeveelheid energie die vrijkomt bij de verbranding van 1,0 liter gewone benzine.
- e. Bereken hoeveel kilometer de raceauto kan rijden op 1,0 L benzine met cubaan.

### 3.2 Alkenen

Een andere deelverzameling van de koolwaterstoffen wordt gevormd door de alkenen. De alkenen zijn afgeleid van de alkanen. Deze groep van stoffen vormt een homologe reeks met de algemene formule  $C_nH_{2n}$ . Deze stoffen blijken andere chemische eigenschappen te hebben dan de alkanen.

**Hexaan** wordt bij de schoenproductie gebruikt en kan leiden tot verstoring van de geleidingstijd van de zenuwen, de tijd dus die nodig is om een prikkel vanuit de hersenen naar bijv. de spieren te sturen. Een aantal schoenwerkers met deze klachten werden onderzocht ten tijde van de symptomen en een jaar nadat ze opgehouden waren met schoenen te werken en de blootstelling aan hexaan dus stopte. De geleidingstijd van de zenuwen was duidelijk gestoord, maar werd weer normaal nadat de patiënten geen contact meer hadden met hexaan.

#### Demonstratieproef 1: een aantonningsreactie

- a. Doe in een reageerbuis een paar mL hexaan(l). Doe in een tweede reageerbuis een paar mL hexeen(l). Aan beide buizen wordt een beetje broomwater toegevoegd. De buizen worden met een kurk afgesloten en even geschud.  
*Wat zie je ogenblikkelijk na het schudden?*
- b. Doe met behulp van een spatel wat dieetmargarine in een reageerbuis. Doe in een tweede reageerbuis wat roomboter. Voeg aan beide buizen een beetje broomwater toe. Doe een kurk op de buizen en schud krachtig.  
*Wat zie je nu?*

Bij het eerste proefje is hexaan met hexeen vergeleken. Alkenen hebben de kenmerkende eigenschap dat ze snel met broom reageren. Hexeen is gebruikt als voorbeeld van een alkeen. De formule van hexaan is  $C_6H_{14}$  en die van hexeen is  $C_6H_{12}$ . Ten opzichte van alkanen missen alkenen twee H-atomen in het molecuul. Dit kun je verklaren door aan te nemen dat in het molecuul van een alkeen een dubbele binding tussen de C-atomen voorkomt:  $C=C$ . Wij noemen de koolwaterstoffen met een dubbele binding tussen twee C-atomen in de moleculen ook wel onverzadigde koolwaterstoffen; ze zijn niet verzadigd met waterstofatomen. Dit in tegenstelling tot de verzadigde koolwaterstoffen, waarbij in de moleculen alleen enkelvoudige C—C bindingen voorkomen. Broomwater is een reagens op een onverzadigde verbinding. Vandaar dat in het tweede proefje broomwater werd ontkleurd, want zoals je van de reclame weet bevat een dieetmargarine meervoudige onverzadigde vetzuren.



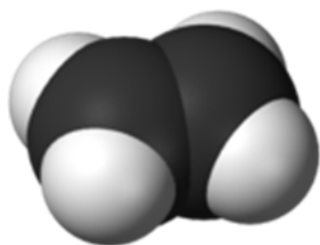
Figuur 9: Dieetmargarine

## Informatie 2

Veel mensen gaan ervan uit dat dieetmargarine en dieethalvarine minder vet bevatten dan gewone margarine en halvarine, maar is dit ook zo?

Nee! De vermelding "dieet" heeft niets te maken met de hoeveelheid vet, maar met de soort. Als het om de hoeveelheid vet gaat, is er geen verschil tussen de gewone en de dieetvarianten. Dieetmargarine bevat net als gewone margarine 80% vet en dieethalvarine net als gewone halvarine 40%.

De aanduiding "dieet" geeft aan dat ten minste 50% van het vet bestaat uit gezond meervoudig onverzadigd vet.



**Etheen** wordt geproduceerd door sommige rijpende vruchten. Deze worden climacterische vruchten genoemd. Enkele voorbeelden van climacterische vruchten zijn appels, bananen, avocado's en tomaten.



Etheen kan gebruikt worden voor het sneller laten rijpen van bananen (een mengsel van ca. 5 % etheen en de rest stikstof wordt als "banana gas" verkocht). Doordat bananen van nature al veel etheen afscheiden, werden ze vroeger in fruitkoelhuizen gebruikt om het rijpingsproces van andere vruchten te versnellen.

## Vraag

12. Leg uit wat meervoudig onverzadigd betekent.

## Karakteristieke groep

Bij de alkenen is de dubbele binding een karakteristieke groep. Bij de naamgeving van de alkenen ga je precies zo te werk als bij de alkanen. De dubbele binding in de koolstofketen geef je aan door het achtervoegsel **-een** in plaats van **-aan**. De plaats van de dubbele binding geef je aan met een plaatsnummer net zoals bij de zijgroepen. Dit plaatsnummer geeft het koolstofatoom aan waar de dubbele binding begint; bijvoorbeeld 1-buteen (zie figuur 10). Het begin van een dubbele binding moet zo laag mogelijk genummerd zijn; dus het is 1-buteen en niet 3-buteen.

molecuul-formule	naam	structuurformule
$C_2H_4$	etheen	$\begin{array}{c} H & & H \\ & \backslash & / \\ & C = C \\ & / & \backslash \\ H & & H \end{array}$
$C_3H_6$	propeen	$\begin{array}{c} & H & H \\ &   &   \\ H & & C - C - H \\ & \backslash & / \\ & C = C & \\ & / & \backslash \\ H & & H \end{array}$
$C_4H_8$	1-buteen	$\begin{array}{c} & H & H & H & H \\ &   &   &   &   \\ H & & C - C - C - C - H \\ & \backslash & / &   &   \\ & C = C & & H & H \end{array}$
	2-buteen	$\begin{array}{c} & H & H & H & H \\ &   &   &   &   \\ H - C & - C = C & - C - H \\ &   & &   \\ & H & & H \end{array}$
$C_nH_{2n}$		

Figuur 10: Enkele voorbeelden van alkenen

### Shell maakt nieuw soort biobenzine



Shell en Virent Energy Systems uit de Amerikaanse staat Wisconsin gaan werken aan het op grote schaal produceren van een nieuw soort biobrandstoffen. Onlangs meldde Shell dat deze brandstoffen in hoge mengverhoudingen in standaard benzinemotoren kunnen worden gebruikt. De twee bedrijven werken al een jaar samen aan onderzoek naar de nieuwe brandstoffen. De gepatenteerde BioForming-technologie van Virent is gebaseerd op een proces, waarin katalysatoren zorgen voor het rechtstreeks omzetten van plantensuikers in benzine. Bij de productie van gangbare biobrandstoffen zetten micro-organismen plantensuikers om in ethanol, die dan uit het water gedestilleerd moet worden. Deze destillatie is een zeer energie-intensieve stap in het proces. De BioForming-technologie maakt deze stap overbodig. In plaats hiervan vindt een spontane scheiding van alkanen en water plaats, met koolwaterstofbrandstoffen als eindproduct. Het gebruik van eetbare gewassen zoals graan of mais is niet langer nodig; cellulosehoudende plantenmaterialen zoals maishalmen, vingergras of stro volstaan. De voedselvoorziening komt zo veel minder in de verdrinking dan bij de productie van bio-ethanol.

Bron: Technisch Weekblad

### Vragen

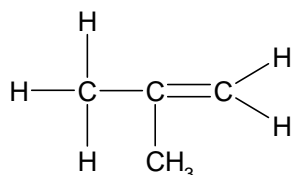
- 13.** Leg uit waarom bij propene geen plaatsnummer voor de dubbele binding hoeft te worden aangegeven.
- 14.** Geef de structuurformules voor de volgende stoffen.
- 2-penteen
  - 2,3-dimethyl-1-buteen
  - 1,3-butadien
- 15.** Hoe kun je met een proefje snel onderzoeken of zich in een voorraadpot een alkaan of een alkeen bevindt?
- 16.** Geef de structuurformules en de systematische namen van de isomere alkenen die voldoen aan de molecuulformule  $C_5H_{10}$ .

Zoals je waarschijnlijk al weet is de algemene formule voor de cycloalkanen ook  $C_nH_{2n}$ . Met andere woorden de alkenen zijn isomeer met de cycloalkanen.

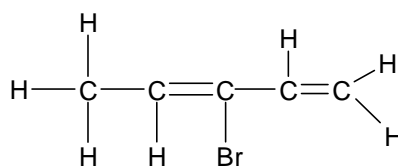
### Vragen

- 17.** Geef de structuurformules en systematische namen van alle isomeren die voldoen aan  $C_4H_8$ .
- 18.** Geef de systematische namen van de volgende stoffen.

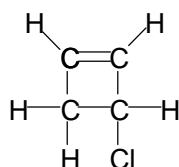
a.



b.



c.



Zoals je al eerder hebt gezien, ontstaan bij de destillatie van aardolie verschillende fracties. Iedere fractie heeft zijn eigen toepassing.

De vraag naar meer brandstoffen voor auto's neemt vandaag de dag nog steeds toe. Er is dus meer benzine nodig dan door destillatie uit ruwe olie is te halen. Daarom is men gaan zoeken naar een methode om ook uit de zware fracties benzine te maken. In de petrochemische industrie doet men dat via een ontledingsreactie met een zeoliet als katalysator. Het idee daarbij is dat de grote moleculen waaruit de koolwaterstoffen van de zware fracties bestaan, in kleinere moleculen worden 'gekraakt'. Naast alkanen ontstaan er dan alkenen. Sommige alkenen zijn weer de grondstof voor bijvoorbeeld kunststoffen.

### **Katalysator**

*Een katalysator is een hulpstof bij een chemische reactie. Het is een stof die de snelheid van een reactie vergroot zonder daarbij verbruikt te worden.*

*Een katalysator kan daardoor meerdere malen worden gebruikt. Een katalysator is meestal selectief, d.w.z. dat hij slechts één reactie bevordert.*

### **Demonstratieproef 2: kraken van een zware aardoliefractie**

Doe in een reageerbuis van moeilijk smeltend glas ongeveer 3 gram van een zware fractie. Voeg eveneens 3 gram van de katalysator zeoliet Y toe. De buis wordt afgesloten met een kurk waardoorheen een gasuitleidbuisje steekt. De buis wordt vastgeklemd in een statief.

- De zware fractie met de katalysator wordt zachtjes verhit en de ontwijpende damp wordt opgevangen in een erlenmeyer.
- Schenk een beetje broomwater in de erlenmeyer en schud het geheel goed.
- Als er geen gassen meer ontwijken, wordt de erlenmeyer vervangen door een reageerbuis waarin de naftafractie wordt opgevangen.  
*Vergelijk de geur en de kleur hiervan met de zware fractie.*

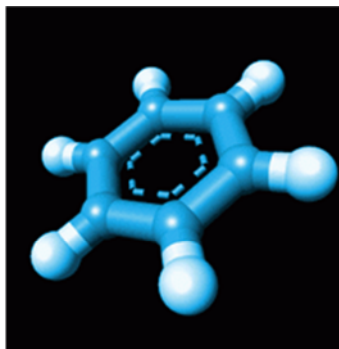
### **Vragen**

- Een voorbeeld van kraken is de omzetting van octadecaan,  $C_{18}H_{38}(s)$ , in onder andere octaan en één ander product.  
Geef de vergelijking voor dit kraakproces in molecuulformules.
- Bij het kraken van een alkaan kan nooit alleen een mengsel van alkanen ontstaan. Laat dit zien aan de hand van de reactievergelijking in molecuulformules voor de ontleding van  $C_{10}H_{22}$ . Neem aan dat dit in pentaan en in één andere stof ontleedt.
- In de natuur komt de koolwaterstof squaleen,  $C_{30}H_{50}$ , voor.  
Een molecuul van deze stof heeft een aantal dubbele bindingen.  
Bereken hoeveel dubbele bindingen dat zijn per molecuul.

### Aromatische koolwaterstoffen

Een bijzonder stabiel soort koolwaterstoffen die tot de ringvormige koolwaterstoffen behoren, zijn de aromatische koolwaterstoffen.

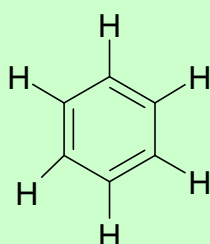
#### Informatie 3



Figuur 11: Ruimtelijke structuur van benzeen

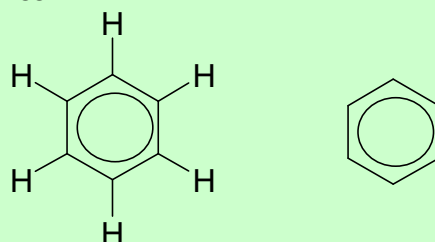
Een voorbeeld van een aromatische koolwaterstof is benzeen.

**Benzeen** heeft de molecuulformule  $C_6H_6$ . Je zou dus verwachten dat benzeen 3 dubbele bindingen in de ring heeft.



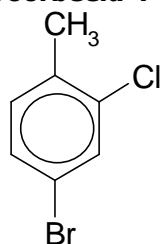
Uit experimenten blijkt echter dat benzeen niet reageert met broom en dat de bindingslengte tussen de C-atomen even groot is, terwijl je zou verwachten dat de lengte van de dubbele bindingen korter is dan de lengte van de enkele bindingen. De Duitser Kékulé (1829-1869) kwam op grond van de experimenten met de structuur zoals hieronder is weergegeven. In deze structuren zijn de elektronen anders geplaatst. Elk koolstofatoom heeft drie bindingen en het vierde elektron vormt samen met de elektronen van de andere C-atomen een bindende elektronenwolk in het midden van de ring koolstofatomen.

Stoffen waarvan de moleculen een benzeenring bevatten noemen we aromaten. Deze naam hebben ze te danken aan de sterke geur die sommige aromaten hebben. De structuurformule geven we als volgt weer:



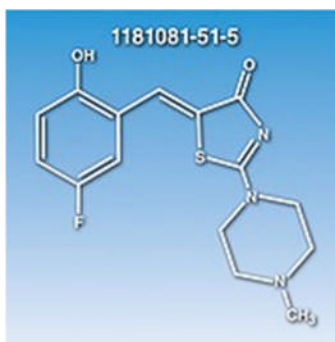
Met waterstofatomen of nog korter zonder waterstofatomen.

In de naamgeving wordt benzeen de stamnaam. Verder volgen de aromaten de regels van de systematische naamgeving.

**Voorbeeld 4**

- De stamnaam is benzeen
- De zijgroepen zijn een methylgroep, chloor en broom
- Plaatsing aan het eerste, het tweede en het vierde C-atoom

De systematische naam is dan: 4-broom-2-chloor-1-methylbenzeen

**Informatie 4**

*Figuur 12: Vijftig miljoenste molecuul.*

### **Vijftig miljoen moleculen - en nog één, en weer één - Iedere drie seconden een nieuwe verbinding ontdekt of gemaakt**

In september 2009 maakte Chemical Abstracts Service, onderdeel van de American Chemical Society, de registratie van het **vijftig miljoenste molecuul** bekend. De snelheid waarmee chemici nieuwe moleculen vinden of maken neemt duizelingwekkende vormen aan. Op naar de honderd miljoen! Het is nog maar 9 maanden geleden dat het 40 miljoenste molecuul werd gemeld. Ter vergelijking: het 10 miljoenste molecuul werd in 1990 opgenomen in de toen nog papieren Chemical Abstracts. Te berekenen valt dat het afgelopen jaar iedere 2,6 seconde een nieuwe verbinding geïsoleerd of gesynthetiseerd werd. Dag en nacht, zeven dagen per week, week in week uit. In het minuutje dat je dit leest zijn er dus al weer 22 bijgekomen.

### **Structuurformule van nummer vijftig miljoen**

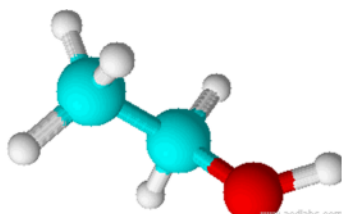
Het vijftig miljoenste molecuul is een zogenaamd heterocyclisch arylmethylideen met de officiële naam (5Z)-5-[(5-fluor-2-hydroxyfenyl)methyleen]-2-(4-methyl-1-piperaziny)-4(5H)-thiazolon. Het is een verbinding met pijnstillende eigenschappen, vermeld in een octrooi van de Canadese firma Chlorion Pharma. Het arylmethylideen kreeg CAS registratienummer 1181081-51-5.

© CAS

### 3.3 Opdracht

Maak een schematisch overzicht (woordweb) waarin alle koolwaterstoffen, die je tot nu toe geleerd hebt, worden samengevat.

### 3.4 Alkanolen



*Figuur 13: Een model van de ruimtelijke structuur van ethanol*

Eén van de brandstoffen die jullie konden gebruiken bij de module ECOreizen was bio-ethanol,  $C_2H_5OH(l)$ . Een molecuul ethanol heeft 2 C-atomen en is afgeleid van ethaan. Ethanol behoort tot de alkanolen. De alkanolen kun je herkennen aan de **kenmerkende groep: -OH**, de hydroxylgroep, de **stamnaam eindigt op -ol**.

In het algemeen kun je zeggen dat de alkanolen zijn afgeleid van de alkanen. In de systematische naamgeving wordt de -OH groep met een plaatsnummer aangegeven. De -OH groep moet aan een C-atoom zitten met een zo laag mogelijk nummer. De -OH groep is belangrijker dan de dubbele band en bepaald de uitgang van de stamnaam. Zie Binas tabel 66D, voorbeeld 4.

molecuul-formule	naam	structuurformule
$CH_3OH$	methanol	
$C_2H_5OH$	ethanol	
$C_3H_7OH$	1-propanol	
$C_3H_7OH$	2-propanol	
$C_nH_{2n+1}OH$		

*Figuur 14: Enkele voorbeelden van alkanolen*



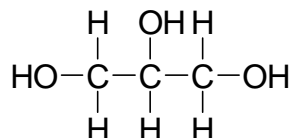
### Vragen

22. Geef de structuurformules voor de volgende stoffen.

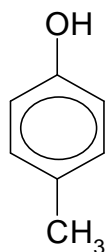
- 2-pentanol
- 2,3-dimethyl-1-hexanol
- 1,2-cyclopentaandiol

23. Geef de systematische namen van de volgende stoffen.

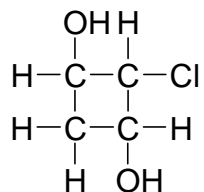
a.



b.

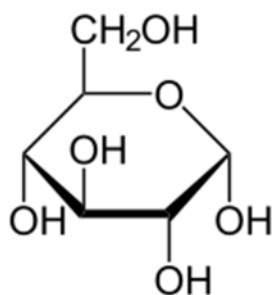


c.



24. Geef de structuurformules en de systematische namen van alle isomeren die voldoen aan  $\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$ .

### 3.5 Koolhydraten



Figuur 15: Structuurformule van glucose

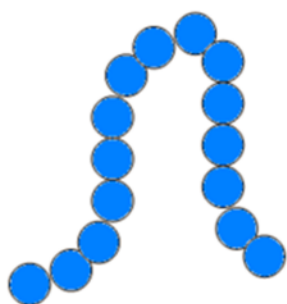
De bekendste koolhydraten die jullie zouden moeten kennen zijn zetmeel en suiker. Zetmeel zit in veel voedingswaren als brood, aardappelen en pasta. Suiker die je in de thee doet heet sacharose  $\text{C}_{12}\text{H}_{22}\text{O}_{11}$ . Een andere bekende zoetstof uit de sportwereld is glucose (druivensuiker)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ . Koolhydraten worden ook wel sachariden genoemd. In Binas tabel 67A vind je de structuurformules van een aantal belangrijke sachariden, maar deze structuren zijn schematisch weergegeven. Een aantal atomen is niet getekend. De zeshoek bij glucose bevat, behalve bij het O-atoom, op ieder hoekpunt een C-atoom. De H-atomen die aan deze koolstofatomen zijn gebonden, zijn ook niet weergegeven. Verder kun je de zeshoek zien als een plat vlak, waarbij de aangegeven -OH en - $\text{CH}_2\text{OH}$  groepen onder of boven dit vlak liggen.

Twee monosachariden kunnen onder afsplitsing van een watermolecuul aan elkaar koppelen, er ontstaat dan een disacharide. Dit heet een condensatiereactie.

### Vragen

- 25.** Geef de reactievergelijking in volledige structuurformules van glucose met fructose tot sacharose.
- 26.** Leid uit de structuurformules van maltose en lactose af uit welke monosachariden deze disachariden zijn opgebouwd.

### Informatie 5



Figuur 16: Model van een polymeer

#### Polystyreen



Polystyreen wordt vaak gebruikt voor goedkope geperste voorwerpen zoals wegwerpbeertjes en frietbakjes. Polystyreen wordt ook als schuim geproduceerd door toevoeging van  $\text{CO}_2$ . Het kan dan gebruikt worden als verpakkingsmateriaal en geperst als platen bijvoorbeeld bij de wegenbouw.

#### Inleiding polymeren

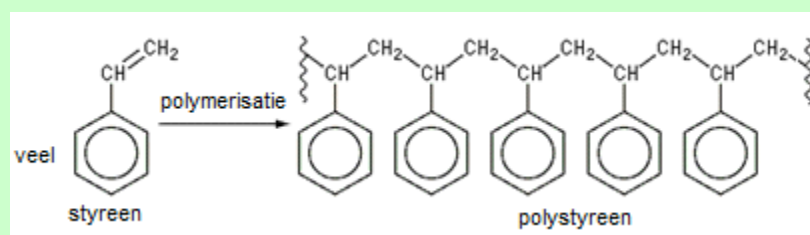
Als we in het algemeen naar polymeren kijken, kunnen we het volgende zeggen: alle polymeren hebben één ding gemeen, ze bestaan allemaal uit lange moleculen, ook wel macromoleculen genoemd. De meeste polymeren kun je maken uit één eenvoudige grondstof. Een dergelijke grondstof wordt een monomeer genoemd, het is een klein molecuul. Bij het ontstaan van een polymeermolecuul worden heel veel monomeermoleculen aan elkaar gekoppeld. Dit geldt voor alle polymeren of ze nu natuurlijk zijn (wol, zijde, katoen) of dat ze synthetisch zijn (nylon, polyetheen, polystyreen). De synthetische polymeren worden vaak plastics of kunststoffen genoemd.

Waar komt de naam polymeer vandaan?

Stel je het model voor in figuur 16. Je rijgt een ketting van kralen. Elke kraal stelt een monomeermolecuul voor. Je maakt hiervan een kralenketting. Het resultaat is een polymeermolecuul. Een polymeer krijgt de naam van het monomeer waaruit het is gemaakt, vooraf gegaan door het woord 'poly'. Je kunt dus zeggen dat heel veel monomeren samen een polymeer vormen.

#### Voorbeeld

Uit veel styreenmoleculen wordt de kunststof polystyreen gemaakt.





Figuur 17: Pasta etende sportster

### Enzym

Een enzym wordt ook wel een biokatalysator genoemd. In het lichaam is het een hulpstof bij een chemische reactie. Een enzym is meestal selectief, d.w.z. dat het slechts één reactie bevordert.

### Koolhydraten

Koolhydraten (Binas tabel 67A) kun je in drie groepen verdelen:

- Monosachariden, bijvoorbeeld glucose en fructose
- Disachariden, bijvoorbeeld sacharose
- Polysachariden, bijvoorbeeld zetmeel, glycogeen en cellulose

## Functies koolhydraten

### • Energieleverancier

**Zetmeel**, ook wel amylose (Binas tabel 67A) genaamd, is één van de belangrijkste voedingsstoffen. Zetmeel is een polymeer, een reuzenmolecuul, dat gemaakt is door heel veel glucose moleculen (monomeren) aan elkaar te koppelen. Zetmeel wordt, tijdens het kauwen van voedsel, met behulp van het enzym amylase in de mond afgebroken, gehydrolyseerd. Dat wil zeggen dat zetmeel tijdens de spijsvertering met water reageert. Hierbij ontstaat uiteindelijk glucose. Een deel van de glucosemoleculen wordt opgenomen in ons bloed en naar de cellen getransporteerd, waar ze worden verbrand. Op deze wijze voorziet glucose in je energiebehoefte.

Een ander deel van de glucosemoleculen reageert tot het polymeer **glycogeen**. Glycogeen wordt opgeslagen in de lever en in het spierweefsel, dat is de energievoorraad voor de mens. Als het lichaam snel behoefte heeft aan energie, dan wordt het glycogeen gehydrolyseerd. Hierbij ontstaat weer glucose, dat naar de cellen wordt getransporteerd en daar wordt verbrand.

### Vraag

- 27.** Geef de reactievergelijking voor de hydrolyse van zetmeel. Gebruik de structuurformule van zetmeel uit Binas tabel 67A.

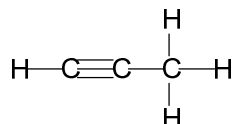
### • Bouwstof van planten

Cellulose is het koolhydraat dat het meest voorkomt op aarde. Net als zetmeel is het ook een polymeer dat gemaakt is van het monomeer glucose. Het is de bouwstof van celwanden van planten en bomen. Cellulose kan niet worden afgebroken in het spijsverteringskanaal van de mens. Koeien kunnen wel cellulose verteren met behulp van bacteriën die in hun maag-darmkanaal aanwezig zijn. Daardoor kunnen koeien gras eten. Hout bestaat voor 50 procent uit cellulose.

### Extra oefening

- Ga naar <http://www.curie-online.nl/>
- Klik in het linker menu op leerling
- Klik op vwo 1
- Klik op 2 koolstofchemie 1
- Klik op Oefenen met het geven van namen aan koolstofverbindingen

PS Je komt structuurformules tegen met als karakteristieke groep een drievoudige binding tussen twee C atomen. Dit zijn de alkynen en die hoef je niet te leren. Bijvoorbeeld: propyn



### **Wat je nu moet weten**

- **Structuurformules en systematische naamgeving van**
  - Alkanen
  - Cycloalkanen
  - Alkenen
  - Benzeen
  - Alkanolen
  - Koolhydraten
    - Functies
    - Indeling (Binas tabel 67A)
- **Karakteristieke groepen**
- **Isomeren**
- **Kraken**
- **Katalysator**
- **Enzym**

# 4. ECObrandstoffen



**“ECObrandstoffen worden ook wel groene brandstoffen genoemd, maar meestal biobrandstoffen.”**

## Artikel 1



*Figuur 1: Feed or fuel?*

### Voedsel stuk duurder door populariteit bio-brandstoffen 27-01-2007

AMSTERDAM - De opmars van biobrandstoffen gaat zo snel dat de prijzen van bepaalde voedingsmiddelen stijgen. De grondstoffen voor bio-ethanol en biodiesel (maïs in de VS, koolzaad in Europa, palmolie in Azië) worden veel gebruikt in de voedingsmiddelenindustrie.

‘Ik prijs de dag dat onze grondstoffen niet meer voor biodiesel worden gebruikt’, klaagt Jurjen Rollingswier, directeur van frituurvetproducent Levo uit Franeker. Unilever waarschuwde enkele maanden geleden voor tekorten aan plantaardige olie. Het alternatief, dierlijke vetten, is slechter voor de gezondheid.

Mexico is woensdag massaal uitgelopen om te protesteren tegen de niet te stuiten prijsverhogingen van de maïs, de basis van de dagelijks voeding van miljoenen Mexicanen. Vakbonden, boerenorganisaties en oppositiepartijen eisen tevens een drastische wijziging van het economische beleid omdat dit ertoe heeft geleid dat Mexico zichzelf niet meer kan voeden.

Boosdoener zouden de Amerikaanse ethanolfabrieken zijn. Volgens de biobrandstofindustrie en veel wetenschappers zijn de prijsstijgingen tijdelijk. Door nieuwe technologie kunnen straks ook niet-eetbare gewassen voor biobrandstof worden gebruikt, zoals gras en houtsnippers.

Bron: <http://www.volkskrant.nl/economie/article391656.ece/>

Voedsel\_stuk\_duurder\_door\_populariteit\_biobrandstoffen

## Artikel 2



*Figuur 2: Portugese wijnen*

### Portugese wijn verwerkt tot biobrandstof 22-07-2006

BRUSSEL (ANP) - Bijna 200.000 hectoliter Portugese tafelwijn wordt verwerkt tot industriële alcohol en biobrandstof. De Europese Commissie heeft dat besloten, op verzoek van Portugal. Het land kampt met een wijnoverschot, zo is zaterdag bekend geworden.

De Europese Commissie besloot eerder hetzelfde voor 6,4 miljoen hectoliter overtollige wijn uit Frankrijk, Italië, Spanje en Griekenland. De Europese Commissie is de geldverslindende crisisdistillatie van de wijnplaspas meer dan zat.

Bron: <http://www.trosradar.nl/?url=PHP/news/19/1459>

### Vragen

1. Biobrandstoffen is een verzamelnaam. Verschillende fossiele brandstoffen kunnen worden vervangen door een 'bio'-variant. Noem drie biobrandstoffen.
2. Noem drie andere grondstoffen dan Portugese tafelwijn waarvan je een biobrandstof zou kunnen maken.



Figuur 3: Gevolgen van versterkt broeikaseffect.

Uit andere krantenartikelen blijkt dat de Europese Unie steeds minder fossiele brandstoffen wil gebruiken omdat deze klimaatveranderingen zouden veroorzaken. Maar wat is dan eigenlijk het probleem met fossiele brandstoffen? Olie, gas en steenkool zijn koolstofverbindingen die zijn ontstaan uit resten van plantaardig en dierlijk materiaal uit het geologisch verleden van de aarde. Eén van de grote problemen met deze energiebronnen is dat de mens ze veel sneller opmaakt dan dat er nieuwe voorraden worden gevormd. Binnen één eeuw is de olie en het gas op. Daarnaast veroorzaakt de verbranding van fossiele brandstoffen een hogere concentratie koolstofdioxide (CO<sub>2</sub>) in de atmosfeer. Hierdoor ontstaat een versterkt broeikaseffect waarvan de veranderingen al merkbaar zijn.

### Vraag

3. Kun je nog een probleem met fossiele brandstoffen noemen?

Auto's en vrachtwagens kunnen niet alleen op benzine of diesel rijden, maar ook op biobrandstoffen. Dat vermindert het gebruik van fossiele brandstoffen en belast het milieu minder. In landen als Brazilië en de VS rijden auto's al op een mengsel van benzine en bio-ethanol uit suikerriet en maïs. In Duitsland en Zweden tanken sommige vrachtwagens biodiesel uit koolzaadolie. Al deze grondstoffen noemen wij biomassa.

### Biomassa



*Het aantal auto's blijft maar groeien, de vraag naar olie blijft maar stijgen, en de prijs van een vat olie daarmee ook. En deze dorst naar olie vergroot ook de druk op de natuur. Tijd dus voor een andere aanpak.*

Alles wat groeit en bloeit is biomassa. Variërend van landbouwgewassen als maïs, suikerriet, aardappelen en soja tot bosbouwproducten. Verder ook al het biologisch afbreekbaar afval uit de industrie en huishoudens. Biomassa zit boordevol nuttige verbindingen. Zo bevatten soja, palmolie en koolzaad bruikbare olie voor biodiesel, terwijl suikerbieten en maïs de grondstoffen leveren voor bio-ethanol.

Nadeel van al deze gewassen is dat ze beslag leggen op kostbare landbouwgrond en dus concurreren met de voedselproductie. Maar gelukkig worden er nieuwe en slimmere technologieën ontwikkeld die het mogelijk maken om bio-ethanol te maken uit restmateriaal zoals stro en houtsnippers. En in de toekomst misschien wel uit algen die in de zee groeien.

### Vraag

4. Noem twee voordelen en twee nadelen van het gebruik van biobrandstoffen.

## 4.1 Indeling biobrandstoffen

### • **Biobrandstoffen van de eerste generatie**

Biobrandstoffen van de eerste generatie zijn gebaseerd op suikers, zetmeel, plantaardige olie of dierlijke vetten, die met conventionele chemische processen of vergisting worden omgezet in brandstoffen. Het gaat hier meestal om brandstoffen gemaakt uit voedselgewassen.

Biodiesel wordt onder andere verkregen uit koolzaad, zonnebloem en soja. Bio-ethanol wordt onder andere verkregen uit maïs, suikerbiet, suikerriet en ook tarwe en gerst.



*Figuur 4: Oogsten van wilgen.*



*Figuur 5: Stro als grondstof voor tweede generatie biobrandstoffen.*

### • **Biobrandstoffen van de tweede generatie**








Biobrandstoffen die niet aan voedsel gerelateerd zijn, worden meestal de tweede generatie genoemd. Deze worden gemaakt uit planten die hiervoor geteeld worden (energiegewassen) of uit oneetbare gedeelten van voedselgewassen. Deze planten bevatten echter veel lignocellulose en dat is relatief lastig om te zetten in energie.

Biobrandstoffen van de tweede generatie worden onder andere gemaakt uit:

- Energiegewassen zoals wilgen
- Houtsnippers
- Stro
- Oneetbare gedeelten van voedselgewassen
- Gebruikt frituurvet
- Afval

Deze biobrandstoffen hebben niet de nadelen van de eerste generatie. Verscheidene cellulose-ethanol testfabrieken zijn reeds operationeel. Alleen in Canada is de eerste echte commerciële cellulose-ethanol fabriek: Iogen Corporation. Deze maakt sinds 2004 cellulose-ethanol uit stro. In de Verenigde Staten worden een paar fabrieken opgestart in 2010. Naast plantaardig materiaal wordt ook afval gebruikt als biobrandstof. De enige voorwaarde is dat ze van organisch-biologische aard zijn en dus geen giftige stoffen bevatten, die het productieproces kunnen verstoren.

In deze module beperken we ons tot het maken van bio-ethanol.

EERSTE EN TWEEDE GENERATIE BIOBRANDSTOFFEN							
	eerste generatie				tweede generatie		
grondstof	 suikerriet / maïs / suikerbiet / tarwe / gerst	 koolzaad / soja / zonnebloem	 zonnebloem / koolzaad / soja	 biomassa	 stro / hout	 biomassa	 natte biomassa (GFT, hout, slib)
component	suikers	oliemethylester	olie	methaan	cellulose/suikers	CO en H <sub>2</sub>	organisch materiaal
brandstof	bio-ethanol	biodiesel	pure plantaardige olie (PPO)	biogas	cellulose ethanol	diesel	biocrude

*Figuur 6: Overzicht eerste en tweede generatie biobrandstoffen*



### **KLM-kist de lucht in op biokerosine**

*De KLM heeft als eerste maatschappij ter wereld een passagiersvlucht gemaakt op biokerosine. Een van de motoren draaide op Camelina. Dat wordt gemaakt van de plant die ook zo heet.*



*De Latijnse naam is Camelina sativa. In het Nederlands wordt de plant huttentut genoemd. Het is een plant die in het wild voorkomt. Ook in Nederland staan de wegbermen er vol mee.*

*Het KLM-toestel vertrok vanaf Schiphol. Een van de passagiers was minister Van der Hoeven van Economische Zaken. Na een uur werd het vliegtuig weer veilig aan de grond gezet.*

### • **Biobrandstoffen van de derde generatie**

Ter onderscheiding van de tweede generatie wordt naar diverse nieuwe ontwikkelingen verwezen als derde generatie biobrandstof. In Nederland wordt hieronder vaak biobrandstof uit algen verstaan. Gebruik van algen als biobrandstof heeft als voordeel dat het niet concurreert met voedsel of ander gebruik van planten. De algen worden speciaal voor dit doel gekweekt. Algen worden nog maar op beperkte schaal gebruikt, maar zijn wel in opkomst. Er wordt op het moment veel onderzoek gedaan en geëxperimenteerd naar biobrandstof uit algen. Zelfs de KLM wil nu proberen biokerosine te winnen uit algen. Dit om schoon en goedkoop te kunnen vliegen. Met behulp van genetische technologie kan de productie door algen en/of bacteriën verder verhoogd worden.

### Artikel 3

## Nog even geduld voor biodiesel uit algen

**Is het nu echt zo'n gek idee om biobrandstof uit algen te kweken? Ondanks enkele negatieve geluiden hebben René Wijffels, hoogleraar bioprocesstechnologie, en Maria Barbosa, projectmanager, van Wageningen UR (WUR) reden genoeg om te geloven dat het best gaat lukken. In het vooraanstaande blad *Science* beargumenteren ze waarom.**

Volgens Wijffels duurt het nog zo'n tien tot vijftien jaar voordat je brandstof én winst uit algen verkrijgt. Samen met Barbosa onderzoekt Wijffels aan de WUR aan welke voorwaarden algenkweek voor biobrandstof moet voldoen. Daarvoor bouwen ze met investeringen uit het bedrijfsleven en de overheid het proefcentrum AlgaePARC, met speciale algenreactoren waarin ze proeven doen. Eind 2010 beginnen ze met de eerste experimenten. Het idee is dat de investerende bedrijven daar uiteindelijk de vruchten van plukken en biodiesel uit algen commercialiseren.



*Figuur 7: Een computerafbeelding van de testopstelling bij AlgaePARC in Wageningen.*

Hoe goed moeten de algen zijn om te concurreren met gewone brandstoffen? Wijffels en Barbosa geven een rekenvoorbeeld. Stel dat heel Europa op biodiesel moet rijden en vliegen. Als je die brandstof puur uit algen wil halen, moet je een oppervlak zo groot als Portugal inrichten met algenkwekerijen.

## Nog even geduld voor biodiesel uit algen (vervolg)



*Figuur 8: Hoe algen precies in elkaar steken is een groot raadsel. Wel weten we dat ze er mooi uitzien.*

Addertje onder het gras is dat de algen dan per hectare maar liefst 40.000 liter biodiesel moeten produceren – iets wat nu nog niet gebeurt. Bij algendiesel zijn de belangrijkste obstakels de hoge kosten bij het scheiden van algen en olie, lage opbrengst, dosering van zonlicht en voedingsstoffen, en waterverspilling. Sommige hindernissen, zoals waterverspilling, worden nu al aangepakt en lijken niet onoverkomelijk. Bedrijven en onderzoekers testen nieuwe manieren om water rond te pompen en schoon te houden.

Omdat algen eencellige dieren zijn die je met miljoenen tegelijk volledig kunt onderdompelen, zijn ze zuinig met water. Laboratoriumproeven wijzen erop dat het technisch mogelijk is om per kilo biodiesel slechts anderhalve liter zoet water te verbruiken. Dat is vele malen zuiniger dan andere biobrandstofbronnen. Neem biodiesel uit koolzaad: een liter daarvan kost zo'n tienduizend liter water.

Lastiger is de alg zelf. Niemand weet welke algensoort het best werkt in een biobrandstofreactor. De ideale alg is in ieder geval nog niet gevonden: dat is er een die de basisoliën voor biodiesel zelf afscheidt, efficiënt omgaat met zonlicht, een goede weerstand tegen ziektes heeft, en zonder al te veel moeite voldoende biodiesel aflevert.

Het zal wel zo'n tien à vijftien jaar duren voordat al deze obstakels worden overwonnen. Belangrijk voor bedrijven is volgens Wijffels het besef dat je tot die tijd bezig bent met algen waar meer energie in dan uitgaat. "Zo is het altijd met zulke projecten. De eerste algenreactor is duurder dan de tiende, en dat is heel normaal. Alleen startende bedrijven die zich daar bewust van zijn, zichzelf een spiegel blijven voorhouden, komen op lange termijn vooruit."

R.H. Wijffels en M.J. Barbosa. *An Outlook on Microalgal Biofuels*. Science, 13 augustus 2010.

Bron: <http://www.kennislink.nl/publicaties/noq-even-geduld-voor-biodiesel-uit-algen>

## Artikel 4



*Figuur 9: Reuzenriet*



*Figuur 10: Onderzoeker Stephen Long*

### Gras in de tank

Het vaste gras *Miscanthus x giganteus*, ook wel bekend als reuzenriet, is een ideaal gewas voor de productie van biobrandstof. Uit een grote proef van de Universiteit van Illinois blijkt dat het gras meer energie levert en minder landbouwgrond kost dan de huidige gewassen bestemd voor biobrandstof. Deze ontdekking levert een grote bijdrage aan het halen van de doelstellingen van de Europese Commissie om fossiele brandstoffen op termijn te vervangen door biobrandstof.

*Miscanthus x giganteus*, levert volgens de Amerikaanse onderzoekers 2,5 keer zoveel bio-ethanol op per hectare als maïs, één van de belangrijkste gewassen voor de productie van biobrandstof. De belangrijkste reden hiervoor is de lange bloeiperiode van het gras. In het voorjaar verschijnen bij *Miscanthus* de groene bladeren ongeveer zes weken eerder dan bij maïs. Ook blijft het gras groen tot eind oktober, in tegenstelling tot maïs wat in augustus al verdort. Groene bladeren bevatten chlorofylen, of bladgroenkorrels, die zonlicht omzetten in energie. Hiervan maakt de plant nieuwe bladeren en stengels, die weer dienen als grondstof voor de productie van bio-ethanol. Het vaste gras *Miscanthus x giganteus* heeft grote bladeren en groeit langer dan maïs. Dit maakt het een goede bron voor biobrandstoffen.

#### Vast gras

De Europese Commissie bepaalde dat in 2020 minstens tien procent van alle brandstof een biologische oorsprong moet hebben. Door maïs als grondstof voor de biobrandstof te gebruiken dreigt er een conflict met de voedselindustrie, wat een prijsstijging van onder meer brood als gevolg heeft. De *Miscanthus* lijkt een goed alternatief vanwege de lange bloeitijd en de mogelijkheid om op relatief arme grond te gedijen. “We vonden dat *Miscanthus* het beste groeide op de armste stukken grond van Illinois”, vertelt Stephen Long, professor in landbouwwetenschappen aan de Universiteit van Illinois. “Hieruit blijkt dat we dit type gewas kunnen laten groeien op plekken die niet worden gebruikt voor het verbouwen van maïs.” Een bijkomend voordeel is dat *Miscanthus* de grond sneller verrijkt dan gewone landbouwgewassen doordat het een vast gras is. Het zet meer CO<sub>2</sub> om in biomassa, waarvan een deel in de bodem verdwijnt in de vorm van wortels en afgevallen bladeren. Andere planten gebruiken deze biomassa op hun beurt als basis voor hun eigen groei. Hiermee levert *Miscanthus* tevens een bijdrage aan het verwijderen van het broeikasgas CO<sub>2</sub> uit de atmosfeer. Onderzoeker Stephen Long van de Universiteit van Illinois voerde op grote schaal een proef uit met zijn reuzengras *Miscanthus*.

#### Verdrievoudigen

Volgens Long staat *Miscanthus* nog in de kinderschoenen als gewas voor biobrandstof. “Niemand heeft nog iets gedaan om dit gewas te verbeteren. Als we net als met maïs de opbrengst in vijftig jaar kunnen verdrievoudigen, dan is het niet ondenkbaar dat we meer dan 2,5 keer zoveel bio-ethanol eruit kunnen halen. En het is nog beter als het lukt om dat op grond te doen die nu niet voor landbouw wordt gebruikt.”

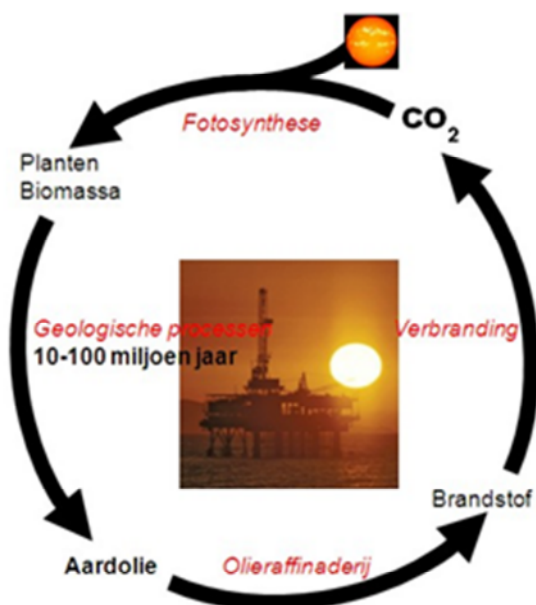
In artikel 4 worden maïs en *Miscanthus x giganteus* genoemd als grondstoffen voor de productie van bio-ethanol.

### Vragen

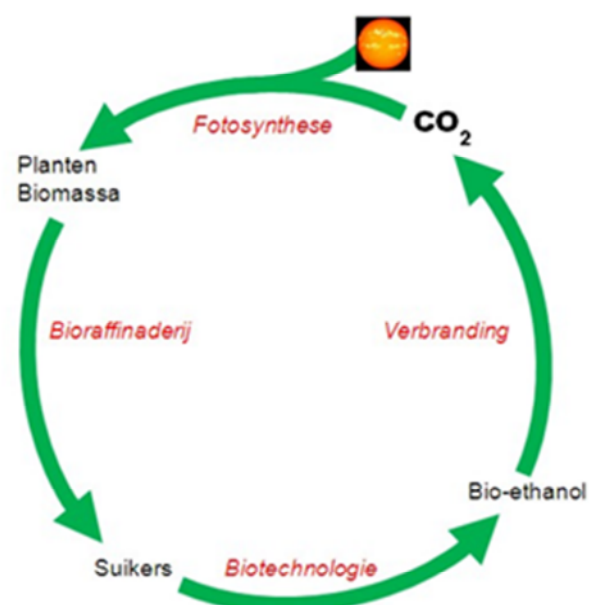
5. Leg uit tot welke generatie biobrandstoffen maïs en *Miscanthus x giganteus* behoren.
6. Geef drie redenen waarom de Europese Commissie de voorkeur geeft aan *Miscanthus* als grondstof voor een biobrandstof.

## 4.2 De koolstofkringloop in balans

In figuur 1 van paragraaf 2.1 hebben jullie al beredeneerd waarom de daar weergegeven koolstofkringloop uit balans is. Plantenmateriaal is gedurende miljoenen jaren onder hoge druk omgezet tot aardolie in geologische reservoirs. Deze worden door de olie industrie binnen honderd jaar gemijnd en tot brandstof verwerkt. Vervolgens komen er bij de verbranding grote hoeveelheden  $\text{CO}_2$  vrij. Doordat deze veel langzamer weer worden opgenomen raakt de koolstofkringloop uit balans. Dit is op te lossen door de brandstof net zo snel te vormen als dat deze wordt verbrand. Planten leggen  $\text{CO}_2$  vast in de vorm van verschillende suikers. Als we auto's op die suikers zouden kunnen laten rijden is het kringetje rond.



Figuur 11: De koolstofkringloop uit balans



De koolstofkringloop in balans: opname = uitstoot.

**CO<sub>2</sub> -neutraal**

ABN AMRO en Eneco versturen vanaf 1 januari 2009 hun postzendingen CO<sub>2</sub>-neutraal via **Groene Post** van TNT Post. Het aantal postzendingen dat sinds 1 januari 2008 CO<sub>2</sub>-neutraal wordt verzonden, stijgt hierdoor met ruim 163 miljoen stuks. Groene Post biedt zakelijke klanten van TNT Post de mogelijkheid om met de CO<sub>2</sub>-calculator op de website [www.groenepost.nl](http://www.groenepost.nl), de CO<sub>2</sub>-uitstoot van hun post- en pakketzendingen te berekenen. TNT Post verdubbelt dit bedrag en de opbrengsten komen vervolgens ten goede aan een door TNT `geadopteerd windmolenpark` in India, waar 34 windmolens zorgen voor de productie van groene energie. De activiteiten van TNT ter bescherming van het klimaat zijn gebundeld onder de noemer Planet Me. Een wereldwijd milieuprogramma dat zich onder andere richt op het drastisch verminderen van de CO<sub>2</sub>-uitstoot in alle operationele activiteiten.

Micro-organismen kunnen sommige suikers uit planten omzetten in ethanol (alcohol). Bio-ethanol kan worden gebruikt als brandstof. Binnenkort gaan we in een practicum onderzoeken wat de beste manier is om bio-ethanol te maken uit plantenmateriaal (biomassa).

**Vragen**

7. Om te voldoen aan de groeiende vraag naar bio-ethanol zullen er ook meer planten verbouwd moeten worden. Maar hier kleven ook nadelen aan. Noem twee negatieve kanten van de landbouw.
8. Welke planten zijn volgens jou het beste om te gebruiken als basis voor bio-ethanol?

**CO<sub>2</sub> -neutraal**

CO<sub>2</sub>-neutraal of Klimaatneutraal zijn termen die aangeven dat een proces niet bijdraagt aan klimaatverandering. Klimaatcompensatie en CO<sub>2</sub>-compensatie zijn termen die aangeven dat voor een organisatie, een productie proces of een product, de uitstoot van broeikasgassen, zoals CO<sub>2</sub>, wordt gecompenseerd.

**Vragen**

9. Biobrandstoffen van de tweede generatie worden CO<sub>2</sub>-neutraal genoemd. Leg in eigen woorden uit wat hiermee wordt bedoeld.
10. Leg uit waarom de tweede generatie biobrandstoffen een grotere CO<sub>2</sub>-reductie oplevert dan de eerste generatie.

**Film Industriële Biotechnologie (7 min.)**

Ga naar <http://www.scheikundeinbedrijf.nl/Mediatheek/index.rails> en bekijk bij Beeldmateriaal de film Industriële Biotechnologie. Om in te loggen moet jij je eerst registreren, maar dat gaat heel snel. Beantwoord onderstaande kijkvragen.

**Kijkvragen**

1. Waarom wil de industrie aardolie als grondstof vervangen door plantenmateriaal?
2. Voor het maken van welke producten worden micro-organismen nu al gebruikt?
3. Leg uit dat plantaardig materiaal hernieuwbare grondstoffen zijn. Gebruik in je uitleg het begrip CO<sub>2</sub>-neutraal.

### 4.3 Het wonder van bakkersgist *Saccharomyces cerevisiae*



Figuur 12: Gist

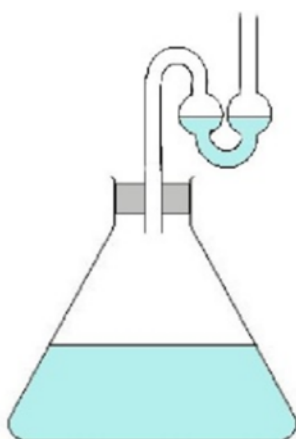
Er is één micro-organisme waarvan al duizenden jaren bekend is dat het in staat is uit planten ethanol te maken en dat is *Saccharomyces cerevisiae* oftewel bakkersgist. Mensen ontdekten al vroeg dat deze eigenschap goed gebruikt kon worden voor de bereiding van dranken zoals wijn en bier. Nu blijkt dat auto's prima in staat zijn te rijden op een mengsel van ethanol en benzine. Op het ogenblik wordt het merendeel van de geproduceerde auto's in Brazilië al voorzien van motoren die op puur ethanol kunnen draaien. Ook in de Verenigde Staten tanken steeds meer mensen E85, een mengsel van 85% ethanol en 15% benzine.

Gist is de naam voor 700 tot 1000 verschillende soorten micro-organismen waarvan de gewone bakkersgist (= biergist, = wijngist) de bekendste vertegenwoordiger is. Gisten zijn biochemisch het best te beschouwen als eencellige schimmels. Gisten onderscheiden zich van bacteriën door het bezit van een celkern en zijn ook groter. *Saccharomyces* gisten zijn in staat om sommige suikers om te zetten in ethanol en koolstofdioxide.

#### Vergisting

Vergisting is het proces waarbij gist suikers omzet in andere stoffen. Gist kan suikers gebruiken om nieuwe celbouwstoffen te maken voor zijn eigen voortplanting of om ethanol te maken. De aërobe (in aanwezigheid van zuurstof) omzetting van suikers levert de gistcel veel meer energie dan de anaërobe (zonder zuurstof) omzetting. Deze energie gebruikt de gist om te groeien.

Ethanol wordt alleen gevormd tijdens de anaërobe omzetting van suikers. Wanneer er zuurstof aanwezig is zal de gist bij voorkeur de aërobe reactie uitvoeren aangezien dit veel meer energie oplevert. Omdat wij zoveel mogelijk ethanol willen produceren is het belangrijk dat we dus zorgen dat de gistcellen geen zuurstof krijgen.



Figuur 13: Erlenmeyer met waterslot

#### Vraag

- 11.** Geef twee voorbeelden waarbij wij in het dagelijks leven gebruik van gist om anaëroob suikers om te zetten? Hoe merk je de aanwezigheid van gist?

#### Demonstratieproef: Ethanol maken door vergisting van glucose

##### Benodigheden

Erlenmeyer of rondbodemkolf  
Waterslot  
Glucose of suiker  
Gedroogd bakkersgist  
Lauw water (35°C)

### Werkwijze

Doe 2 eetlepels (40 g) glucose in de erlenmeyer.

Voeg 400 mL lauw water toe en schud even; het is niet erg als alle suiker niet direct oplost.

Voeg de bakkersgist toe en schud nogmaals.

Sluit de erlenmeyer af met het waterslot gevuld met kalkwater.

Schud de erlenmeyer af en toe om uitzakken van het gist te voorkomen.

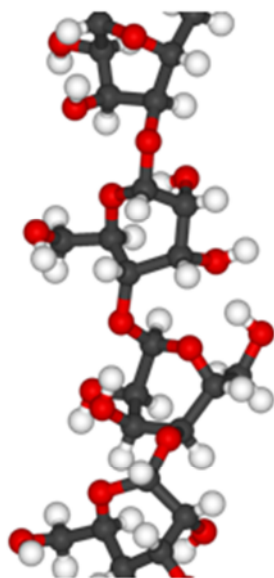
### Vragen bij de proef

1. Leg uit welk gas er bij de proef ontstaat.
2. Geef de reactievergelijking voor de vergisting van glucose.

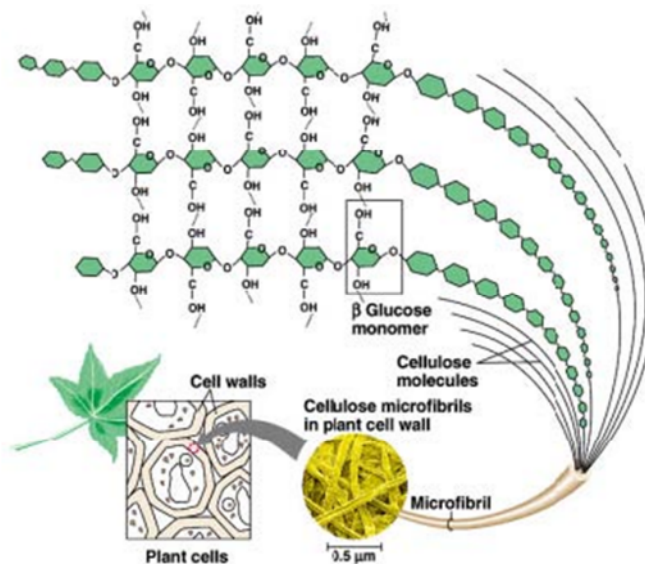
### Grondstoffen

Zoals je in de demonstratieproef hebt ontdekt kan gist glucose als grondstof gebruiken. Daarnaast kan gist nog enkele andere suikers omzetten in ethanol. Maar plantenmateriaal bestaat uit veel meer soorten koolhydraten. De belangrijkste zijn:

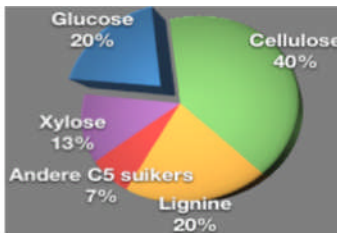
- Cellulose, een onvertakt polymeer van glucose moleculen (figuur 14 en 15 en ook Binas tabel 67 A3)
- Hemi-cellulose, een vertakt polymeer van diverse C<sub>6</sub> en C<sub>5</sub> suikers zoals: glucose, galactose, mannose, rhamnose, xylose en arabinose
- Lignine, een robuust (krachtig) polymeer dat de cellulose- en hemi-cellulose polymeren verbindt en de celwand stevigheid geeft.



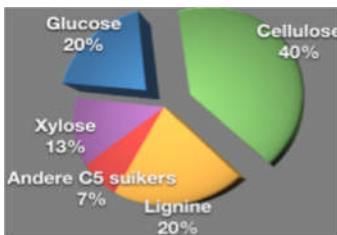
Figuur 14: Ruimtelijk model van een deel van een cellulose polymeer



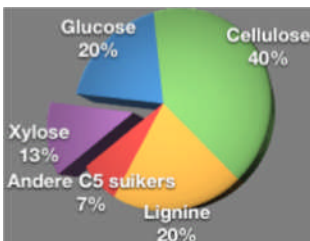
Figuur 15: Glucose in de vorm van cellulose in plantenmateriaal



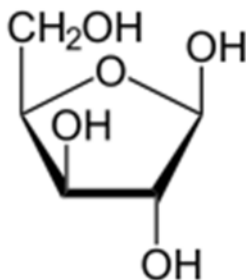
*Figuur 16: Huidig rendement 20%. Alleen glucose kan door gist worden omgezet*



*Figuur 17: Toekomstig rendement 60%. Cellulose kan ook gebruikt worden na toevoeging van het enzym cellulase*



*Figuur 18: Onderzoek TU Delft: Verhogen van het rendement door gebruik xylose*



*Figuur 19: Xylose.*

Deze grote polymeren kan gist niet zelf afbreken tot glucose die als grondstof voor ethanol kan dienen. Hierdoor is de ethanol opbrengst uit plantenmateriaal vrij laag (zie figuur 16).

Eigenlijk zijn alleen de opslagmaterialen van de plant zoals zetmeel en suiker, voor gist geschikt om ethanol mee te maken. Dit zijn alleen wel juist de eetbare delen van de plant, zoals maïs, suikerriet en suikerbieten. In Europa moet in 2010 5,75% van de transportbrandstof vervangen zijn door ethanol. Dat betekent 30 miljoen ton ethanol per jaar. Een zodanig voedseloverschot is er niet in Europa. Hoe kan Europa dan voldoen aan de stijgende vraag naar ethanol?

### Vraag

**12.** Noem minimaal drie oplossingen voor het probleem om voldoende ethanol te produceren zonder dat er daardoor een voedselgebrek ontstaat.

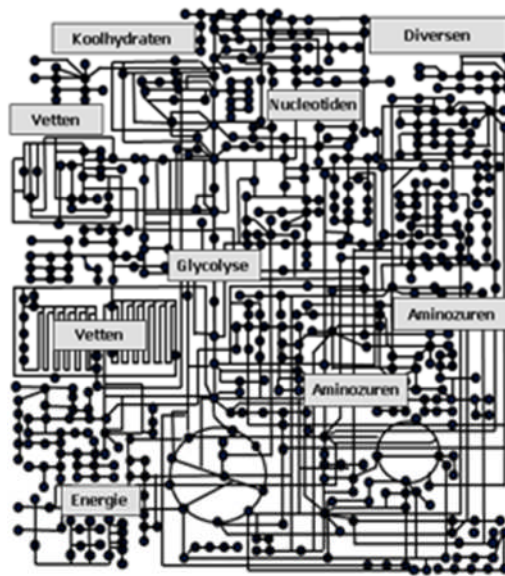
Als glucose op een economisch en ecologisch verantwoorde wijze uit cellulose vrij gemaakt kan worden, dan kan cellulose ook voor de productie van ethanol gebruikt worden. Het rendement kan dan stijgen tot 60% (zie figuur 17).

Om de ethanolopbrengst uit plantenmateriaal nog hoger te krijgen zou bakkersgist ook de andere suikers uit figuur 16 moeten gaan omzetten. Eén van deze suikers is xylose. Xylose,  $C_5H_{10}O_5$ , is een mono-sacharide. Er wordt al 30 jaar onderzoek gedaan naar een bakkersgist die xylose kan omzetten in ethanol. Pas in 2005 is het de onderzoekers aan de Technische Universiteit Delft gelukt om een bakkersgist door genetische modificatie "om te bouwen" voor snelle en efficiënte productie van ethanol uit xylose (figuur 18).

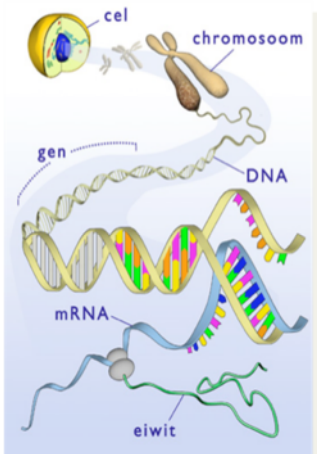
## 4.4 Genomics, de uitdaging!

Met behulp van genomics – grootschalig onderzoek naar erfelijkheid en de genen – probeert men de gist nieuwe eigenschappen te geven waardoor deze in staat is bijvoorbeeld xylose of cellulose af te breken. Voor de omzetting van glucose gebruikt de gist verschillende enzymen (biokatalysatoren) die samen zorgen voor de stapsgewijze omzetting van glucose in ethanol. In een gistcel worden duizenden verschillende enzymen gemaakt. Elk enzym heeft zijn eigen taak en zal die taak uitvoeren op het moment dat het enzym in de cel aanwezig is. De cel kan dus alle werkzaamheden laten uitvoeren als de juiste enzymen, in de juiste hoeveelheid, op de juiste plaats in de cel zijn. Om ervoor te zorgen dat een gist bijvoorbeeld ook xylose kan omzetten zal het in staat moeten zijn de enzymen aan te maken die bij de omzetting van xylose naar glucose nodig zijn.

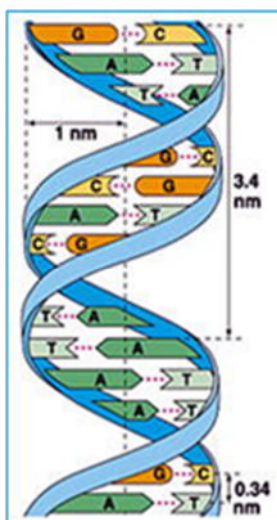




Figuur 20: Stofwisseling in gistcel



Figuur 21: Celkern met chromosomen en DNA



Figuur 22: Model van een DNA molecuul

De aanmaak van de verschillende enzymen in gist wordt gereguleerd door het DNA, dit bevat voor alle enzymen de code om het enzym te maken. Één gen bevat de code voor één enzym. Door een gen aan of uit te zetten kan de aanmaak van een enzym in de cel geregeld worden.

Onderzoekers zijn begonnen met het in kaart brengen van de verschillende enzymatische omzettingen in gist. Figuur 20 geeft een versimpelde weergave van de verschillende processen die er in de gistcel plaatsvinden. Een ingewikkeld proces dus, veel processen zijn met elkaar verweven en van elkaar afhankelijk. Het is mogelijk om een 'nieuw' gen in een gistcel te plaatsen dat de code bevat voor een specifiek enzym. Plaatsing betekent niet dat het dan ook werkt. Het aanzetten van dit gen bepaalt of het enzym gemaakt wordt.

### DNA

In delende cellen zitten draadvormige lichaampjes, de chromosomen. Die chromosomen zitten in de celkern. Chromosomen zijn opgebouwd uit DNA moleculen. Een DNA-molecuul bestaat uit twee lange strengen van aan elkaar zittende nucleotidemoleculen, die samen zich buigen tot een moleculaire wenteltrap. De twee strengen zijn met elkaar verbonden door zogenaamde basenparen. Er zijn vier verschillende basen adenine (A), cytosine (C), guanine (G) en thymine (T). Twee basen van de tegenover elkaar liggende strengen vormen als het ware de treden van de wenteltrap. De twee strengen zijn complementair aan elkaar, dit wil zeggen tegenover een adenine (A) zit altijd een thymine (T) en tegenover een cytosine (C) bevindt zich altijd een guanine (G). De volgorde van de baseparen vormen samen een groot aantal codes, deze codes worden genen genoemd. Een gen bestaat uit een stukje DNA en is de drager van een erfelijke eigenschap. Elk gen bevat een code voor een bepaald soort enzym dat noodzakelijk is om die erfelijke eigenschap tot uiting te brengen.

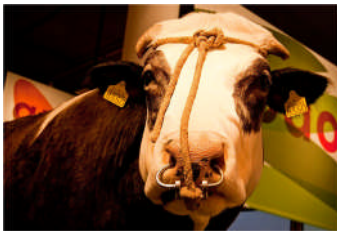
### Vraag

**13.** In het onderstaande DNA fragment is een deel van een van de nucleotidestrengen beschadigd. Er zijn enzymen die het ontbrekende stuk weer kunnen aanvullen.

Vul in welke basen er moeten komen om Het DNA fragment te herstellen.



Organismen die genetisch gemodificeerd zijn, worden ook wel **ggo** (genetisch gemodificeerd organisme) of **gmo** (genetically modified organism) genoemd.



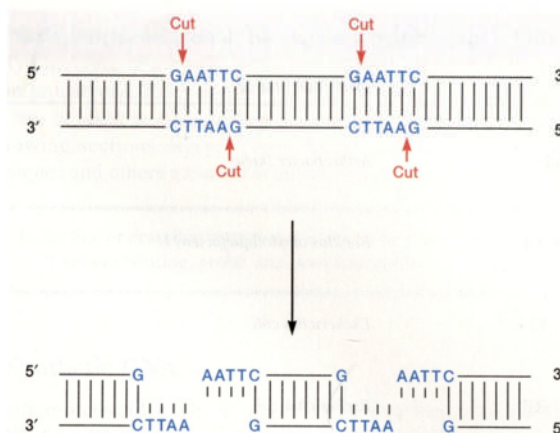
Een bekend voorbeeld van een genetisch gemodificeerd dier was de stier Herman. Een stier die zo was gemodificeerd dat zijn vrouwelijke nakomelingen een humaan eiwit, lactoferrine, zouden produceren en vervolgens uitscheiden in de melk. Vóór stier Herman werden 1154 bevruchte eicellen destijds genetisch gemanipuleerd. 981 van deze eicellen overleefden de behandeling. Uiteindelijk werden 129 embryo's ingebracht in draagkoeien. Dit resulteerde in 21 zwangerschappen. Vijf van de jonge dieren stierven vlak vóór of vlak na de geboorte. Slechts één dier bleek transgeen te zijn; de stier Herman.

### Genetische modificatie

Het inbrengen van een stukje DNA uit het ene organisme in een ander organisme heet Genetische Modificatie (GM). Organismen die genetisch gemodificeerd zijn noemen we transgeen. Dit proces is een kwestie van knippen en plakken en gebeurt met speciale enzymen, de restrictie-enzymen.

Restrictie-enzymen kunnen bepaalde DNA fragmenten herkennen aan de hand van de volgorde van de basenparen en zijn in staat op deze plaats het DNA te knippen (figuur 23). Een onderzoeker kan een uitgeknipt stukje DNA isoleren. Dit DNA kan bijvoorbeeld een gen bevatten dat de code heeft voor enzymen die betrokken zijn bij het omzetten van suiker in ethanol. Een ander enzym (ligase) kan dit DNA vervolgens weer plakken in het DNA van een ander organisme.

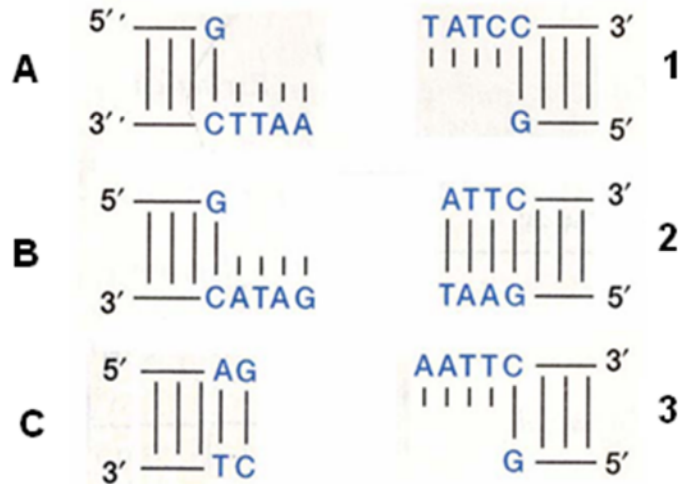
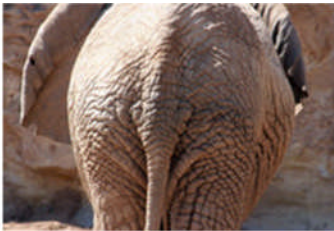
Dit proces van knippen en plakken en het DNA plaatsen in een ander organisme noemen we **transformatie**.



Figuur 23: Knippen DNA met restrictie enzymen

**Vraag**

**14.** Verbind de onderstaande DNA fragmenten die aan elkaar geplakt kunnen worden. Welke combinaties zijn mogelijk?

**Artikel 5**

## Autorijden op landbouwafval en olifantenpoep

Landbouwafval is een uitstekende bron voor milieuvriendelijke biobrandstof. De productie van deze benzine verloopt nog traag en inefficiënt. Onderzoekers zijn erop gebrand hier een oplossing voor te vinden. Olifantenkeutels bieden uitkomst.

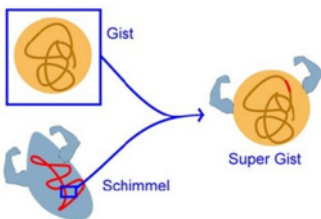
Ooit gedacht dat je je auto kan laten rijden op benzine gemaakt van snoeihout of voor consumptie afgekeurde komkommers? Het klinkt misschien futuristisch, maar een kleine club automobilisten rijdt al op benzine vermengd met alcohol gemaakt van plantaardig materiaal. Maar onderzoekers moeten nog een hindernis nemen: de productie ervan verloopt traag en inefficiënt.

### Olifantenpoep

Een ontdekking van een groep Nijmeegse microbiologen bood uitkomst. Zij troffen in olifantenpoep de schimmel *Piromyces* aan. Deze schimmel kan dankzij het enzym xylose-isomerase xylose wél omzetten in glucose. Deze vondst bracht microbioloog Marko Kuyper van de Technische Universiteit Delft op het idee om het enzym uit de schimmel in het DNA van bakkergist in te bouwen zodat het xylose kan omzetten.

### Sneller en efficiënter

Het tergend langzaam groeiend bakkergist moest vervolgens leren sneller te groeien in een zuurstofloze omgeving. Zo kweekte Kuyper een supergist die niet alleen weet te overleven in een voor de alcoholproductie noodzakelijke zuurstofloze omgeving, maar de gist groeit nu ook sneller en kan daardoor vele malen sneller biobrandstof maken. Wel zo handig als je heel wat liters nodig hebt om al die brandstoftanks te vullen.



*Figuur 24: Door genetische modificatie is een supergist ontstaan.*

Bron:

[http://allesoverdna.roquin.net/milie\\_u/duurzaamheid/autorijden-op-landbouwafval-en-olifantenpoep.html](http://allesoverdna.roquin.net/milie_u/duurzaamheid/autorijden-op-landbouwafval-en-olifantenpoep.html)

### Wat je nu moet weten

- **Biomassa**
- **Biobrandstoffen**
  - Eerste generatie met voorbeelden
  - Tweede generatie met voorbeelden
  - Derde generatie met voorbeelden
- **De koolstofkringloop, hoe krijg je hem in balans?**
  - CO<sub>2</sub>-neutraal, klimaatneutraal
  - Hernieuwbare grondstoffen
- **Bakkersgist *Saccharomyces cerevisiae***
  - Vergisting (fermentatie) van glucose
  - Cellulose omzetten in glucose
  - Xylose omzetten in ethanol
- **Genomics**
  - Celkern met chromosomen
  - Model DNA molecuul; A – T en C – G
  - Gen
  - Genetische modificatie
  - Transformatie
  - Supergist

# 5. Practicum 'Racen' met wc-papier



## 5.1 Inleiding

Jullie gaan onderzoeken of je naast gewone suiker ook de cellulose van de plant kan gebruiken voor de productie van ethanol, en wat voor effect dat heeft op de bio-ethanol opbrengst. WC-papier blijkt ideaal te zijn voor ons onderzoek. Het wc-papier wordt versnipperd en gebruikt als voedingsbron voor de gistcellen.



Figuur 1: WC-papier

### Vragen

1. Leg uit waarom wc-papier beter is voor onze proef dan bijvoorbeeld krantenpapier.
2. Leg uit waarom het wc-papier wordt versnipperd.

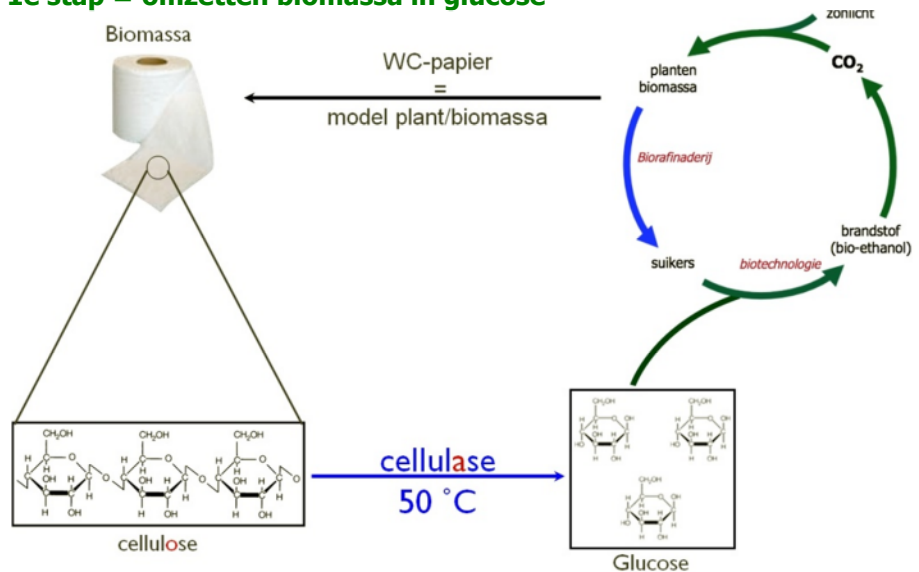
Voordat we met het practicum beginnen moeten we goed nadenken over de proefopzet. Uit de theorie weten we dat gist niet zomaar in staat is om cellulose om te zetten in ethanol. We weten ook wat de gist wel kan gebruiken. We moeten er dus voor zorgen dat cellulose wordt afgebroken tot glucose. Tijdens het practicum zullen we gebruik maken van cellulase, een enzym dat buiten de cel in staat is om cellulose om te zetten in glucose bij 50°C.

### Vraag

3. Bedenk waarom de omzetting van cellulose naar glucose bij 50°C plaatsvindt.

De uitvoering van het practicum gaat in een paar overzichtelijke stappen die hierna in beeld worden gebracht.

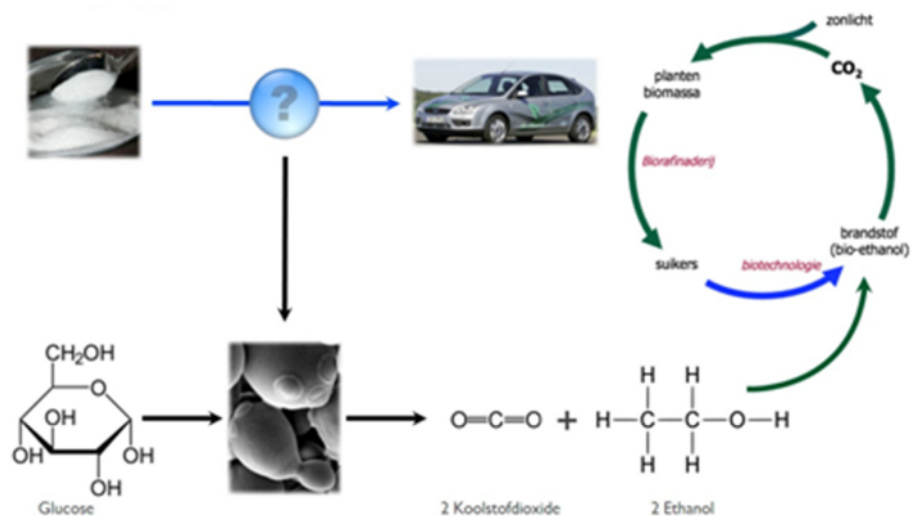
### 1e stap = omzetten biomassa in glucose



Figuur 2: Schema van de omzetting van biomassa in glucose

Bakkersgist *Saccharomyces cerevisiae* heeft een temperatuuroptimum van 30°C. Voor zijn groei heeft de gist een stikstof bron, kleine hoeveelheden zeldzame metalen, bepaalde vitaminen en soms vetzuren nodig. De gist fabrikant heeft een kant en klaar product, Fermipan, waarbij al deze stoffen al aan de gist zijn toegevoegd. Tijdens het practicum wordt 10 mL **medium** toegevoegd. Medium is een vloeistof/suspensie waarin gist groeit, deze bevat alle voedingsstoffen die gist nodig heeft. Verder zit er een bufferoplossing in om de pH op 3,5-5,5 te houden.

## 2e stap = glucose omzetten in bio-ethanol



Figuur 3: Schema van de omzetting van glucose in bio-ethanol

Een **parameter** is een onbekende of variabele die de uiteindelijke toestand van een systeem bepaalt, wanneer deze een waarde toegekend krijgt. De stand van de lichtknop is bijvoorbeeld een parameter van het lichtstelsel in de kamer. De temperatuur en de stand van de thermostaat zijn parameters van het verwarmingssysteem.

Wat wetenschappers graag willen weten is hoe verschillende parameters het ethanolproductieproces beïnvloeden. De proefopzet is zo dat we gaan kijken of de snelheid waarmee ethanol gevormd wordt, wordt beïnvloed door het aantal gram wc-papier en de hoeveelheid gist (de parameters).

### Vragen

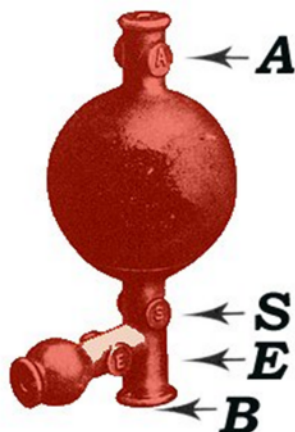
- In het practicum gaan we de CO<sub>2</sub> productie meten, maar wat we eigenlijk willen weten is de hoeveelheid ethanol die ontstaat. Leg uit hoe je hier toch achter kan komen.
- Noem nog een aantal andere parameters, die misschien invloed hebben op de ethanol productiesnelheid en die je zou kunnen veranderen.

## 5.2 Onderzoeksvraag

Wat is de optimale verhouding wc-papier / gist voor de snelste productie van bio-ethanol?

### 5.3 Benodigdheden

Een **Peleus-pipetteerballon** is een gummibal met 3 ventielen.



- 250 mL bekerglas
- 100 mL erlenmeyer
- Roervlo
- (thee)lepel
- Theezeefje
- Pipetteerballon
- 10 ml wegwerppipetten (2)
- 50 ml centrifugebuis met dop (1)
- Plastic trechter
- Stopwatch
- Staafmixer
- Weegschaal
- Pasteurpipetten (2) en ballonnetje
- 150 ml medium
- Glucocard Memory PC glucose meter met 2 test strips
- Rekenmachine
- Gist (fermipan)
- Enzym (cellulase)
- WC-papier
- Bufferoplossing
- 2 waterbaden
- Roerplaten
- Racebaan

### 5.4 Werkwijze

De aanzuigzijde van de pipet wordt bij B in de klemmende opening gedrukt. Door met de duim en wijsvinger ventiel A in te drukken en gelijktijdig met de palm van de hand de ballon in te drukken wordt de ballon leeg geperst.

Vervolgens plaatst men de pipet in de vloeistof en drukt het ventiel S in.

Hierdoor wordt de vloeistof omhoog gezogen. Wanneer de vloeistof boven de maatstreep staat, wordt ventiel S losgelaten, de pipet uit de vloeistof getrokken en met absorberend papier afgeveegd. Door ventiel E in te drukken kan de vloeistofkolom in de pipet teruglopen tot de maatstreep. De gehele hoeveelheid vloeistof kan uitstromen door blijvend op ventiel E te drukken.

In dit practicum werken jullie in groepjes van 2 personen. Ieder groepje krijgt een nummer en doet één proef met verschillende hoeveelheden enzym, papier en gist, zodat we aan de hand van de resultaten conclusies kunnen trekken over de invloed van deze parameters op het productieproces.

Kijk in tabel 1 welke hoeveelheden jouw groepje moet afpassen: **P** gram papier, **E** mL enzym en **G** gram gist.

Tabel 1: Proefopzet voor de verschillende groepen

Groep	Papier (P)	Enzym (E)	Gist (G)
	<b>g</b>	<b>mL</b>	<b>g</b>
1	1	5	2
2	2	5	2
3	3	5	2
4	1	5	4
5	2	5	4
6	3	5	4
7	1	5	6
8	2	5	6
9	3	5	6
10	3	5	3

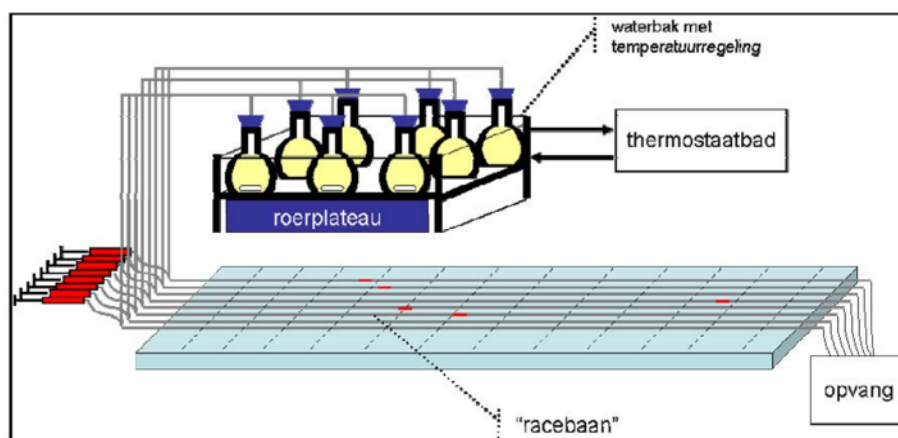
1. Weeg **P** gram wc-papier af in je bekerglas en giet er medium bij tot de 100 mL maatstreep.



2. Maak het wc-papier fijn met de staafmixer.
3. Pipetteer **E** mL cellulase-oplossing bij het wc-papier en roer het goed door de suspensie.
4. Zet je groepsnummer op het bekersglas en zet het bekersglas 30 minuten in het 50°C waterbad. Roer de suspensie elke tien minuten door.
5. Weeg **G** gram gedroogde gist (Fermipan) af in de centrifugebuis en pipetteer hier 15 mL medium bij. Goed schudden met de dop erop tot alles in suspensie is.
6. Zet je groepsnummer op de buis en zet deze, met de dop half los, tenminste 20 minuten in het rekje in het 30°C waterbad.
7. Leg uit waarom de dop half los moet.
8. **PowerPoint Presentatie** door Life Science & Technology studenten van de TU Delft
9. Plaats na 30 minuten de trechter op de erlenmeyer, en giet de papier-enzym suspensie door het theezeeffje in de trechter. Druk met het lepeltje zoveel mogelijk vocht uit het papier.
10. Neem met een pasteurpipet een paar druppels uit de erlenmeyer en leg een druppel op een schoon weegpapiertje voor de glucosebepaling en meet de glucoseconcentratie met behulp van de glucosemeter. (De studenten delen de glucose stripjes uit)
11. Noteer: de vloeistof bevat volgens de glucosemeter: ..... **mmol/L** glucose.
12. Zet de kolf in het 30°C waterbad om af te koelen.
13. Leg uit waarom je de erlenmeyer moet afkoelen.
14. Als de temperatuur van de suikeroplossing onder de 35°C is breng dan de gistsuspensie over van de buis naar de kolf door een paar keer heen en weer te gieten.
15. **Stop de roervlo in de erlenmeyer** en zet je groepsnummer er op. Plaats de erlenmeyer in het 30°C waterbad op één van de roerplaatsen en doe één van de kurken met slang er op. Druk de kurk goed aan.



### 3e stap = racen met je zelfgemaakte bio-ethanol



Figuur 4: Schematisch overzicht van de proefopstelling

16. Spuit een beetje (= 1-2 cm) kleurstof in de juiste slang en start de tijdsmeting op het moment dat de kleurstof het begin van de maatverdeling (0 cm) bereikt.
17. **Vul in tabel 2 de tijden in waarop de kleurstof de afstanden, die in de tabel staan bereikt. Dus elke 10 cm tijd meten.**
18. Stop na 30 minuten met meten; maak je lopende meting (10 cm) af.
20. Neem met een pasteurpipet een paar druppels uit de kolf en leg een druppel op een schoon weegpapiertje.
21. Meet de glucoseconcentratie met behulp van de glucosemeter.
22. Noteer: de glucose concentratie in de kolf is ..... **mmol/L** glucose. (beschouw de melding "Lo" als 0 mmol/L)

## 5.5 Resultaten

Tabel 2: CO<sub>2</sub> metingen

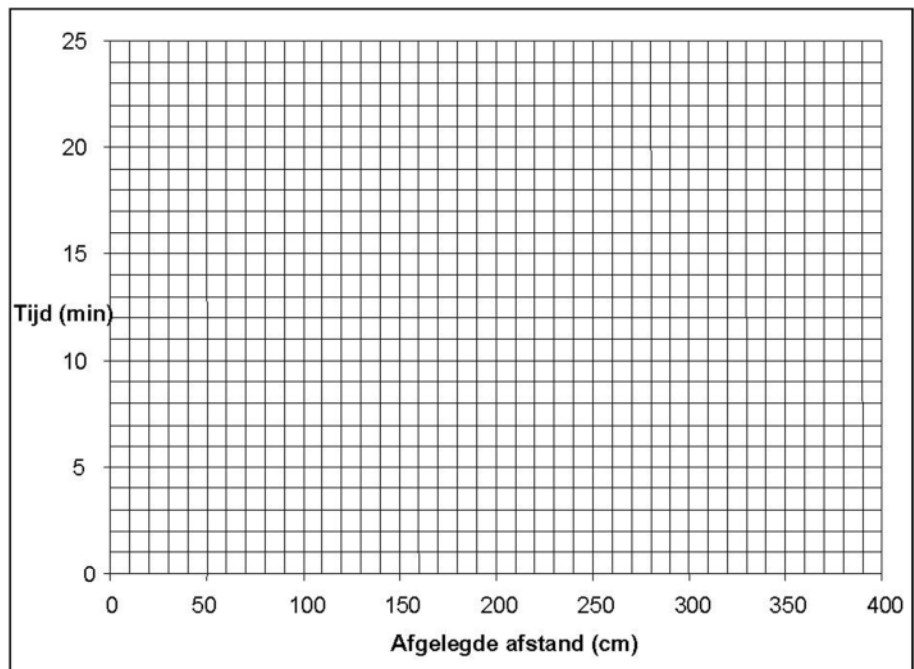
Afstand cm	Tijd min:s	10 cm tussentijd
0		0
10		
20		
30		
40		
50		
60		
70		
80		
90		
100		
110		
120		
130		
140		
150		
160		
170		
180		
190		
200		

## 5.6 Verwerking resultaten

1. Zet de afgelegde afstanden en de daarbij behorende tijden uit in diagram 1.
2. Bepaal de CO<sub>2</sub> productiesnelheid in m/s aan de hand van een lineair deel in de grafiek.

3. Gegeven: de binnendiameter van de gebruikte slang is 3 mm. Bereken het volume in mL van 10 cm slang.
4. Gegeven: Het molair volume  $V_m = 24,5$  mL/mmol. Bereken hoeveel mmol  $\text{CO}_2$  overeen komt met de inhoud van 10 cm slang.  
$$V = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 \cdot h$$
5. Bereken hoeveel mmol  $\text{CO}_2$  er is gemaakt tijdens jullie meting?
6. Hoeveel mmol bio-ethanol is er dan gemaakt?
7. Met behulp van de metingen met de glucosemeter kun je de hoeveelheid glucose bepalen die is verbruikt. Dan weet je ook het aantal mmol  $\text{CO}_2$ , en daarmee ook het aantal mmol bio-ethanol, dat je gemeten zou moeten hebben. Bereken de hoeveelheid verbruikte glucose in mmol. Bedenk goed wat het volume van de oplossing in de kolf was op het moment dat je de glucose concentratie hebt gemeten.
8. Geef één of meer mogelijke verklaringen voor het verschil tussen de bio-ethanol productie die je hebt gemeten en die je hebt berekend.

Diagram 1:  $\text{CO}_2$  productiesnelheid



9. Mijn snelste 10 cm tussentijd is: .....s.
10. Mijn hoogste  $\text{CO}_2$  productiesnelheid is dan: .....mmol/uur

- 11.** De bio-ethanol productiesnelheid per gram gist is dan:  
.....mmol/g/uur

Vul in tabel 3 de gemeten snelheden en de glucoseconcentratie in van je eigen groepje. Neem de resultaten van je klasgenoten ook over.

*Tabel 3: Overzicht van de bio-ethanol productiesnelheid*

	Papier (P)	enzym (E)	gist (G)	glucose conc. voor	glucose conc. na	Snelheid
Groep	g	mL	g	mmol/mL	mmol/mL	m/s
1	1	5	2			
2	2	5	2			
3	3	5	2			
4	1	5	4			
5	2	5	4			
6	3	5	4			
7	1	5	6			
8	2	5	6			
9	3	5	6			
10	3	5	3			

## 5.7 Conclusie

Formuleer nu in eigen woorden welke conclusie(s) jij uit deze experimenten trekt.

## 5.8 Vragen bij de proef

1. Bij welke groep is er de grootste productiesnelheid van bio-ethanol? Leg uit of dit wel of niet overeenkomt met je verwachtingen.
2. Bereken hoeveel liter bio-ethanol je volgens de methode van dit practicum kunt maken uit 1,0 kg wc-papier.
3. Stel een auto die op bio-ethanol kan rijden heeft een rendement van 13 km per liter. Bereken dan hoeveel liter bio-ethanol nodig is om de 7 miljoen auto's in Nederland allemaal het gemiddelde van 16.000 km per jaar te laten rijden?
4. Bereken hoeveel ton (=1000 kg) wc-papier hier voor nodig is.

5. Ongeveer 50% van het wc-papier kan door cellulose worden afgebroken tot glucose. Onder perfecte omstandigheden kun je met onze bio-ethanol productiemethode 10 mmol ethanol uit 2 gram wc-papier maken. Stel nu dat je de genetisch gemodificeerde gist had gebruikt, die ook de 13% xylose in het wc-papier kan omzetten. Wat zou dan de hoeveelheid mmol bio-ethanol zijn geweest gemaakt uit 2 gram wc-papier? Hoeveel meer opbrengst is dit in procenten?
6. Dit lijkt een klein verschil, maar op grote productie schaal zal het al gauw dagen schelen. In meer onderdelen van de bio-ethanol productie zul je het kunnen merken als de genetisch gemodificeerde gist mag worden gebruikt. Noem een paar effecten.

### 5.9 Het grote Racen met wc-papier kruiswoordraadsel

Vraag je docent naar het kruiswoordraadsel. Alle termen, begrippen en technieken van het DNA-lab staan hier in puzzelvorm. Je kunt de antwoorden terug vinden in deze module, je aantekeningen en/ of je biologieboek.

# 6. Afsluiting



## 6.1 Contextvragen beantwoorden

Zo langzamerhand kun je al een antwoord formuleren op de eerste contextvraag.

### Contextvragen

1. Hoe maak je van plantenafval een biobrandstof?
2. Wat tanken wij in 2020?

### Opdracht 1

Probeer zo goed mogelijk de eerste contextvraag te beantwoorden. Geef ook aan waar je de informatie vandaan hebt gehaald. Verwijs daarbij naar onderdelen uit deze module.

### Opdracht 2

- Bestudeer het artikel uit Intermediair 'Wat tanken wij in 2020?'
- Ieder groepje krijgt één alternatief toegewezen.
- Zoek de informatie op om de vragen te kunnen beantwoorden.
- Maak een PowerPoint presentatie en een korte samenvatting.
- Alle alternatieven worden klassikaal besproken.
- De tweede contextvraag wordt beantwoord.



## Artikel 1

### Wat tanken wij in 2020?

Voor het milieu alleen wilden de automobilisten niet overschakelen op andere brandstoffen. Maar nu de benzineprijzen record hoogtes bereiken, kijken zelfs de oliemaatschappijen verder dan olie. Over tien jaar rijden we deels op olie uit de supermarkt of op stro en populieren.

Momenteel is de dorst naar olie zo groot dat we het niet snel genoeg uit de grond kunnen halen. De prijs is zo ver gestegen dat plantaardige olie bijna met diesel kan concurreren. Benzine wordt al gedeeltelijk verdrongen door alcohol.

Zelfs de Amerikaanse president Bush, toch altijd een steunpilaar van de doorgaans conservatieve olie-industrie, wilde minder afhankelijk van olie worden, zo bleek uit een van zijn laatste Speeches of the Union.

Maar ja, wat tanken we dan bij een tankstation in 2020? Sommigen denken dat de waterstofauto het beste alternatief is. Anderen zien veel toekomst in hybride auto's, zoals de Toyota Prius, of auto's die helemaal op elektriciteit rijden. De meeste deskundigen menen dat we het dichterbij huis moeten zoeken. Nu al rijden er wereldwijd miljoenen auto's met ouderwetse benzine- of dieselmotoren op alcohol, koolzaadolie of aardgas. Dieselauto's doen het met wat aanpassingen prima op plantaardige olie uit de supermarkt.

Maar mensen kopen geen auto omdat hij op aardgas of alcohol rijdt, maar omdat hij goedkoper rijdt. Of tenminste niet duurder dan op benzine of diesel. Vrijwel alle nieuw verkochte Braziliaanse auto's rijden op een mengsel van benzine en rietsuikeralcohol, omdat over alcohol minder accijnzen worden geheven. In de Verenigde Staten rijden vier miljoen auto's op alcohol uit maïs. Nederland sukkelde op het gebied van biobrandstoffen een beetje achteraan. Vanaf 1 januari 2007 zijn oliemaatschappijen hier verplicht om twee procent biobrandstof in benzine en diesel te stoppen. Shell doet dat nu al bij zijn euro 95. Maar het kabinet blijft gewoon voor de biobrandstof hoge accijnzen heffen. Momenteel schommelt de prijs van een olievat rond de 65 dollar.

#### Welke alternatieven voor aardolie zijn er eigenlijk?

Bron: *Intermediair* 16 februari 2006

### Zeven alternatieven voor aardolie

#### 1. Waterstof

- Noem twee manieren hoe waterstof gemaakt kan worden.
- Wat betekent op waterstof rijden voor de infrastructuur?
- Is rijden op waterstof duurzaam?
- Hoe werkt een auto met een brandstofcel?
- Is de voorraad beperkt of onbeperkt?
- Bij welke olieprijs per vat is rijden op waterstof rendabel?

#### 2. Elektriciteit

- Hoe kan elektriciteit worden opgeslagen?
- Wat betekent op elektriciteit rijden voor de infrastructuur?
- Is rijden op elektriciteit duurzaam?
- Hoe werkt een hybride auto?

- Is de voorraad beperkt of onbeperkt?
- Bij welke olieprijs per vat is rijden op elektriciteit rendabel?

### 3. Plantaardige olie

- Welke plantaardige brandstoffen komen in aanmerking?
- Hoe worden de plantaardige oliën gewonnen?
- Kunnen de auto's alleen op plantaardige oliën rijden?
- Welke aanpassingen voor dieselmotoren zijn nodig?
- Is rijden op biodiesel duurzaam?
- Is de voorraad beperkt of onbeperkt?
- Bij welke olieprijs per vat is rijden op plantaardige olie rendabel?

### 4. Suiker, graan, maïs

- Hoe komen ze in Brazilië aan alcohol (ethanol)?
- Welke technische aanpassingen zijn nodig om op E85 te rijden?
- Is in Brazilië E85 in tankstations verkrijgbaar?
- Wat betekent het verbouwen van suikerbieten en maïs voor Nederland?
- Is rijden op E85 duurzaam??
- Is de voorraad beperkt of onbeperkt?
- Bij welke olieprijs per vat is rijden op alcohol rendabel?

### 5. Steenkool

- Hoe worden diesel en benzine uit steenkool gewonnen? In welk land wordt dit veel gedaan?
- Leg uit hoe energiecentrales gebruik maken van kolenvergassing.
- China bouwt een complex om jaarlijks een miljard steenkoololie te produceren. Hoe gaat dat?
- Is rijden op brandstoffen uit steenkool duurzaam??
- Is de voorraad beperkt of onbeperkt?
- Bij welke olieprijs per vat is rijden op brandstoffen uit steenkool rendabel?

### 6. Aardgas

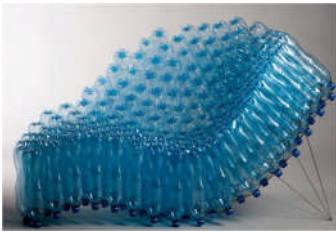
- Hoeveel auto's in Nederland rijden op aardgas? Hoe komt dat?
- Hoeveel accijnzen zitten er op aardgas? Hoe doet Duitsland dat?
- Is rijden op aardgas duurzaam?
- Is de voorraad beperkt of onbeperkt?
- Bij welke olieprijs per vat is rijden op aardgas rendabel?

### 7. Bomen en stro

- Hoe wordt de alcohol uit bomen gehaald?
- Wat is het voordeel van bomen vergeleken met suikerriet, maïs, enz.?
- Zoek de prijs op van een liter cellulose-alcohol.
- Is rijden op cellulose-alcohol duurzaam?
- Is de voorraad beperkt of onbeperkt?
- Bij welke olieprijs per vat is rijden op cellulose-alcohol rendabel?

## 6.2 Oefenopgaven

### Opgave 1. "Upcycling", tweede leven voor de PET fles



*De Poolse ontwerper Pawel Grunert heeft voor een expositie over "ecologisch design" in Milaan een stoel gemaakt van PET-flessen. De stoel bestaat alleen maar uit lege flessen in een stalen frame. Ook een mogelijkheid voor upcyclen?*

## SABIC Innovative Plastics wint Responsible Care-prijs met 'upcycling'

PET-flessen voor drinkwater en frisdranken vormen voor SABIC Innovative Plastics een nieuwe grondstof. Het bedrijf is in staat het materiaal van de flessen, polyetheentereftalaat (PET), om te zetten in polybutyleentereftalaat (PBT), een polyestertype voor duurzame toepassingen. Op die manier kan het materiaal een tweede leven leiden, bijvoorbeeld als deurgreep van een auto of de behuizing van een computer. Erik te Roller

Voor de upcycling van plastic flessen heeft SABIC Innovative Plastics de Responsible Care-prijs 2009, een glazen sculptuur en een oorkonde, ontvangen uit handen van juryvoorzitter Henk Leegwater. Dit gebeurde tijdens de VNCI-jaarvergadering op 4 juni in Den Haag. De jury ziet de ontwikkeling van SABIC Innovative Plastics als een schoolvoorbeeld van Responsible Care, omdat het bedrijf naast normale grondstoffen ook afval van consumenten of bedrijven inzet voor productie. (...)

De jury is ook van de SABIC-ontwikkeling gecharmeerd, omdat hier sprake is van 'upcycling', oftewel het hergebruik van materiaal in hoogwaardige toepassingen. En dat past mooi in de Cradle to Cradle-gedachte, waarbij afval tevens als grondstof dient. (...)



*Jos van Gisbergen van SABIC ontvangt de prijs uit handen van jurylid Henk Leegwater (r)*

*Chemie Magazine, juni 2009*

*Bron: Chemie Aktueel, 63, mei 2010*

## Vragen

1. Waarvoor heeft "Sabic Innovative Plastics" de Europese Responsible Careprijs gewonnen?

Uit PET-flessen een fleecetrui maken, daar heb je vast wel van gehoord. De vezels van de trui zijn dan nog steeds van het materiaal PET (polyetheentereftalaat). Anders dan bij recycling, zoals bij de fleecetrui, gaat het in dit artikel om "upcycling".

2. Leg uit waarin upcycling verschilt van recycling.
3. Neem de volgende tabel over en vul in of je te maken hebt met een fysisch proces of een chemisch proces.

Fysisch of chemisch proces	
Recycling	
Upcycling	

Leg de term "cradle-to-cradle" uit in termen van duurzaamheid. Het bedrijf is in staat het materiaal PET (polyetheentereftalaat) om te zetten in PBT (polybutyleentereftalaat).

4. Leg uit waarom er een vermindering van de CO<sub>2</sub>-emissie is, wanneer PBT langs deze weg wordt bereid.

## Opgave 2. Ethanolfabriek



Figuur 1: Ensus fabriek in Wilton UK

# Ensus wil ethanolfabriek bouwen in Noord-Europa

**Yarm – De Britse ethanolproducent Ensus wil op het Europese vasteland een fabriek bouwen om van graan bio-ethanol te maken. Ensus bouwt in het Britse Wilton on Teesside al de grootste ethanolfabriek in Europa. Deze fabriek komt in december in productie.**

In Wilton on Teesside bouwt Ensus een fabriek die per jaar 450 miljoen liter bio-ethanol kan maken. Ensus produceert de ethanol uit tarwe die in Oost-Engeland wordt gekocht. De bio-ethanol wordt geleverd aan oliemaatschappij Shell, die de ethanol mengt met fossiele brandstoffen.

Ensus wil een vergelijkbare ethanolfabriek bouwen op het vasteland, zegt bestuursvoorzitter Alwyn Hughes in een inter-

view met persbureau Bloomberg. "We kijken naar een aantal locaties in Noordwest-Europa. We willen daar toegang hebben tot graan. En we willen dichtbij een haven zitten zodat we niet afhankelijk zijn van de regionale markt."

Hughes wil niet zeggen welke locatie de voorkeur heeft. "We onderzoeken ook een mogelijke locatie in Rotterdam. Maar er zijn nog geen concrete plannen."

Voor de jaarlijkse productie van 450 miljoen liter bio-ethanol in de fabriek in Wilton on Teesside is 1,2 miljoen ton tarwe nodig. Volgens Hughes kan de capaciteit worden uitgebreid naar een jaarlijkse productie van 600 miljoen liter bio-ethanol. "Dat hangt af van de doelstellingen van de over-

heid voor de verplichte bijmenging en de olie- en gasprijzen."

Volgens een inventarisatie van de European Bio-ethanol Fuel Association (eBio), de branchevereniging van ethanolproducenten, bedraagt de productiecapaciteit in de EU momenteel bijna 6,4 miljard liter bio-ethanol per jaar. Er wordt momenteel gebouwd aan ethanolfabrieken in de EU die gezamenlijk nog eens bijna 2,3 miljard liter per jaar kunnen produceren. De nieuwe fabrieken gaan vooral graan verwerken.

In de EU geldt volgend jaar de verplichting dat 3,25 procent van de brandstof voor het transportverkeer bestaat uit biobrandstof. In 2013 is de bijmengverplichting 5 procent. In 2020 moet het aandeel biobrandstof 10 procent zijn.

*Agrarisch Dagblad, 22 oktober 2009*

*Bron: Chemie Aktueel, 63, mei 2010*

### Vragen

In Wilton on Teesside bouwt Ensus de grootste bio-ethanol fabriek van Europa.

1. Hoeveel liter bio-ethanol kan deze fabriek jaarlijks maken?

Ethanol maakt men in deze fabriek uit tarwe. Tarwe bevat zetmeel (amylose) dat afgebroken kan worden tot suikers die met behulp van gist omgezet worden in ethanol en koolstofdioxide. De bio-ethanol wordt verkocht aan Shell.

2. Geef de reactievergelijking van de omzetting van zetmeel in ethanol.
3. Wat doet Shell met de bio-ethanol?
4. Geef aan waarom Shell dat doet.

Voor de productie van 450 miljoen liter bio-ethanol is 1,2 miljoen ton tarwe nodig.

5. Bereken hoeveel ton bio-ethanol overeenkomt met 450 miljoen liter.
6. Bereken het massapercentage zetmeel in tarwe als gegeven is dat per mol zetmeel er 4 mol ethanol ontstaat. Veronderstel volledige omzetting van zetmeel in suikers en alcohol.

De EU legt verplicht bijmenging met bio-ethanol op.

7. Noem twee redenen waarom de EU dat zal doen.

De Britse alcoholproducent wil ook een fabriek op het Europese vasteland bouwen.

8. Leg uit waarom bio-ethanol fabrieken de toekomst hebben.

De biobrandstof wordt uit tarwe gemaakt. Je kunt tarwe ook als voedingsmiddel gebruiken.

9. Bespreek in ongeveer 100 woorden welk dilemma dit oplevert en welk alternatief er mogelijk is.

### Opgave 3. Kerstbomen als biobrandstof



Figuur 2: Kerstbomen

## Kerstbomen worden autokilometers

SCHNADE DSM werkt aan een proces om landbouwafval om te zetten in ethanol.

Henk Tolisma

Elk jaar worden na de feestdagen miljoenen kerstbomen afgedankt. Als het aan DSM ligt kan die enorme jaarlijkse stroom groen afval over enkele jaren ook als brandstof voor auto's dienen.

Een gemiddelde kerstboom van tien kilogram kan straks met behulp van biotechnologie worden omgezet in zeven kilogram suiker, die vervolgens goed is voor vier liter ethanol. Dat is genoeg om een auto met aangepaste motor zo'n veertig kilometer te laten rijden. De 2,5 miljoen jaarlijks in Nederland verkochte kerstbomen kunnen zo honderd miljoen autokilometers opleveren.

DSM werkt aan een techniek om ethanol te winnen uit afval van groene grondstoffen. Het proces moet de C4- en C5-suikers (grondstof voor cellulose) aan de plantresten onttrekken (dit in tegenstelling tot de C6-suikers die uit de planten zelf worden ge-

wonnen en de basis vormen voor glucose). Daarvoor is een voorbehandeling met enzymen noodzakelijk. Micro-organismen moeten die suikers eten en vervolgens ethanol produceren. Het aanpassen van de micro-organismen vormt de kern. Dit is een leerproces, er wordt niet geknutseld met dna, aldus een woordvoerder.

#### Bioreactor

Op laboratoriumschaal lukt het inmiddels om met behulp van een bioreactor landbouwafval om te zetten in ethanol. Over twee tot drie jaar is het proces gereed voor marktintroductie. DSM gaat niet zelf ethanol produceren, maar wil de techniek verkopen aan bedrijven.

DSM doet dit onderzoek samen met universiteiten en het Spaanse energiebedrijf Abengoa. Het gebeurt deels in Nederland (bij Gist in Delft) en in de VS. DSM richt zich onder meer op ontwikkeling van 'witte' (industriële) biotechnologie, bij voorkeur in processen die niet concurreren met de voedselvoorziening, de tweede generatie processen. ■

*Technisch Weekblad, 17 januari 2009*

*Bron: Chemie Aktueel, 61, oktober 2009*

### Vragen

1. Wat is het voordeel van rijden op ethanol?
2. Licht toe waarom er netto geen broeikasgassen vrijkomen.
3. Wat is het kenmerkende van de tweede generatie biobrandstoffen?
4. Aan welk nieuw proces wordt bij DSM gewerkt?
5. Wat is er nieuw aan het proces dat DSM ontwikkelt?
6. Geef de reactievergelijking voor de omzetting van suiker (glucose) in ethanol.

In het artikel staat dat van een kerstboom van gemiddeld 10 kilogram, zeven kilogram suikers worden omgezet in vier liter ethanol.

7. Controleer met behulp van een berekening of deze uitspraak klopt. Gebruik glucose als suiker.



ECObrandstoffen

De modules van De Delftse Leerlijn  
zijn te vinden op <http://ocw.tudelft.nl>

Auteurs: Aonne Kerkstra, Juleke van Rhijn en Jan van Rossum.