

# Bio-ethanol uit oud papier

## Inhoud

Algemene inleiding .....	2
Uitgebreide achtergrondinformatie .....	2
Leerdoelen.....	4
Kerncompetenties Europees kader .....	4
Duurzame Ontwikkelingsdoelen van de Verenigde Naties .....	5
Inhoud – Theoretische principes .....	6
Labprocedure/Activiteit.....	9
Tijdsplanning .....	9
Evaluatie .....	9
Beschrijving van studentenkaarten .....	10
Bronnen .....	10

## Algemene inleiding

Bio-ethanol ( $C_2H_5OH$ ) is een alcohol die voornamelijk afkomstig is uit biomassa. Bio-ethanol kan worden gebruikt als een milieuvriendelijke alternatief voor fossiele brandstoffen. Momenteel is er een commercieel mengsel van benzine en bio-ethanol verkrijgbaar, E85, dat voor 85% uit ethanol bestaat. Bio-ethanol heeft nog meer toepassingen, waaronder brandstoffen, oplosmiddelen, kunststoffen, smeermiddelen en geurstoffen [1].

De voorgestelde activiteit is bedoeld voor leerlingen van 14 jaar en ouder, die oud papier gebruiken als grondstof voor de productie van ethanol. Papier wordt voorbehandeld (fijngehakt en gemengd met water), verteerd met een veilig commercieel enzym en gefermenteerd met gewone supermarktgist. Het ethanol dat door deze twee reacties wordt gegenereerd, wordt vervolgens aangetoond met kaliumpermanganaat en/of een ethanolsonde die selectief met alcohol reageert en de aanwezigheid ervan aantoont. De activiteit is georganiseerd in één module, genaamd "Extractie van bio-ethanol uit oud papier".

### Trefwoorden:

*Recycling, papier, afval, ethanol, brandstof*

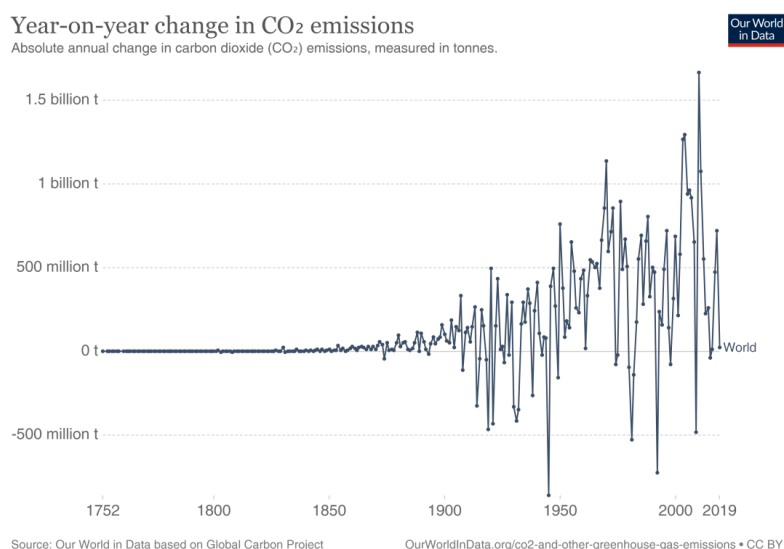
## Uitgebreide achtergrondinformatie

Fossiele brandstoffen worden gedefinieerd als materie dat gevormd is door de gefossiliseerde en begraven overblijfselen van dieren en planten die miljoenen jaren geleden leefden. Steenkool, ruwe olie en aardgas zijn de meest gebruikte fossiele brandstoffen en worden beschouwd als de grootste uitstoters van  $CO_2$ . Ze bevatten namelijk een hoog gehalte aan koolstof dat bij verbranding vrijkomt in de atmosfeer.

De productie van kooldioxide ( $CO_2$ ) uit fossiele brandstoffen komt voort uit de verbranding, waarbij koolstof en waterstof in de fossiele brandstoffen combineren met zuurstof in de atmosfeer, waardoor  $CO_2$  en  $H_2O$  worden gevormd. De warmte die vrijkomt bij de verbrandingsreactie wordt gebruikt voor de productie van energie. Over het algemeen hangt de hoeveelheid  $CO_2$  die wordt uitgestoten af van de hoeveelheid koolstof in de fossiele brandstof, terwijl de geproduceerde energie afhangt van het koolstof- en waterstofgehalte. Zo produceert aardgas, dat voornamelijk bestaat uit  $CH_4$  moleculen, minder  $CO_2$  dan andere fossiele brandstoffen wanneer het wordt verbrand. [2] Steenkool heeft de molecuulformule  $C_{135}H_{96}O_9NS$ , terwijl ruwe olie uit 85% koolstof, 10% waterstof en een kleine hoeveelheid stikstof, zuurstof en zwavel bestaat [3]. Gewoonlijk zijn er kleine variaties in de chemische en fysische samenstelling van de aardolie veroorzaakt door verschillende factoren, zoals de leeftijd van de olie en de winningslocatie.

Aangezien fossiele brandstoffen ook stikstof en zwavel bevatten, komen er bij de verbranding naast  $CO_2$  nog andere moleculen vrij in de atmosfeer zoals  $N_2O$  en  $CH_4SF_6$ . Deze groep moleculen wordt gedefinieerd als de broeikasgassen (BKG's), waarvan  $CO_2$  de meest voorkomende is.

De uitstoot van broeikasgassen in de atmosfeer veroorzaakt de meeste luchtvervuiling, zure regen, het gat in de ozonlaag en de opwarming van de aarde. In april 2021 was de wereldwijde concentratie CO<sub>2</sub> in de atmosfeer naar 415 ppm (deel per miljoen) gestegen[4]. Wereldwijd steeg de temperatuur met +1,19 °C in vergelijking met de pre-industriële periode (1880-1900) [5]. Een andere (indirecte) bron van CO<sub>2</sub> is de ontbossing (25%)[6], omdat de vernietiging van planten en bossen betekent dat er meer CO<sub>2</sub> in de atmosfeer te vinden is, en minder planten die de CO<sub>2</sub> kunnen opnemen en omzetten naar O<sub>2</sub> via fotosynthese.



*Afbeelding 1: Jaarlijkse wereldwijde verandering in CO<sub>2</sub> emissies. In recentere jaren is een meer consistente jaar-op-jaar groei te zien van gemiddeld ongeveer 2% - 3% per jaar, maar nog steeds met een aanzienlijke variabiliteit. De afgelopen jaren is de uitstoot blijven stijgen, maar in een iets lager tempo van 0,5% - 2%. [7]*

Er wordt veel onderzoek gedaan naar nieuwe, minder vervuilende, methoden om brandstoffen te produceren. Een lager gebruik van fossiele brandstoffen zou de concentratie van CO<sub>2</sub> en andere verontreinigende stoffen in de lucht onmiddellijk verminderen. Bio-ethanol (ethanol uit biomassa) is een goedkoop alternatief voor transportbrandstoffen op basis van aardolie, dat al met succes wordt gebruikt in een mengsel met fossiele brandstoffen in alle soorten voertuigen en motoren die benzine nodig hebben. Vergeleken met fossiele brandstoffen is ethanol (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH of EtOH) een zuurstofrijke brandstof die 35% zuurstof bevat, waardoor de schadelijke uitstoot van koolwaterstoffen en koolmonoxide bij verbranding wordt verminderd. Daarnaast wordt bio-ethanol gemaakt van producten zoals graan, melasse, fruit en schelpen. [8]

Bio-ethanol wordt niet alleen voor transporttoepassingen gebruikt, maar ook in andere industriële sectoren. Het kan bijvoorbeeld worden gebruikt om antivriesmiddelen en ruitenwisservloeistoffen te maken, in was- en reinigingsmiddelen om het effect van andere stoffen te versterken, of in cosmetica als geurloos en huidvriendelijk natuurlijk oplosmiddel.[9]

## Leerdoelen

Aan het eind van de les zijn de leerlingen in staat om:

- Flacons en pipetten te gebruiken
- De lab procedures uit te voeren en het resultaat te analyseren
- De labresultaten kritisch te evalueren

## Kerncompetenties Europees kader

<b>Geletterdheid</b>
S1. In staat zijn om concepten, gevoelens, feiten of meningen mondeling en schriftelijk te begrijpen en te interpreteren.
S3. In staat zijn om de wereld te interpreteren en zich tot anderen te verhouden.
<b>Meertalige competenties</b>
S7. In staat zijn om technische taal te gebruiken die past bij het werkterrein.
<b>Competenties op het gebied van wiskunde, exacte wetenschappen, technologie en techniek</b>
S8. In staat zijn om experimentele en observationele onderzoeken te ontwerpen en de daaruit voortvloeiende gegevens te analyseren.
S9. In staat zijn complexe problemen van optimalisatie en besluitvorming te formuleren en de oplossingen in de oorspronkelijke context van de problemen te interpreteren.
<b>Burgerlijke competenties</b>
S3. Vermogen om effectief te werken en samen te werken met andere teamleden
<b>Ondernemerscompetenties</b>
S2. Creativiteit/innovatie

## Duurzame Ontwikkelingsdoelen van de Verenigde Naties

De Duurzame Ontwikkelingsdoelen zijn de blauwdruk voor een betere en duurzamere toekomst voor iedereen. Ze pakken de mondiale uitdagingen aan waarmee we worden geconfronteerd, waaronder uitdagingen op het gebied van armoede, ongelijkheid, klimaatverandering, aantasting van het milieu, vrede en rechtvaardigheid. *Doelen gekoppeld aan deze activiteit:*

		Enable access to basic services		Equal access to global expertise
		Safe medical devices		Sustainable urbanization
		Access to education		Responsible consumption and production
		Less hardship, more opportunities		Strengthen resilience, reduce disaster impact
		Safe and affordable water		Reduce marine pollution
		Energy — the golden thread		Sustainable use of terrestrial ecosystems
		Safety of workers and economic growth		Promote peaceful and inclusive societies
		Resilient infrastructure and sustainable industrialization		Better access to technology and innovation

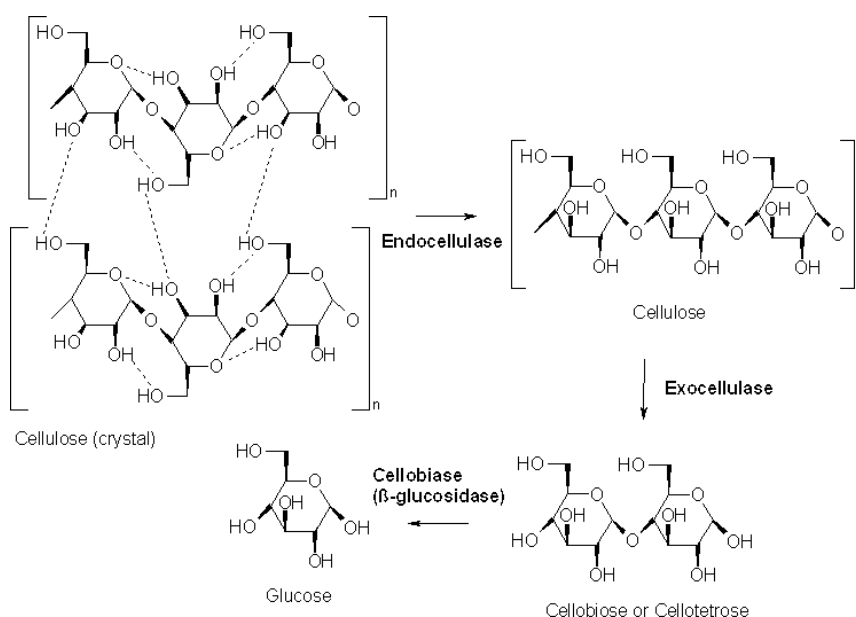
# Inhoud – Theoretische principes

Cellulose ( $C_6H_{10}O_5$ )<sub>n</sub> is een organisch macromolecuul, een polysacharide, dat bestaat uit een keten van eenvoudige suikermoleculen, namelijk glucose. Vanuit biologisch oogpunt is cellulose het fundamentele bestanddeel van plantencelwanden en daarom het meest voorkomende organische polymeer op aarde.

Veel natuurlijke producten bestaan voor een groot deel uit cellulose: 90% van katoen, 40-50% van hout en 57% van hennep. Cellulose is het hoofdbestanddeel van papier en papiergerelateerde materialen. Cellofaan en rayon (een textielvezel) worden ook verkregen uit cellulose.

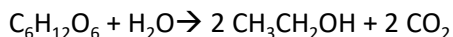
De laatste jaren is er steeds meer aandacht voor de mogelijkheid om cellulose te gebruiken als grondstof voor de productie van biobrandstoffen. Een van de manieren om het gebruik van fossiele brandstoffen te verminderen is door meer ethanol te gaan gebruiken. Momenteel bevat gewone benzine ongeveer 10% ethanol als additief, terwijl E85-benzine, die voor 85% uit ethanol bestaat, wordt gebruikt in speciale flex-fuel voertuigen. In Brazilië wordt ethanol gemaakt van suikerriet, en in de VS wordt maïs gebruikt als grondstof. De wetenschappelijke aandacht gaat echter steeds meer uit naar materialen die cellulose bevatten (oud papier, hout, bouwafval, gras en niet-eetbare plantendelen) als grondstof voor de productie van ethanol, omdat er minder verbouwd hoeft te worden en het de recycling van grondstoffen mogelijk maakt.

Cellulose wordt door twee verschillende processen die al in de natuur voorkomen opgesplitst in kleinere organische moleculen om uiteindelijk ethanol te verkrijgen. Het eerste proces bootst de werking van bacteriën na die in staat zijn om het macromolecuul op te splitsen in eenvoudigere suikers, die verteerbaar zijn voor het dier dat ze in zijn spijsverteringsstelsel opneemt. Dit proces is mogelijk dankzij een specifiek enzym waarmee deze bacteriën zijn uitgerust: cellulase. Net als alle enzymen is cellulase een complex eiwit dat een interactie aangaat met een specifiek substraat (in dit geval cellulose) en in staat om een specifieke chemische reactie te katalyseren (d.w.z. sneller te laten verlopen, in dit geval het opbreken van cellulose in glucose eenheden). Cellulase is een groep enzymen die elk een rol spelen in de afbreking:





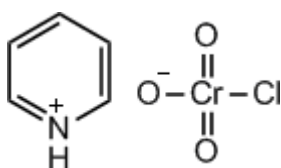
Endocellulase leidt tot de opdeling van cellulose in de individuele ketens, die vervolgens worden opgedeeld in kortere ketens (oligomeren genoemd) dankzij de werking van exocellulase. Tot slot zorgt cellobiase (of  $\beta$ -glucosidase) voor de uiteindelijke scheiding van de individuele glucose-eenheden. Zodra de glucose is verkregen, is de volgende stap een fenomeen dat de mens al duizenden jaren gebruikt voor gewone processen zoals wijn maken, brood bakken en brouwen. Dit proces staat bekend als fermentatie en wordt geassocieerd met de vertering van glucose door gist in de aanwezigheid van water, met als gevolg de productie van ethanol en kooldioxide.



In het algemeen verwijst gist naar eukaryote micro-organismen met één cel die behoren tot het paddenstoelenrijk. De gistsoort die verantwoordelijk is voor het fermentatieproces is *Saccharomyces cerevisiae*. *Saccharomyces cerevisiae* wordt op biologisch gebied veel bestudeerd als referentieorganisme en voor genetisch onderzoek. Het is de meest voorkomende soort gist, biergist, en wordt in elke supermarkt verkocht. Onder de juiste omstandigheden dupliceert *Saccharomyces cerevisiae* zijn populatie binnen 100 minuten. Om het fermentatieproces te maximaliseren, moeten de volgende parameters in de gaten worden gehouden:

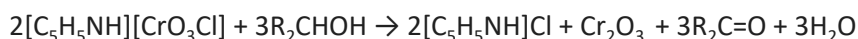
- de aanwezigheid van suiker, die de gist voedt;
- de aanwezigheid van water, dat betrokken is bij de fermentatiereactie. Zonder water vindt de fermentatiereactie niet plaats;
- de temperatuur: de maximale gistgroei vindt plaats rond 30-35 °C.

De werkelijke vorming van ethanol als gevolg van het hierboven beschreven proces kan op verschillende manieren worden gecontroleerd. De meest gebruikelijke methode is het gebruik van een blaastest, die meestal door politie wordt gebruikt om de alcoholconcentratie in de uitgeademde lucht te controleren. Een alternatieve methode om de vorming van ethanol vast te stellen is met behulp van een chroomhoudend reagens, namelijk pyridiniumchloorchromaat (PCC), een sterk oranje gekleurde verbinding (zie onderstaande figuur).



*Structuur van de pyridiniumchloorchromaat (PCC)-molecule en het poeder.*

In aanwezigheid van alcohol reageert PCC als volgt:

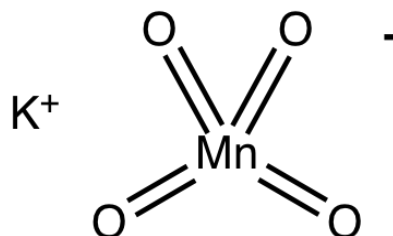


$R_2CHOH$  oxideert door PCC tot het keton (of aldehyde)  $R_2C=O$ , waarbij water, pyridiniumchloride  $[C_5H_5NH]Cl$  en dichroomtrioxide  $Cr_2O_3$  ontstaan. Dit laatste is een sterk groen gekleurde verbinding (zie onderstaande figuur). Macroscopisch gezien betekent dit dat de onderzochte oplossing van oranje naar donkerbruin verkleurt door de chromatische bijdrage van dichroomtrioxide, waardoor de aanwezigheid van alcohol kan worden geverifieerd.



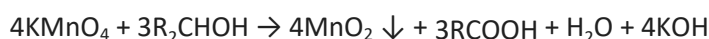
*Dichromaattrioxide  $Cr_2O_3$  poeders.*

Helaas is PCC een giftige stof en er kleven risico's aan het gebruik op het gebied van gezondheid en het milieu. Een alternatieve en veilige stof die gebruikt kan worden om de vorming van ethanol aan te tonen is kaliumpermanganaat  $KMnO_4$ . Dit is een paarszwart kristalzout (zie onderstaande figuur) dat, opgelost in water, intens roze of paarse oplossingen geeft. In tegenstelling tot pyridiniumchlorochroomaat zijn er geen risico's verbonden aan het gebruik van deze verbinding. Het wordt zelfs op grote schaal toegepast in de geneeskunde, bijvoorbeeld bij dermatitis, wonden en desinfectie.



*Naalden van kaliumpermanganaat(VII) (links); chemische structuur van  $KMnO_4$  (rechts).*

$KMnO_4$  bestaat uit het anion  $K^+$  en het kation  $MnO_4^-$ . In aanwezigheid van het alcohol  $R_2CHOH$ , werkt kaliumpermanganaat als oxidatiemiddel en vormt als producten water, kaliumhydroxide  $KOH$  en mangaandioxide (IV)  $MnO_2$ , dat neerslaat. Dit betekent dat zich tijdens de lopende reactie een poeder onderin het bekglas vormt. De redoxreactie in kwestie is:



Het optreden van de reactie kan visueel worden waargenomen door een kleurverandering in de oplossing, van donkerpaars naar lichtpaars naar een bruinachtige kleur.



## Labprocedure/Activiteit

---

De activiteit bestaat uit één module, waarin leerlingen op een duurzame manier ethanol produceren uit oud papier. Op dit moment wordt de meeste bio-ethanol gemaakt uit gewassen zoals suikerriet.

### Module 1 - Extractie van bio-ethanol uit oud papier

## Tijdsplanning

---

**Stap 1- Tijd & activiteit:** 45 minuten – Docenten geven een korte inleiding met behulp van een PowerPoint-presentatie (zie ondersteunend materiaal, film alleen in het Engels).

**Stap 2 – Tijd & Activiteit:** 1 uur - De leerlingen worden in groepen verdeeld (bij voorkeur 3-4 leerlingen per groep) en beginnen met het eerste deel van het experiment.

**Stap 3 – Tijd & Activiteit:** 2 uur – De monsters moeten overnacht in de oven, en de leerlingen vervolgen het experiment een dag later.

**Stap 4 – Tijd & Activiteit:** follow-up: leerlingen denken mee in de toepassing en ontwikkeling van duurzame bio-ethanol.



## Evaluatie

---

### 1) Hoe kan cellulose worden gebruikt als grondstof voor de productie van ethanol?

Cellulose is een organisch macromolecuul, gedefinieerd als polysacharide, dat bestaat uit een keten van vele zich herhalende glucose-eenheden. De celluloseketen kan worden opgesplitst in kleinere organische moleculen om uiteindelijk ethanol te verkrijgen door twee processen die al in de natuur voorkomen: vertering en fermentatie.

### 2) Waarom is het interessant om cellulose te gebruiken als grondstof voor de productie van ethanol?

In Brazilië en de VS worden biobrandstoffen op basis van ethanol verkregen uit respectievelijk suikerriet en maïs. Het voordeel van het gebruik van cellulosehoudende afvalmaterialen (oud papier, hout, bouwafval, gras en niet-eetbare plantendelen) als grondstof voor de productie van bio-ethanol is dat ze niet alleen niet apart gekweekt hoeven te worden, maar ook recycling van grondstoffen mogelijk maken.

### 3) Welke parameters moeten in de gaten worden gehouden om het fermentatieproces te optimaliseren?

De aanwezigheid van suiker (die de gist voedt), de aanwezigheid van water (zonder water vindt de fermentatiereactie niet plaats) en de temperatuur (de maximale gistgroei vindt plaats rond 30-35° C).

### 4) Hoe kan $\text{KMnO}_4$ gebruikt worden om de aanwezigheid van ethanol aan te tonen?

In aanwezigheid van de alcohol,  $\text{R}_2\text{CHOH}$ , werkt kaliumpermanganaat als oxidatiemiddel en vormt als producten water, kaliumhydroxide KOH en mangaandioxide(IV)  $\text{MnO}_2$ , dat neerslaat. Dit betekent dat zich tijdens de lopende reactie een poeder onderin het bekeerglas vormt dat de kleur van de oplossing verandert.

## Beschrijving van studentenkaarten

De studentenkaart bij deze toolkit bevat de uitleg van de activiteit op maat van de studenten is:

### Studentenkaart 1 - Extractie van bio-ethanol uit oud papier

## Bronnen

[1] Ragauskas, A. J., Williams, C. K., Davison, B. H., Britovsek, G., Cairney, J., Eckert, C. A., ... & Tschaplinski, T. (2006). The path forward for biofuels and biomaterials. *science*, 311(5760), 484-489.

[2] <https://www.eia.gov/energyexplained/energy-and-the-environment/where-greenhouse-gases-come-from.php>

[3] De chemie en technologie van aardolie - James.G. Speight

[4] <https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>

[5] <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature>

[6] Lokhorst, A., & Wildenborg, T. (2005). Inleiding over CO<sub>2</sub>-geologische opslag - classificatie van opslagopties. *Olie & gas wetenschap en technologie*, 60(3), 513-515.

[7] <https://ourworldindata.org/co2-emissions>

[8] Balat, M., Balat, H., & Öz, C. (2008). Vooruitgang in de verwerking van bio-ethanol. *Progress in energy and combustion science*, 34(5), 551-573.

[9] <https://www.cremeroleo.de/en/products/bioethanol.html>

Andere bronnen:

[10] DEMİRBAŞ, A. (2005). Bioethanol uit cellulose: een hernieuwbare motorbrandstof uit biomassa. *Energiebronnen*, 27(4), 327-337.