

## ► Ethanol uit kristalsuiker ◀

<b>Thema</b>	Productie van ethanol uit kristalsuiker op laboratoriumschaal					
<b>Werken aan competenties</b>	<p>Je bent <i>procesoperator in opleiding</i> bij een bedrijf dat <i>bioethanol</i> maakt uit verschillende grondstoffen. Als onderdeel van je opleiding ga je in dit practicum de productie van ethanol uit kristalsuiker onderzoeken. Je verzamelt kennis over het productie proces, grondstoffen, meet methodes, kwaliteit van het eindproduct, energieverbruik en kosten. Met deze kennis kun je later zelfstandig de productie van bioethanol op grotere schaal uitvoeren en adequaat rapporteren over het proces, kengetallen, de opbrengst en de kosten.</p> <p>Je wordt beoordeeld op de volgende rubrieken:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>► Technische vaardigheden</li> <li>► Exact</li> <li>► Kwaliteit en zorgvuldigheid</li> <li>► Verantwoordelijkheid</li> <li>► Zelfstandigheid</li> </ul>					
<b>Taak</b>	Volgens richtlijnen de productie van ethanol op laboratoriumschaal uitvoeren, inclusief kwaliteitscontrole en berekening van kengetallen, opbrengst en kosten.					
<b>Resultaat</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li><input type="checkbox"/> Plan van aanpak</li> <li><input type="checkbox"/> Volledig uitgevoerde voorbereiding</li> <li><input type="checkbox"/> Schoon opgeleverde werkplek</li> <li><input type="checkbox"/> Schoon opgeleverde apparatuur en materialen</li> <li><input type="checkbox"/> Veilig opgeborgen chemicaliën</li> <li><input type="checkbox"/> Volledig uitgewerkt meetrapport, inclusief verduidelijkende foto's</li> <li><input type="checkbox"/> Product in archief</li> </ul>					
<b>Oplevering</b>	<p>Jij bepaalt wanneer je deze taak gaat vervullen. Met de praktijkbegeleider spreek je het plan van aanpak eerst door. De taak neemt 2 dagen in beslag.</p>	<table border="1"> <tr> <td>Startdatum:</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> <tr> <td>Einddatum:</td> </tr> <tr> <td> </td> </tr> </table>	Startdatum:		Einddatum:	
Startdatum:						
Einddatum:						

## Portfolio

In je portfolio komt het door de praktijkbegeleider geaccordeerde meetrapport, bestaande uit:

- Doelstelling
- Proefbeschrijving
- Metingen
- Verduidelijkende foto's
- Volledig uitgerekende resultaten:
  - massabalans
  - ethanol rendement
  - energieverbruik
  - proceskosten
- Conclusie

# ► Voorbereiding ◀

## 1

### De aanpak van dit practicum

---

In dit practicum ga je een kleine hoeveelheid bioethanol maken volgens een proces dat uit 4 onderdelen bestaat:

- *inverteren* van een suikeroplossing
- *fermenteren* van de suikeroplossing
- *filtreren* van de gefermenteerde oplossing
- *destilleren* van ethanol

Het eerste, derde en vierde onderdeel kunnen elk in ongeveer 1-2 uur worden uitgevoerd. Het tweede onderdeel duurt tenminste 2 dagen, omdat het vergisten van suiker tot ethanol een *biochemisch* proces is dat nu eenmaal tijd vraagt. Je werkelijke inzet in dat onderdeel is dagelijks controleren of alles goed gaat. Plan je werk in de opleiding dus zo, dat je op gezette tijden eventjes die controles kunt uitvoeren.

Tijdens de uitvoering van het practicum maak je kennis met een aantal scheikundige technieken, doe je allerlei metingen en noteer je de uitkomsten. De gemaakte bioethanol archiveer je voor latere doeleinden.

Na het practicum ga je een aantal berekeningen uitvoeren en het meetrapport opstellen.

Doorloop de volgende stappen (vink gedane stappen af):

- Lees de practicum handleiding goed door
- Maak een meetrapport document aan
- Schrijf in het meetrapport jouw doelstellingen
- Schrijf in het meetrapport in je eigen woorden de proefbeschrijving
  - veiligheid
  - werkwijze
  - benodigdheden
- Kijk goed na wat je moet meten en maak tabellen voor je metingen, o.a.:
  - massa, volume, temperatuur, dichtheid van grondstoffen, tussenprodukten en eindprodukten
  - tijd van handelingen
  - afgenomen vermogen van elektrische apparaten

Bespreek je werk met de practicumbegeleider.

Als je een GO hebt gekregen ga je verder met de uitvoering.

### Inverteren van suikeroplossing

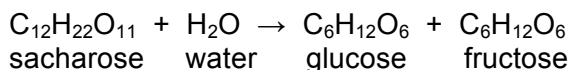
In dit practicum wordt kristalsuiker gebruikt als grondstof voor ethanol.

Kristalsuiker bestaat uit *sacharose* moleculen.

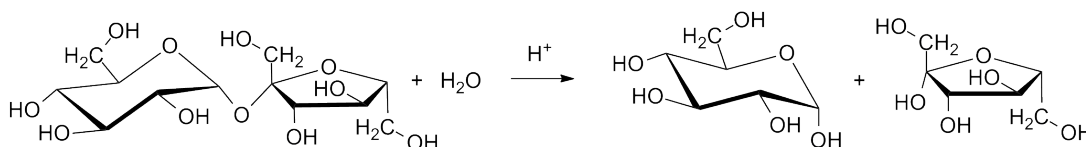
Deze moleculen moeten nu eerst worden omgezet in *invertsuiker*, dat bestaat uit gelijke hoeveelheden *glucose* en *fructose*.

Dit inverteren gebeurt door de kristalsuiker in water op te lossen en daarna te koken met toevoeging van een kleine hoeveelheid zuur.

De inversie reactie uitgebeeld met *molecuulformules* is:



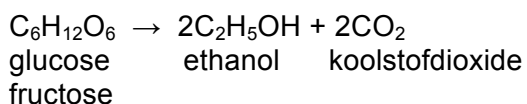
Glucose en fructose hebben dezelfde molecuulformule maar verschillen in hun *molecuulstructuur*. Dit wordt duidelijk door de inversie reactie weer te geven met *structuurformules*:



Het verschijnsel dat moleculen dezelfde molecuulformule hebben maar verschillen in structuur wordt *isomerie* genoemd. Glucose en fructose zijn *isomeren* van elkaar.

### Fermenteren van suikeroplossing

*Fermenteren* of *vergisten* is een *biochemisch* proces, waarin *gistcellen* de glucose en fructose moleculen omzetten in *ethanol* en *koolstofdioxide*:



Het vergisten moet *anaeroob* gebeuren, d.w.z. in *zuurstofarme* omgeving,.

Anders treedt *dissimilatie* op ofwel *biologische oxidatie* van de suikers volgens de reactie:



De zuurstofarme omgeving ontstaat door te vergisten in een afgesloten vat met een *waterslot*.

Het waterslot houdt de zuurstof uit de omgeving buiten en zorgt voor constante druk in het vat door de ontstane koolstofdioxide door te laten.

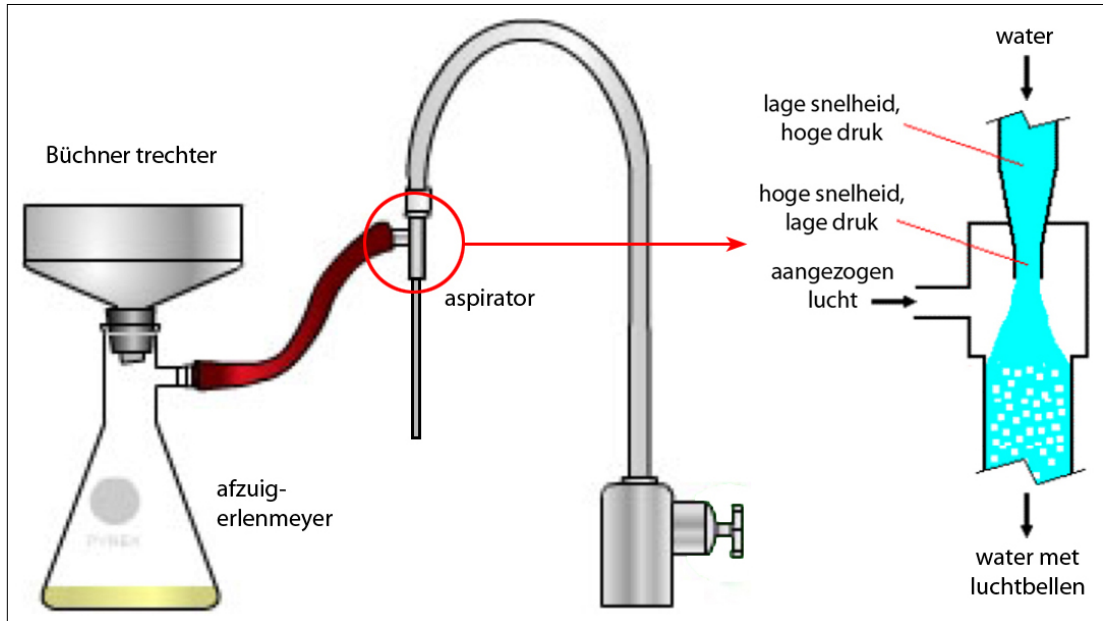
Bij een ethanol gehalte van 12 – 20% (afhankelijk van de gistsoort) sterven de gistcellen af en stopt het proces.

Om alle suikers om te kunnen zetten in ethanol is er af en toe een rustige beweging nodig. Opdat de gistcellen in contact komen met de glucose en fructose moleculen.

## Filtreren

Na het fermenteren worden de gistcellen uit de oplossing verwijderd met een Büchner filtratie opstelling. De gezuiverde oplossing heet *filtraat*. Het filtreren wordt versneld met vacuüm, dat wordt gemaakt met een *aspirator*, waarvan de werking wordt uitgelegd in de hierna volgende illustratie.

Büchner filtratie opstelling met aspirator:



## Destilleren

De ethanol wordt uit het filtraat afgescheiden via destillatie. Hiermee heb je al kennis gemaakt in het practicum "Test destillatiekolom".

# 3

## Informatie over metingen en berekeningen

### Massabalans

Een massabalans is een belangrijk instrument voor het beoordelen van een productie proces. Zo'n balans maak je op in 2 kolommen. In de linker kolom zet je alle grondstoffen, waarvan je uiteraard de massa hebt gemeten. In de rechter kolom alle gemeten produkten. Volgens de wet van behoud van massa, moet het totaal aan grondstoffen gelijk zijn aan het totaal aan produkten. Soms is de produkten massa kleiner dan die van de grondstoffen. Bijvoorbeeld wanneer er een gas ontstaat dat niet wordt gemeten. Het ontbrekende verschil kun je in de rechter kolom plaatsen als "afval en verlies".

### Ethanol rendement

Een ander belangrijk kenmerk is het rendement van het beoogde produkt. In dit practicum gaat het om zuivere ethanol. Hoeveel is er geproduceerd en hoeveel had het maximaal kunnen zijn? De beperkende factor in het proces is de gist, die suikers omzet in ethanol tot een bepaald vol%. In het practicum wordt een "turbogist" gebruikt die werkzaam is tot 20 vol%. Er wordt 900 mL water gebruikt en voldoende suiker, waarmee maximaal  $0,20 \times 900 = 180$  mL ethanol kan worden gemaakt. Dat komt overeen met 142 g.

Voor dit practicum bereken je het ethanol rendement dus met de formule:

$$\text{ethanol rendement} = \frac{\text{massa gedestilleerde ethanol}}{142} * 100\%$$

### Energie verbruik

Energie is bij veel productie processen een belangrijk onderdeel.

Elektrische energie verbruik (eenheid kWh) is meestal eenvoudig te berekenen uit het afgenomen vermogen (eenheid kW) en de tijdsduur.

In dit practicum wordt ook gebruik gemaakt van gas. Als het verbruik niet kan worden gemeten, zoals in dit practicum, wordt gerekend met onderstaande formule.

Het gas energieverbruik bestaat uit twee delen:

$$Q_{\text{tot}} = Q_1 + Q_2 \text{ (kJ)}$$

$Q_1$  is het energieverbruik voor het aan de kook brengen van de oplossing en wordt als volgt berekend:

$$Q_1 = (m_w c_w + m_s c_s + m_g c_g) \Delta T \text{ (kJ)}$$

waarin:  $Q_1$  = warmtehoeveelheid (kJ)

$m_w$  = massa water (kg)

$m_s$  = massa suiker (kg)

$m_g$  = massa glas (kg)

$c_w$  = soortelijke warmte van water =  $4186 \text{ (J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})$

$c_s$  = soortelijke warmte van suiker =  $1244 \times 10^3 \text{ (J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})$

$c_g$  = soortelijke warmte van glas =  $840 \text{ (J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1})$

$\Delta T$  = temperatuurverschil (K)

$Q_2$  is het energieverbruik voor het aan de kook houden van de oplossing en wordt als volgt berekend:

$$Q_2 = \Delta m_w \times \Delta H_{\text{vap}} \text{ (kJ)}$$

waarin:  $\Delta m_w$  = massa verdampte water (kg)

$\Delta H_{\text{vap}}$  =  $2257 \text{ kJ.kg}^{-1}$

Voor het optellen van  $Q_{\text{tot}}$  bij het elektrisch verbruik, moet het aantal kJ worden omgezet naar kWh volgens:  $1 \text{ kJ} = 1 \text{ kWh} = 1/3600 \text{ kWh}$ .

### Proceskosten

De proceskosten van het gemaakte product worden bepaald door de grondstoffen en het energie verbruik. Uit het practicum zal duidelijk worden welke kostenposten doorslaggevend zijn voor de proceskosten.

De gegevens voor het berekenen van de kosten zijn:

- suiker € 1,25 per kg
- water € 1,12 per  $\text{m}^3$
- gist € 0,20 per kg suiker
- elektriciteit € 0,22 per kWh

Wat zijn de proceskosten vergeleken met de winkelprijs van bioethanol?

Wat is het aandeel van de grondstoffen en de energie in de proceskosten?

Hoe zou je de proceskosten omlaag kunnen krijgen?

# ► Uitvoering ◀

## 4

### Maken van invertsuiker oplossing

---

#### Benodigheden

- waterkoker
- Power Energy meter
- analytische balans
- horlogeglas
- theelepel
- citroenzuur
- weegschaal
- bekerglas 2000 mL
- kristalsuiker
- lepel
- bunsenbrander met driepoot en gaasje
- thermometer
- roerstaaf
- teiltje
- maatcilinder 1000 mL

#### Handelingen

- Breng met de waterkoker ongeveer 1 L water aan de kook. Meet de opwarmtijd en het afgenomen vermogen
- Weeg met de analytische balans 0,5 g citroenzuur op het horloge glas
- Weeg 270 g kristalsuiker in het bekerglas
- Voeg het citroenzuur toe
- Voeg 900 g kokend water toe (tip: zet eerst de weegschaal op nul)
- Haal het bekerglas van de weegschaal en roer tot de suiker is opgelost
- Installeer een bunsenbrander met driepoot en gaasje en stel de bunsenbrander in op een rustige blauwe vlam
- Meet de temperatuur van de suikeroplossing en plaats het bekerglas op de driepoot
- Kook het suikerwater 20 minuten en meet de kooktemperatuur
- Plaats het bekerglas in een teiltje met koud water en laat de oplossing afkoelen tot ongeveer 22 °C
- Bepaal massa en volume van de suikeroplossing en bereken de dichtheid

## 5

### Fermenteren

---

#### Benodigheden

- weegschaal
- horlogeglas
- theelepel
- Alcotec Dual Turbo Gist
- je suikeroplossing
- roerstaaf
- vat 6 L met waterslot
- spuitfles demiwater

#### Handelingen

- Giet de suikeroplossing in het vat
- Weeg 8 g Alcotec Dual Turbo Gist op het horlogeglas
- Roer de gist door de suikeroplossing
- Sluit het vat, installeer het waterslot en vul het slot met demiwater
- Plaats het vat in de opslagruimte op een vel papier met je naam. Laat het vat staan tot de volgende StaZet. Schud het vat tenminste 2x per dag met een draaiende beweging en zorg dat het waterslot gevuld blijft.

## 6

### Filtreren

---

#### Benodigheden

- Büchner trechteropstelling en filtreerpapier
- spuitfles demiwater
- bekeerglas 1000 mL
- maatcilinder 1000 mL
- je vat met gefermenteerde suikeroplossing (stookwijn)

#### Handelingen

- Bepaal massa en volume van de stookwijn en bereken de dichtheid
- Installeer een Büchner trechteropstelling, leg een passend filtreerpapier in de trechter, maak het filtreerpapier vochtig en zet het vacuüm in werking
- Filtreer de stookwijn en schenk het filtraat in het bekeerglas
- Weeg het filter met filtraat voordat je het weggooit
- Bepaal massa en volume van het filtraat en bereken de dichtheid



**Benodigdheden**

- 60 cm destillatiekolom in de zuurkast
- multimeter
- Power Energy meter
- kooksteentjes
- rondbodempkolf 1000 mL
- maatcilinder 250 mL
- maatcilinder 100 mL
- bekerglas 1000 mL
- teiltje
- maatcilinder 1000 mL
- je gefiltreerde stookwijn

**Handelingen**

- Controleer de destillatiekolom en maak hem bedrijfsklaar, zet de 250 mL maatcilinder onder de uitlaat
- Meet met je Power Energy meter het door de verwarmers afgenomen vermogen
- Destilleer het filtraat tot de temperatuur boven 96 °C stijgt
- Bepaal massa en volume van het destillaat en bereken de dichtheid
- Schenk het destillaat over in een 250 mL fles en schrijf erop datum, je naam en product
- Archiveer je product
- Verwijder de kolf met de restfractie en giet de restfractie door een fijne zeef in het bekerglas
- Doe de kooksteentjes in het verzamel-bekerglas in de zuurkast
- Koel de restfractie in een teiltje met koud water af tot 20-25 °C
- Bepaal massa en volume van de restfractie en bereken de dichtheid
- Giet de restfractie door de afvoer

# ► Afronding ◀

## 8

### Completering van je meetrapport

---

Maak je meetrapport compleet met:

- je metingen
- je verduidelijkende foto's
- je resultaten:
  - massabalans
  - ethanol rendement
  - energieverbruik \*)
  - proceskosten
  - overzicht van je eindproduct bioethanol:
    - massa
    - volume
    - dichtheid
    - vol% ethanol
    - massa% ethanol
- indien van toepassing: een bespreking waarin bijv. afwijkingen in de uitvoering worden beschreven of verrassende uitkomsten worden toegelicht
- je conclusies, gebaseerd op doelstellingen en resultaten

- \*) het energieverbruik bestaat uit:
- elektrisch: water koken en destilleren
  - gas: koken suikeroplossing

# ► Beoordeling ◀

Ethanol uit kristalsuiker	Rubrieken <sup>*)</sup> :											Resultaat:	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Niet oke OKE
	Feedback:												Datum:
<hr/>													
<hr/>													
<hr/>													

<sup>\*)</sup> Rubrieken: 1. Vakinhoudelijke kennis en vaardigheden; 2. Technische vaardigheden; 3. Exact; 4. Kwaliteit en zorgvuldigheid; 5. Communicatie; 6. Sociale vaardigheid; 7. Initiatief nemen; 8. Plannen en organiseren; 9. Ondernemerschap; 10. Verantwoordelijkheid; 11. Zelfstandigheid; 12. Transfer vaardigheid