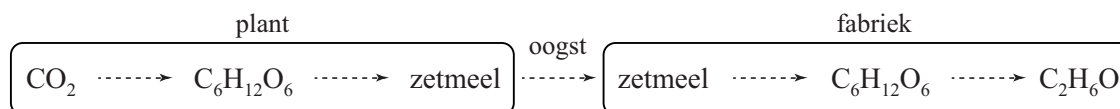


Zonnepanelen voor ethanol

Er is tegenwoordig veel vraag naar duurzame energiebronnen zoals bio-ethanol. Bio-ethanol wordt veel geproduceerd uit zetmeel van bijvoorbeeld aardappelen of mais.

De omzettingen die optreden bij de vorming van zetmeel in planten en de productie van bio-ethanol uit het zetmeel zijn in figuur 1 vereenvoudigd weergegeven.

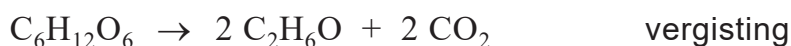
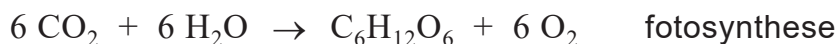
figuur 1



De gemiddelde opbrengst per hectare bedraagt in Nederland $4,5 \cdot 10^4$ kg aardappelen per jaar. Aardappelen bevatten gemiddeld 19 massa% zetmeel. Het zetmeel wordt in bioreactoren gehydrolyseerd tot glucose. De glucose wordt door vergisting omgezet tot koolstofdioxide en ethanol. Hierbij ontstaat twee mol ethanol per mol glucose.

- 4p 7 Bereken het volume in L ethanol dat maximaal per jaar kan worden geproduceerd per hectare aardappelen ($T = 293$ K).
- Neem aan dat zetmeel geheel uit amylose bestaat.

Om te kunnen berekenen wat de minimale hoeveelheid energie is die nodig is om ethanol te produceren uit CO_2 , wordt zetmeel weggelaten uit bovenstaande omzettingen. De resterende processen kunnen dan worden weergegeven met de volgende reactievergelijkingen:



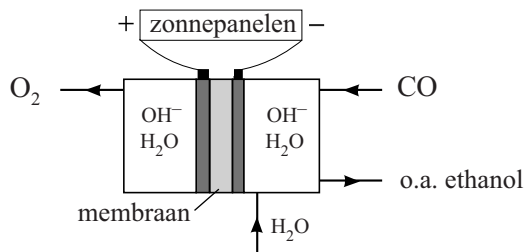
- 2p 8 Geef de totaalvergelijking voor deze vorming van ethanol uit CO_2 en H_2O .
- 2p 9 Bereken de reactiewarmte in joule per mol ethanol van deze vorming van ethanol ($T = 298$ K, $p = p_0$). Neem aan dat water en ethanol in vloeibare vorm voorkomen.

In het wetenschappelijk tijdschrift Nature is een artikel gepubliceerd over het gebruik van elektrische energie om ethanol te produceren uit CO_2 . Dit zou een alternatief kunnen zijn voor de genoemde productie van bio-ethanol.

Het elektrochemische proces bestaat uit twee stappen. In de eerste stap wordt CO₂ omgezet tot CO. In de tweede stap wordt CO door elektrolyse omgezet tot ethanol.

De elektrolyse-opstelling die wordt gebruikt, is in figuur 2 vereenvoudigd weergegeven. In beide halfcellen zijn OH⁻-ionen en water aanwezig. Alleen OH⁻-ionen en watermoleculen kunnen door het membraan tussen beide halfcellen bewegen.

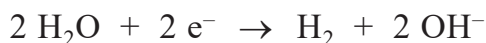
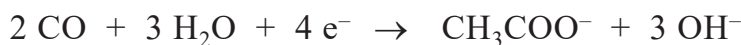
figuur 2



In de rechter halfcel worden acht elektronen opgenomen per molecuul ethanol dat wordt gevormd.

- 3p **10** Geef de vergelijking van de halfreactie van de vorming van ethanol in de rechter halfcel.
- 2p **11** Geef de vergelijking van de halfreactie die plaatsvindt in de linker halfcel en geef de totaalvergelijking.

Aan de negatieve elektrode worden behalve ethanol enkele bijproducten gevormd. Hierdoor is het rendement van de productie van ethanol nog laag. De twee belangrijkste bijproducten zijn ethanoaat en waterstof. De vergelijkingen van de halfreacties waarbij ethanoaat en waterstof worden gevormd, zijn hieronder weergegeven.



De onderzoekers vonden dat onder optimale omstandigheden 43% van de toegevoerde elektronen werd gebruikt voor de productie van ethanol en 13% voor de productie van ethanoaat. De rest werd gebruikt voor de productie van waterstof. Zowel ethanol als waterstof werd vervolgens gebruikt als brandstof.

- 3p **12** Bereken de molverhouding waarin ethanoaat, ethanol en waterstof worden geproduceerd. Noteer je antwoord als volgt:
ethanoaat : ethanol : waterstof = 1,0 : ... : ...
- 2p **13** Laat met een berekening zien bij welke verbranding de meeste energie vrijkomt: bij de verbranding van de waterstof die bij de elektrolyse is geproduceerd of bij de verbranding van de geproduceerde ethanol.
- Het water dat wordt gevormd bij de verbrandingen, komt vrij als vloeistof.
 - Gebruik Binas-tabellen 56 en/of 57 of ScienceData-tabellen 8.7a en/of 9.2a.