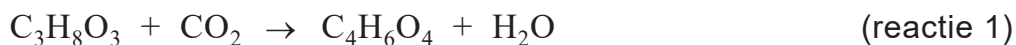


Slim gebruik van glycerol

Biodiesel wordt geproduceerd door methanol toe te voegen aan plantaardige olie of dierlijk vet. Hierbij treedt een reactie op waarbij esters van methanol en vetzuren worden gevormd. Tevens wordt hierbij glycerol (propaan-1,2,3-triol) gevormd.

- 3p 14 Geef de reactievergelijking van de vorming van biodiesel uit vet.
- Gebruik structuurformules.
 - Noteer de koolwaterstofrest van een vetzuur als C_xH_y .

Door de toename van de biodieselproductie is een overschot aan glycerol op de wereldmarkt ontstaan. Dit heeft geleid tot onderzoek naar de omzetting van glycerol met behulp van micro-organismen tot waardevolle chemicaliën. Een van deze chemicaliën is butaandizuur. De bacterie *Anaerobiospirillum succiniciproducens* kan onder zuurstofloze omstandigheden glycerol omzetten tot butaandizuur ($C_4H_6O_4$). De vergelijking van deze omzetting is hieronder weergegeven.



De bacterie kan ook glucose omzetten tot butaandizuur. In deze reactie (reactie 2) reageert glucose met koolstofdioxide tot butaandizuur, ethaanzuur en water.

In reactie 2 ontstaat 4 mol butaandizuur uit 3 mol glucose.

- 3p 15 Geef de vergelijking van reactie 2 in molecuulformules.

Reactie 1 verloopt traag. Reactie 2 verloopt sneller, maar door de bacteriën worden dan meer bijproducten gevormd.

Een groep onderzoekers heeft onderzocht of de productie van butaandizuur uit glycerol kan worden geoptimaliseerd door de bacteriën gelijktijdig glycerol en glucose te laten omzetten.

Ze voerden een serie experimenten uit waarbij zij de bacteriën lieten groeien in een mengsel met enkel glycerol en in mengsels van glycerol met wisselende gehalten glucose.

Bij een mengsel met een startgehalte van $5,00 \text{ g L}^{-1}$ glycerol en $1,25 \text{ g L}^{-1}$ glucose werd uiteindelijk $7,3 \text{ g L}^{-1}$ butaandizuur geproduceerd.

- 4p 16 Bereken het rendement van deze vorming van butaandizuur.
- Neem aan dat alle beginstof geheel werd omgezet.
 - Gebruik gegevens van reactie 1 en 2.

Reacties 1 en 2 zijn beide exotherm. De vrijgekomen energie wordt door de bacteriën gebruikt voor groei.

De vormingswarmte van butaandizuur is $-9,40 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$ en die van glycerol is $-6,64 \cdot 10^5 \text{ J mol}^{-1}$.

De reactiewarmte van reactie 2 is $-1,82 \cdot 10^5 \text{ J}$ per mol butaandizuur.

Bij de gebruikte omstandigheden wordt 85% van het butaandizuur gevormd uit reactie 1.

- 4p 17 Bereken de totale reactiewarmte in joule per kg butaandizuur dat wordt gevormd volgens reacties 1 en 2. In de reacties komt water voor als vloeistof.

De vorming van butaandizuur zorgt voor een verlaging van de pH van het reactiemengsel. Om de pH constant te houden, wordt gedurende het experiment natronloog aan het mengsel toegevoegd. Hierdoor vormt zich uiteindelijk een buffer in het reactiemengsel.

- 2p 18 Leg uit dat zich gedurende het experiment een buffer vormt in het reactiemengsel.

Bij het experiment met uitsluitend glycerol bleek dat de opbrengst aan butaandizuur maximaal was als het gehalte glycerol in de reactor constant werd gehouden.

De hoeveelheid glycerol die tijdens het verloop van het experiment moet worden aangevuld, kon worden bepaald door te meten hoeveel NaOH er nodig was om de pH constant te houden.

Bij de gebruikte pH was het door de bacteriën gevormde butaandizuur ($\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_4$) voor 87% omgezet tot $\text{C}_4\text{H}_4\text{O}_4^{2-}$ en voor 13% tot $\text{C}_4\text{H}_5\text{O}_4^-$. In het experiment had in totaal 7,50 mL 2,00 M natronloog gereageerd.

- 4p 19 Bereken de massa in g glycerol die is omgezet.
- Neem aan dat het butaandizuur uitsluitend via reactie 1 wordt gevormd.
 - Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.