

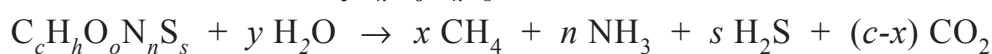
Biogasfabricage uit afval

Methaan uit aardgas levert in Nederland per jaar ongeveer $1,5 \cdot 10^{18}$ J aan energie. In 2007 werd in het rapport "Vol gas vooruit!" het doel gesteld dat op korte termijn 3,0% van deze energie wordt geleverd door biogas.

Biogas ontstaat wanneer biomassa door een mengsel van bacteriën wordt afgebroken onder zuurstofarme omstandigheden. De hoofdbestanddelen van biogas zijn koolstofdioxide en methaan.

De reactiewarmte bij de verbranding van biogas bedraagt gemiddeld $-2,0 \cdot 10^7$ J m⁻³. Deze energiewaarde kan vooral worden toegeschreven aan het aanwezige methaan.

Hieronder is een reactievergelijking voor het totale proces van de vorming van biogas uit biomassa weergegeven. Voor biomassa wordt de verhoudingsformule $C_c H_h O_o N_n S_s$ gebruikt.



$$x = 0,125(4c + h - 2o - 3n + 2s)$$

$$y = 0,250(4c - h - 2o + 3n + 2s)$$

Een bepaalde fractie biomassa kan worden voorgesteld met de volgende verhoudingsformule: $C_{38}H_{60}O_{26}N_3$.

- 5p 10 Bereken hoeveel ton van deze biomassa moet worden vergist tot biogas om bovengenoemde doelstelling te bereiken. Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:
- de molaire massa van $C_{38}H_{60}O_{26}N_3$ bedraagt 975 g mol^{-1} ;
 - biogas bevat 46 vol% methaan;
 - het molair volume bedraagt $2,4 \cdot 10^{-2} \text{ m}^3 \text{ mol}^{-1}$.

Biomassa bestaat voornamelijk uit koolhydraten, vetten en eiwitten. De vorming van biogas uit biomassa gebeurt in vier stappen. Deze stappen verlopen tegelijkertijd.

Stap 1: hydrolyse. Tijdens deze stap worden de koolhydraten, eiwitten en vetten met behulp van enzymen buiten de bacteriecellen afgebroken tot suikers, aminozuren, vetzuren en glycerol. De producten van de hydrolyse worden door bacteriën opgenomen.

- 4p 11 Geef de reactievergelijking in structuurformules voor de hydrolyse van het eiwitfragment $\sim \text{Ala} - \text{Ser} - \text{Met}$ tot $\sim \text{Ala}$ en de losse aminozuren.

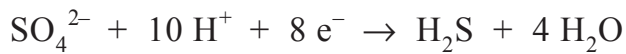
Stap 2: verzuring. De in stap 1 gevormde stoffen worden in de bacteriën omgezet tot zuren en alcoholen. Hierbij ontstaan tevens waterstof en koolstofdioxide. Als bijproducten worden ammoniak en waterstofsulfide (H_2S) gevormd.

- 2p 12 Geef aan uit welke soort(en) stof(fen) die na stap 1 aanwezig zijn in het reactiemengsel, ammoniak en waterstofsulfide kunnen worden gevormd. Licht je antwoord toe.

Stap 3: azijnzuurvorming. Zogenaemde azijnzuurvormende bacteriën zetten de in stap 2 gevormde zuren en alcoholen met water om tot ethaanzuur en waterstof. Als in een zuur of alcohol een oneven aantal C atomen aanwezig is, ontstaat hierbij tevens CO_2 . Bij een even aantal C atomen ontstaat geen CO_2 . De reacties in stap 3 kunnen worden voorgesteld als evenwichtsreacties.

3p 13 Geef de reactievergelijking voor de omzetting van hexaanzuur in stap 3.

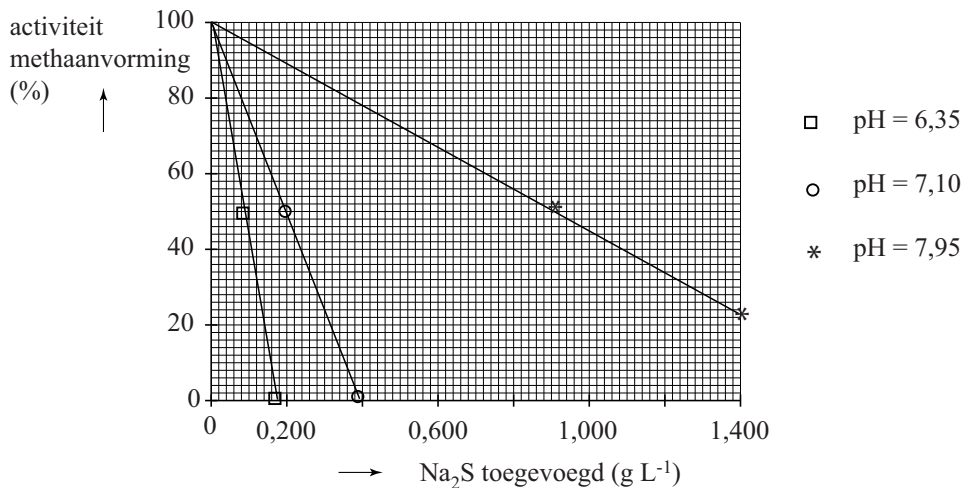
In stap 4 wordt door methaanvormende bacteriën ten slotte methaan en CO_2 gevormd. Hierbij verbruiken ze het in stap 2 gevormde waterstof. In sommige bronnen van biomassa, zoals havenslib, zijn veel sulfaationen aanwezig. De aanwezigheid van sulfaat-afbrekende bacteriën in een reactor kan dan de methaanproductie verminderen. Deze bacteriën verbruiken namelijk het aanwezige waterstof om sulfaationen om te zetten tot H_2S . De vergelijking van de halfreactie van het sulfaat is hieronder weergegeven.



2p 14 Leid met behulp van de vergelijkingen van de halfreacties de totale reactievergelijking af voor deze bacteriële omzetting van SO_4^{2-} tot H_2S . Gebruik Binas-tabel 48.

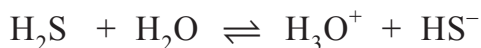
Het gevormde H_2S en het tevens aanwezige HS^- zijn bij een hoge concentratie giftig voor de methaanvormende bacteriën. Om het remmende effect van H_2S en HS^- op de methaanproductie te onderzoeken werd in een laboratoriumopstelling de methaanproductie van methaanvormende bacteriën bepaald na toevoeging van verschillende hoeveelheden Na_2S . Dit experiment werd uitgevoerd bij drie pH-waarden, die met behulp van buffers werden ingesteld. De overige omstandigheden werden constant gehouden. In diagram 1 is het resultaat van de metingen weergegeven.

diagram 1



Bij de gebruikte pH-waarden worden de opgeloste S^{2-} ionen volledig omgezet tot H_2S en HS^- .

In de oplossing stelt zich het volgende evenwicht in:



- 3p **15** Leg met behulp van diagram 1 uit welk deeltje de methaanvorming het sterkst remt: H_2S of HS^- .

Bij pH = 7,10 is een afname van 50% van de methaanvorming gemeten na het toevoegen van 0,20 g Na_2S per liter. Berekend kan worden dat dan de concentratie H_2S $0,041 \text{ g L}^{-1}$ bedraagt.

Bij pH = 7,95 is dezelfde afname van de methaanvorming gemeten na het toevoegen van 0,90 g Na_2S per liter. Hoewel in deze proef meer Na_2S is toegevoegd, is er toch ongeveer evenveel H_2S aanwezig als in de genoemde proef bij pH = 7,10.

- 5p **16** Bereken hoeveel gram H_2S per liter in de reactor bij pH = 7,95 aanwezig is, wanneer 0,90 g Na_2S per liter is toegevoegd ($T = 298 \text{ K}$, $p = p_0$). Neem aan dat het H_2S in de reactor geheel is opgelost in water.