

Tenzij anders vermeld, is er sprake van standaardomstandigheden:
 $T = 298 \text{ K}$ en $p = p_0$.

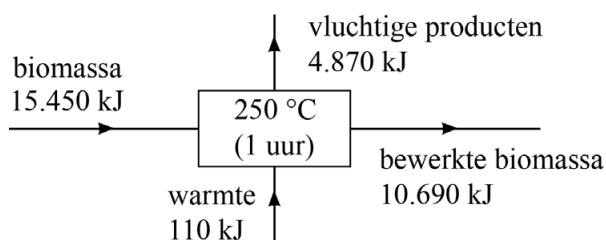
Fischer-Tropsch

In de jaren 20 van de vorige eeuw ontwikkelden de Duitse geleerden Fischer en Tropsch een proces om synthesegas om te zetten tot vloeibare brandstoffen. Synthegas is een gasmengsel van koolstofmono-oxide en waterstof. Bij de zogeheten Fischer-Tropsch-reactie ontstaan diverse koolwaterstoffen, vooral alkanen. Als bijproduct ontstaat alleen water.

- 3p 1 Geef de reactievergelijking voor de vorming van een alkaan via de Fischer-Tropsch-reactie. Gebruik C_nH_{2n+2} als algemene formule van een alkaan.

De benodigde koolstofmono-oxide en waterstof kunnen uit allerlei grondstoffen worden bereid, zoals kolen, aardgas of biomassa. Biomassa moet worden voorbewerkt, bijvoorbeeld door het te verhitten, waardoor het gehalte koolstof stijgt. In figuur 1 is een schema gegeven van de energiestromen tijdens het verhitten van biomassa.

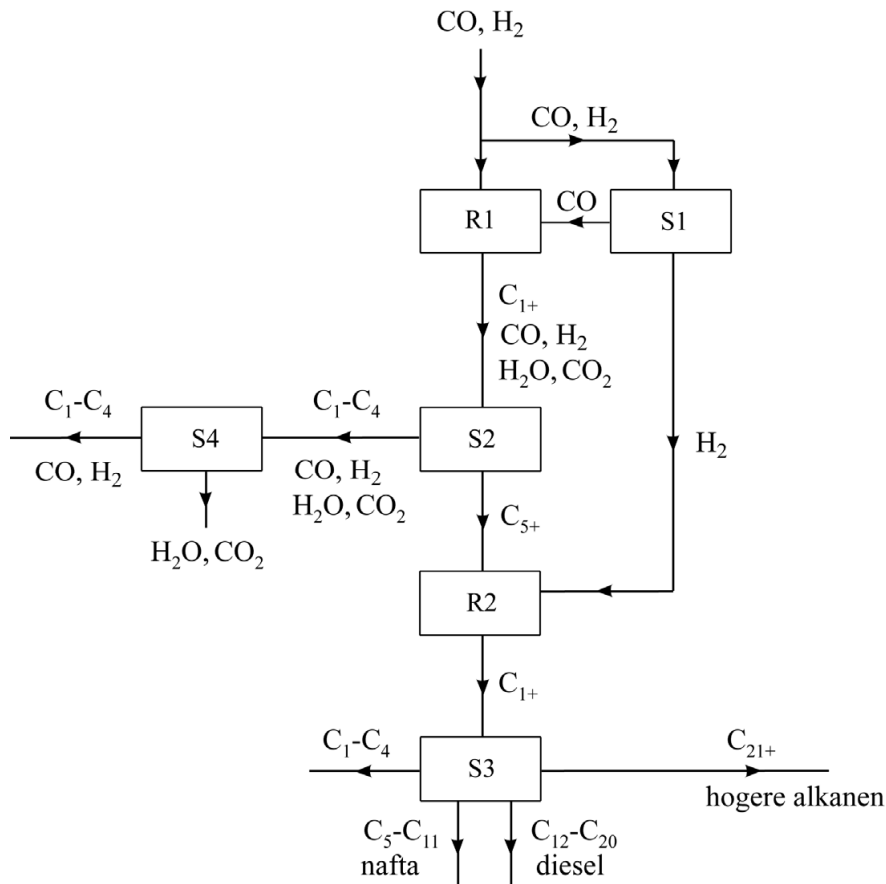
figuur 1



- 2p 2 Bereken het energierendement van deze omzetting van biomassa tot bewerkte biomassa.

De bewerkte biomassa wordt vervolgens met lucht omgezet tot een gasmengsel dat onder andere koolstofmono-oxide en waterstof bevat. In figuur 2 is een onvolledig blokschema weergegeven van een fabriek die met behulp van de Fischer-Tropsch-reactie stoffen zoals nafta en diesel produceert.

figuur 2



Legenda:

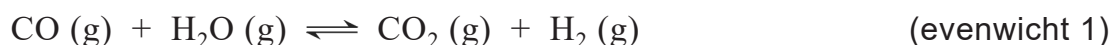
C_{1+} fractie alkanen met 1 of meer dan 1 C-atoom per molecuul

$C_1 - C_4$ fractie alkanen met 1 tot en met 4 C-atomen per molecuul

C_{5+} fractie alkanen met 5 of meer dan 5 C-atomen per molecuul

etc.

In reactor 1 (R1) treden de Fischer-Tropsch-reactie en evenwicht 1 op.



Van evenwicht 1 is de reactiewarmte van de reactie naar rechts $-4,1 \cdot 10^4$ J per mol CO. De verhouding tussen de stoffen CO en H_2 in de stofstroom die R1 verlaat, kan worden geoptimaliseerd door de omstandigheden in de reactor te variëren. Door de temperatuur te veranderen, kan via evenwicht 1 meer of juist minder H_2 gevormd worden.

- 2p **3** Leg uit of de temperatuur verhoogd of verlaagd moet worden om evenwicht 1 meer naar rechts te laten verschuiven.

De reacties in R1 verlopen niet volledig. Een nadeel van de Fischer-Tropsch-reactie is dat in R1 een mengsel ontstaat waarin zich alkanen bevinden met één tot zeer veel koolstofatomen per molecuul. Dit mengsel wordt met C_{1+} aangeduid.

In scheidingsruimte 2 (S2) wordt de fractie alkanen met vijf of meer dan vijf koolstofatomen per molecuul (C_{5+}) afgescheiden van de rest van het reactiemengsel. De rest van het mengsel, waarin zich onder andere de alkanen bevinden met 1 tot en met 4 C-atomen per molecuul ($C_1 - C_4$), wordt doorgevoerd naar scheidingsruimte 4 (S4). In S4 wordt het mengsel afkomstig uit S2 gescheiden met behulp van extractie. Dit wordt gedaan omdat een scheiding van de stoffen door afkoeling van het mengsel niet het gewenste resultaat geeft. Het extractiemiddel dat wordt gebruikt, is niet opgenomen in het blokschema.

- 2p **4** Leg uit, met behulp van de kookpunten van de betrokken stoffen, dat deze scheiding in S4 inderdaad niet kan worden uitgevoerd door afkoeling van het mengsel.
- Gebruik informatie uit het blokschema;
 - Neem hierbij aan dat het kookpunt van CO_2 195 K is;
 - Gebruik je informatieboek.

De fractie $C_1 - C_4$ afkomstig uit S4 wordt in reactor 3 (R3) met behulp van zuurstof geheel omgezet tot waterstof en koolstofmono-oxide. R3 is niet in het blokschema opgenomen. De fractie C_{5+} afkomstig uit S2 ondergaat in reactor 2 (R2) een reactie die hydrocracking wordt genoemd. Tijdens hydrocracking worden C–C-bindingen in de alkanen verbroken. Hierbij ontstaan onder andere onverzadigde koolwaterstoffen. Vervolgens worden in dezelfde reactor de ontstane onverzadigde koolwaterstoffen met waterstof onder invloed van een katalysator omgezet tot alkanen. Op de uitwerkbijlage is het energiediagram voor de vorming van propaan uit propeen (R2) tweemaal onvolledig weergegeven: met en zonder katalysator.

- 3p **5** Voer op de uitwerkbijlage de volgende opdrachten uit:
- Leg uit of deze vorming van propaan uit propeen een exotherme of een endotherme reactie is. Gebruik Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.
 - Teken de ontbrekende energieniveaus met bijbehorende bijschriften zodat duidelijk wordt wat de invloed van de katalysator is.

Door de reacties in R2 ontstaat uiteindelijk een mengsel dat weer kan worden aangeduid met C_{1+} . In S3 wordt het mengsel afkomstig uit R2 gescheiden in vier fracties. De fractie $C_1 - C_4$ wordt teruggevoerd in het proces. De fracties $C_5 - C_{11}$ en $C_{12} - C_{20}$ worden verkocht als nafta en diesel. Van de fractie C_{21+} wordt een deel verkocht en de rest wordt teruggevoerd in het proces. In het blokschema ontbreekt een aantal stofstromen. Ook ontbreekt R3.

- 3p **6** Maak op de uitwerkbijlage het blokschema compleet.
- Teken R3.
 - Teken de ontbrekende pijlen en noteer de ontbrekende stofnamen die daarbij horen. Houd daarbij rekening met terugvoer van stoffen.