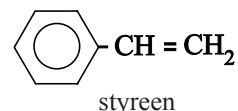


Styreen

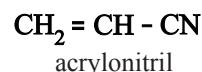
Hiernaast is de structuurformule van styreen afgebeeld. Styreen is de grondstof voor een aantal kunststoffen. Eén van die kunststoffen is ABS (Acrylonitril-Butadieen-Styreen).



Eén van de grondstoffen voor de bereiding van ABS is een polymeer van 1,3-butadieen. Als 1,3-butadieen polymeriseert, zijn de koolstofatomen 1 en 4 betrokken bij de polymerisatie.

In een molecuul van dit polybutadieen is hierdoor per monomere eenheid nog een C = C binding in de hoofdketen aanwezig. Door de aanwezigheid van deze C = C bindingen kan polybutadieen met acrylonitril en styreen reageren. Er ontstaan dan zijtakken aan de polybutadieenmoleculen waarin moleculen acrylonitril en styreen zijn verwerkt.

Hiernaast is de structuurformule van acrylonitril afgebeeld.



- 2p **21** Geef van het hierboven beschreven polybutadieen een gedeelte uit het midden van een polymeermolecuul in structuurformule weer. Dit gedeelte dient te zijn opgebouwd uit twee monomeereenheden. Houd geen rekening met eventuele *cis-trans* isomerie.
- 2p **22** Geef de structuurformule van een fragment van een molecuul ABS. Dit fragment moet bestaan uit één polybutadieen-eenheid, één acrylonitril-eenheid en één styreen-eenheid. Geef hierbij de CN groep van acrylonitril als –CN weer.

Eén van de manieren om styreen in de industrie te produceren, is door ontleding van ethylbenzeen. Dit is een evenwichtsreactie waarin behalve styreen ook waterstof ontstaat. De ontledingsreactie is endotherm.

De omstandigheden in de reactor zijn zodanig dat alle stoffen in de gasfase verkeren. Om de jaaropbrengst aan styreen zo hoog mogelijk te maken, wordt de reactie bij hoge temperatuur uitgevoerd.

- 2p **23** Geef twee redenen waarom het voor de jaaropbrengst voordelig is om de reactie bij een hoge temperatuur uit te voeren. Licht je antwoord toe.

Het voor de bereiding van styreen benodigde ethylbenzeen wordt in een apart proces bereid. Daartoe laat men etheen reageren met benzeen. Er ontstaan hierbij ook bijproducten. Het ontstane ethylbenzeen kan namelijk met etheen doorreageren onder vorming van di-ethylbenzenen. En ook de di-ethylbenzenen kunnen met etheen reageren, waarbij tri-ethylbenzenen worden gevormd.

De di- en tri-ethylbenzenen worden vervolgens in een aparte reactor met benzeen omgezet tot ethylbenzeen. In een fabriek voor de industriële bereiding van styreen worden beide processen (de bereiding en ontleding van ethylbenzeen) gecombineerd. In het totale proces worden drie reactoren gebruikt en drie destillatiekolommen. Hieronder volgt een beschrijving van het totale proces.

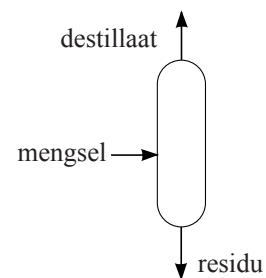
- In reactor 1 (R1) laat men etheen reageren met benzeen. Men gebruikt overmaat benzeen. Hier ontstaat een mengsel van ethylbenzeen, di- en tri-ethylbenzenen en niet-gereageerd benzeen. Alle etheen reageert.
- In destillatiekolom 1 (K1) wordt benzeen afgescheiden uit het mengsel dat erin komt.
- In destillatiekolom 2 (K2) wordt het ethylbenzeen uit het residu van K1 afgescheiden.
- In reactor 2 (R2) worden de di- en tri-ethylbenzenen met benzeen omgezet tot ethylbenzeen. Ook hier gebruikt men overmaat benzeen. Alle di- en tri-ethylbenzenen worden omgezet.
- In reactor 3 (R3) vindt de ontleding van ethylbenzeen plaats. Omdat dit een evenwichtsreactie is, verlaat een mengsel van ethylbenzeen, styreen en waterstof deze reactor.
- Het mengsel dat uit R3 komt, wordt eerst afgekoeld zodat ethylbenzeen en styreen vloeibaar worden. Het dan nog aanwezige gasvormige waterstof wordt via een ventiel (V) verwijderd en opgevangen.
- Het overblijvende mengsel van ethylbenzeen en styreen wordt in destillatiekolom 3 (K3) gescheiden.

Op de uitwerkbijlage bij dit examen, is een onvolledig blokschema voor het totale proces weergegeven. Alle reactoren en destillatiekolommen zijn hierin getekend. Een groot deel van de stofstromen ontbreekt.

Bij de destillatiekolommen wordt aangegeven welke stof de kolom via de top verlaat en welke stoffen via de onderkant worden afgevoerd (zie de figuur hiernaast).

De cijfers in het blokschema verwijzen naar de volgende stoffen:

1 benzeen	4 di-ethylbenzenen	7 waterstof
2 etheen	5 tri-ethylbenzenen	
3 ethylbenzeen	6 styreen	



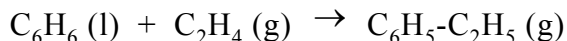
- 4p **24** Teken in het blokschema op de uitwerkbijlage de ontbrekende stofstromen.
- Zet bij deze stofstromen met cijfers welke stof(fen) daar bij hoort (horen).
 - Geef ook aan welke stoffen bij de diverse destillatiekolommen via de top en via de onderkant worden afgevoerd. De kookpunten/kooktemperaturen van de diverse stoffen zijn als volgt:

benzeen	80 °C	di-ethylbenzenen	182 – 184 °C
etheen	– 104 °C	tri-ethylbenzenen	216 – 218 °C
ethylbenzeen	136 °C	styreen	145 °C

Houd rekening met het feit dat men, waar mogelijk, stoffen recirculeert.

In de fabriek wordt ook rekening gehouden met een zo zuinig mogelijk gebruik van energie. Energie die in een reactor vrijkomt, kan bijvoorbeeld worden gebruikt om een andere reactor te verwarmen.

De reactie die in reactor 1 verloopt kan als volgt worden weergegeven:



De reactie-energie van deze reactie is $-0,72 \cdot 10^5$ J per mol benzeen.

2p **25** Geef de reactievergelijking van de reactie die in reactor 3 verloopt. Gebruik structuurformules voor de organische stoffen.

3p **26** Bereken de reactie-energie per mol styreen van de reactie die in reactor 3 verloopt en laat zien of de reactie-energie uit reactor 1 voldoende is om de reactie in reactor 3 te laten verlopen.

De vormingswarmte van styreen (gas) is $+1,48 \cdot 10^5$ J mol⁻¹.

Omdat voor het totale proces inclusief destillaties energie nodig is, moet energie gewonnen worden uit een verbrandingsreactie. De keuze is verbranding van het in het proces geproduceerde waterstof of de verbranding van extra in te kopen aardgas. Het waterstof kan dan worden verkocht. Inkoop van aardgas kost voor grootverbruikers € 0,0235 per kWh. De prijs van waterstof is € 2,50 per kg.

3p **27** Laat met een berekening zien of het voor de fabriek financieel voordeliger is om het gevormde waterstof te verkopen of te verbranden ($T=273$ K; $p=p_0$). Gebruik Binas-tabel 28A.

