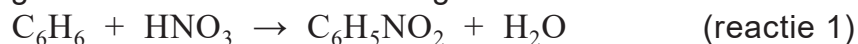


## Bacteriën maken aniline uit suiker

Aniline ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$ ) is een grondstof voor onder andere schuimrubber. In 2022 werd 9,4 miljoen ton aniline geproduceerd. Het meest gebruikte proces voor de productie van aniline is het nitrobenzeenproces.

Het nitrobenzeenproces verloopt in twee stappen:

Stap 1: Benzeen ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) reageert met geconcentreerd salpeterzuur tot nitrobenzeen ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{NO}_2$ ) en water. Als katalysator wordt geconcentreerd zwavelzuur gebruikt.



Stap 2: Nitrobenzeen wordt met behulp van waterstof omgezet tot aniline en water. Dit gebeurt bij een temperatuur van 200 °C tot 300 °C in aanwezigheid van een tweede katalysator.



Het hele proces kan met één vergelijking worden weergegeven.

- 4p 1 – Geef de totale vergelijking voor de productie van aniline uit benzeen via het nitrobenzeenproces.  
– Bereken de atomeconomie van het nitrobenzeenproces.

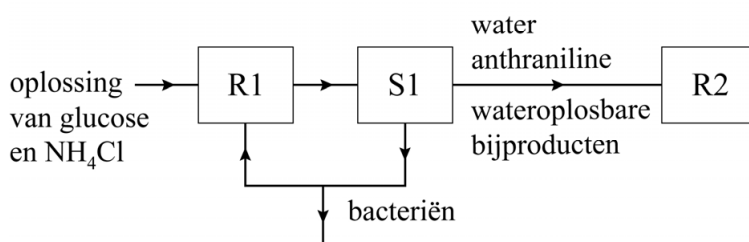
Het nitrobenzeenproces is niet “groen” te noemen. Gebruik van de stof benzeen past niet bij uitgangspunt 7 van de groene chemie, omdat benzeen een bestanddeel is van aardolie. Gebruik van geconcentreerd salpeterzuur past niet bij uitgangspunt 12 van de groene chemie.

- 1p 2 Leg uit dat het gebruik van geconcentreerd salpeterzuur niet bij uitgangspunt 12 van de groene chemie past.

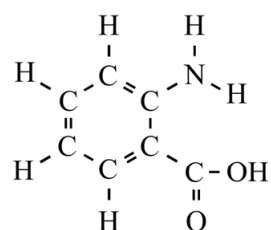
In Duitsland heeft Covestro een fabriek gebouwd die gebruik maakt van genetisch aangepaste bacteriën voor de productie van aniline. Figuur 1a toont een onvolledig blokschema voor deze fabriek. In een reactor die bacteriën bevat (R1), wordt een oplossing van onder andere glucose en ammoniumchloride ( $\text{NH}_4\text{Cl}$ ) ingevoerd als voedingsstof voor de bacteriën. Bacteriën zetten deze stoffen om tot anthraniline (figuur 1b).

figuur 1

1a onvolledig blokschema



1b anthraniline



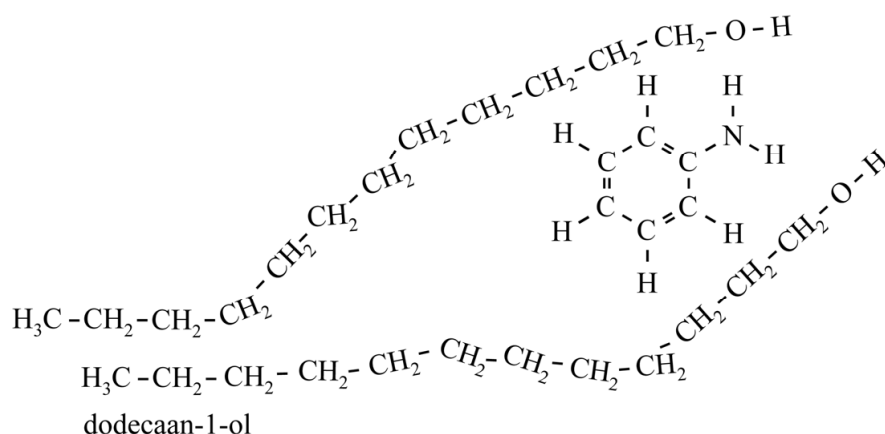
Na een bepaalde tijd zijn de voedingsstoffen omgezet en wordt de inhoud van de reactor gefiltreerd (S1). Het residu bestaat uit bacteriën die kunnen worden hergebruikt. Omdat de bacteriën zich vermenigvuldigen, wordt een deel hiervan afgevoerd.

In het filtraat zijn onder andere water, anthraniline en wateroplosbare bijproducten aanwezig. De pH van het filtraat is 7,5. Bij deze pH hebben moleculen anthraniline een  $\text{H}^+$ -ion afgestaan.

- 3p    **3**    Bereken  $[\text{OH}^-]$  in  $\text{mol L}^{-1}$  bij  $\text{pH} = 7,5$  ( $T = 298 \text{ K}$ ).  
**Geef je antwoord in het juiste aantal significante cijfers.**
- 1p    **4**    Omcirkel in de figuur op de uitwerkbijlage welk H-atoom van anthraniline als  $\text{H}^+$ -ion is afgestaan bij  $\text{pH} = 7,5$ .

Het filtraat wordt geleid naar een tweede reactor (R2). Bij een temperatuur van  $160^\circ\text{C}$  wordt anthraniline volledig omgezet tot aniline en koolstofdioxide. In R2 wordt koolstofdioxide afgescheiden van het mengsel van water, aniline en wateroplosbare bijproducten. Vervolgens wordt aniline in scheidingsruimte 2 (S2) gescheiden van de rest van het reactiemengsel door middel van extractie met dodecaan-1-ol. De extractie in S2 wordt uitgevoerd met dodecaan-1-ol, omdat aniline hierin beter oplost dan in water. In figuur 2 is schematisch weergegeven hoe twee moleculen dodecaan-1-ol een anilinemolecuul omringen.

**figuur 2**



Tussen moleculen aniline en dodecaan-1-ol zijn verschillende bindingstypen aanwezig.

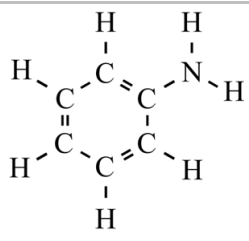
- 2p    **5**    Geef de twee bindingstypen die aanwezig zijn tussen moleculen aniline en moleculen dodecaan-1-ol.

Omdat water en dodecaan-1-ol niet mengen, ontstaan in S2 twee vloeistoflagen. De vloeistoflaag met daarin dodecaan-1-ol vormt hierbij de bovenste laag.

- 1p 6 Geef aan door welk verschil in stofeigenschap de laag met dodecaan-1-ol boven de waterlaag in S2 terecht komt.

De vloeistoflaag met dodecaan-1-ol en aniline wordt in S2 afgescheiden van de laag met water en de wateroplosbare bijproducten. De laag met dodecaan-1-ol en aniline wordt gescheiden in scheidingsruimte 3 (S3). Dodecaan-1-ol wordt hergebruikt. In de tabel is informatie opgenomen over aniline en dodecaan-1-ol.

**tabel**

| stof          | structuurformule                                                                   | kookpunt (°C) |
|---------------|------------------------------------------------------------------------------------|---------------|
| aniline       |  | 184           |
| dodecaan-1-ol | $\text{H}_3\text{C}-(\text{CH}_2)_{11}-\text{OH}$                                  | 259           |

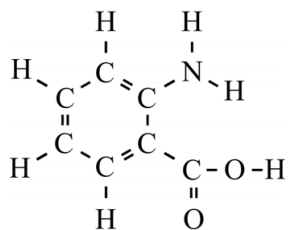
- 2p 7 Leg uit welke scheidingsmethode kan worden toegepast om dodecaan-1-ol en aniline te scheiden in S3.

Op de uitwerkbijlage is het onvolledige blokschema van figuur 1a nogmaals weergegeven.

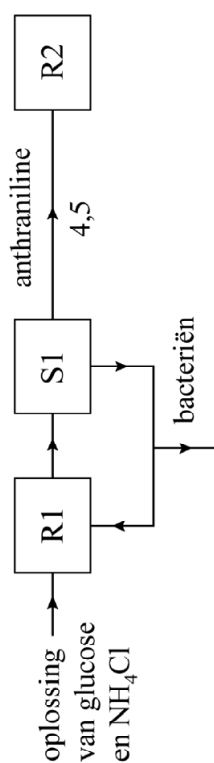
- 4p 8 Maak het blokschema op de uitwerkbijlage compleet.
- Teken de blokken S2 en S3.
  - Teken de pijlen van de ontbrekende stofstromen bij R2, S2 en S3.
  - Noteer de nummers van de onderstaande stoffen bij de juiste pijlen:
    - 1 aniline
    - 2 dodecaan-1-ol
    - 3 koolstofdioxide
    - 4 water
    - 5 wateroplosbare bijproducten
  - Je moet sommige nummers meer dan één keer gebruiken.
  - Houd rekening met hergebruik van stoffen.
  - Bij de voorgedrukte pijlen hoef je geen nummers te noteren.

## uitwerkbijlage

4



8



### Bronvermelding

Een opsomming van de in dit examen gebruikte bronnen, zoals teksten en afbeeldingen, is te vinden in het bij dit examen behorende correctievoorschrift.