

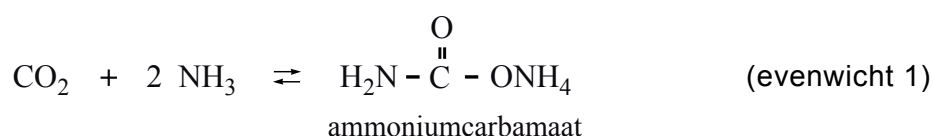
## De productie van ureum

Ureum,  $\text{H}_2\text{N}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{C}}-\text{NH}_2$ , en ammoniumnitraat zijn beide stikstofmeststoffen. Het gehalte stikstof in een meststof is van belang voor de dosering die de gebruiker moet toepassen.

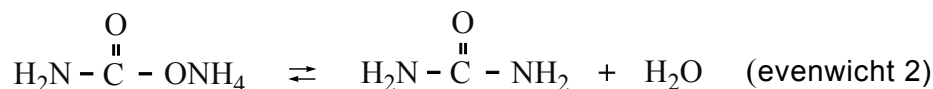
- 3p 1 Is het massapercentage N in ureum hoger dan, of gelijk aan, of lager dan het massapercentage N in ammoniumnitraat? Geef een verklaring voor je antwoord.

In de industrie wordt ureum gemaakt uit de grondstoffen koolstofdioxide en ammoniak. De synthese verloopt in twee reactiestappen.

In de eerste stap ontstaat, in een evenwichtsreactie, de stof ammoniumcarbamaat:



In de tweede stap wordt het ammoniumcarbamaat omgezet tot ureum en water. Ook dit is een evenwichtsreactie:



Beide stappen verlopen in één reactievat. De omstandigheden in het reactievat zijn zodanig dat ammoniumcarbamaat en ureum vloeibaar zijn.

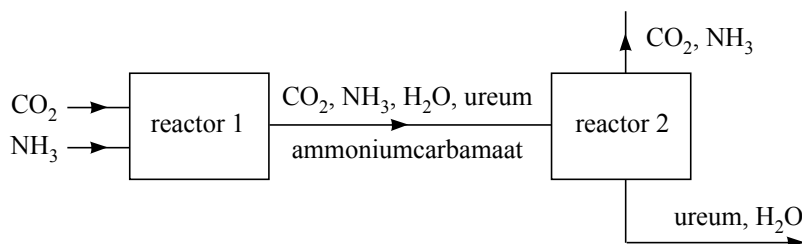
De reactie naar rechts van evenwicht 1 is exotherm.

De reactie naar rechts van evenwicht 2 is endotherm.

In een bepaald type ureumfabriek worden koolstofdioxide en ammoniak in de molverhouding  $\text{CO}_2 : \text{NH}_3 = 1,00 : 2,95$  in de reactor geleid. Onder de omstandigheden die in de reactor heersen, wordt 60% van het koolstofdioxide omgezet.

- 2p 2 Bereken de molverhouding  $\text{CO}_2 : \text{NH}_3$  waarin deze stoffen de reactor verlaten.

Hieronder is een deel van het blokschema weergegeven van deze ureumsynthese. Dit blokschema is ook afgebeeld op de uitwerkbijlage die bij deze opgave hoort.



In reactor 1 vinden de beide hiervoor vermelde evenwichtsreacties plaats (evenwicht 1 en evenwicht 2). Vanwege de optredende evenwichten komt uit reactor 1 een mengsel van koolstofdioxide, ammoniak, water, ureum en ammoniumcarbamaat. De omstandigheden in reactor 2 zijn zodanig dat het ammoniumcarbamaat hierin wordt omgezet tot ammoniak en koolstofdioxide: evenwicht 1 loopt af naar links. Doordat de omstandigheden in reactor 2 verschillen van de omstandigheden in reactor 1, wordt ook de ligging van evenwicht 2 beïnvloed. De reacties van evenwicht 2 verlopen echter veel langzamer dan de reacties van evenwicht 1, daarom mag worden aangenomen dat de omzetting van ammoniumcarbamaat tot koolstofdioxide en ammoniak de enige reactie is die in reactor 2 plaatsvindt.

- 4p **3** Hoe moeten de omstandigheden wat betreft temperatuur en druk in reactor 2 zijn om te bewerkstelligen dat hierin het ammoniumcarbamaat wordt omgezet tot koolstofdioxide en ammoniak? Geef een verklaring voor je antwoord.

Uit het mengsel dat in reactor 2 ontstaat, zijn het koolstofdioxide en de ammoniak gemakkelijk te scheiden van het ureum en het water. Het koolstofdioxide en de ammoniak wil men terugvoeren naar reactor 1. Om technische redenen is het echter noodzakelijk om deze gassen eerst te scheiden en ze vervolgens afzonderlijk terug te voeren naar reactor 1. Om het koolstofdioxide en de ammoniak van elkaar te scheiden, leidt men deze gassen in een reactor, reactor 3. In deze reactor wordt tevens een oplossing van zwavelzuur geleid. De ammoniak reageert in deze oplossing, het koolstofdioxide niet.

De oplossing die in reactor 3 ontstaat, wordt naar een volgende reactor, reactor 4, geleid. In reactor 4 wordt tevens een oplossing van natriumhydroxide geleid. Bij de reactie die in reactor 4 optreedt, komt de ammoniak weer vrij.

- 3p **4** Maak het blokschema af dat op de uitwerkbijlage bij deze opgave is gegeven.
- Gebruik daarvoor:
    - een blok voor reactor 3;
    - een blok voor reactor 4;
    - lijnen met pijlen voor de stofstromen die reactor 3 en reactor 4 ingaan en verlaten.
  - Zet bij de zelfgetekende stofstromen de formules van de stoffen of soorten deeltjes die bij die stofstromen horen.

Door het recyclen van het koolstofdioxide en de ammoniak, is het rendement van de productie van ureum uit beide stoffen 100%. Drie oorzaken bepalen echter dat de atomefficiëntie van het proces lager is dan 100%.

- 3p **5** Leg uit welke drie oorzaken bepalen dat de atomefficiëntie lager is dan 100%.

4

