

## Ammoniak

---

Ammoniak wordt bereid uit een mengsel van stikstof en waterstof in de molverhouding  $N_2 : H_2 = 1 : 3$ . Dit gasmengsel, ook wel synthesegas genoemd, wordt in de ammoniakfabriek gemaakt uit aardgas, water en lucht. Op de volgende pagina's staat een beschrijving met bijbehorend blokschema van een productieproces van ammoniak. De beschrijving en het blokschema zijn ontleend aan een brochure van DSM.

## brochure

In de nieuwe ammoniakfabriek 3 - kortweg AFA 3 genaamd - wordt uit de grondstoffen aardgas, water en lucht ammoniak gemaakt. Uit deze grondstoffen wordt een gasmengsel gesynthetiseerd dat bestaat uit stikstof en waterstof in de verhouding 1 : 3. Uit dit gasmengsel, synthesegas genaamd, wordt ammoniak gemaakt.

Het productieproces van ammoniak kan in de volgende zeven stappen worden onderverdeeld:

- **Stap 1** Kraken van aardgas met stoom
- **Stap 2** Verwijdering van koolstofmonoxide
- **Stap 3** Verwijdering van koolstofdioxide
- **Stap 4** Nareiniging van het synthesegas
- **Stap 5** Drukverhoging van het synthesegas
- **Stap 6** Vorming van ammoniak
- **Stap 7** Winning van ammoniak

### Stap 1

Aardgas (dat voor ongeveer 88% uit methaan bestaat) en stoom worden in een kraakoven omgezet in waterstof, koolstofmonoxide en koolstofdioxide.

Vervolgens wordt lucht aan het gasmengsel toegevoerd in de zogenoemde naverbrander om de benodigde stikstof in te brengen en de resterende methaan te kraken. Het ruwe gasmengsel dat de naverbrander verlaat, bestaat uit waterstof, stikstof, koolstofmonoxide, koolstofdioxide en stoom.

### Stap 2

De koolstofmonoxide in het ruwe gasmengsel wordt met stoom en onder invloed van een katalysator omgezet in koolstofdioxide.

### Stap 3

In een waskolom worden koolstofdioxide en water uit het gasmengsel verwijderd met behulp van een wasvloeistof. De wasvloeistof wordt vervolgens in druk verlaagd, waarbij de opgenomen koolstofdioxide weer vrijkomt. De wasvloeistof wordt daarna door een zogeheten stripper gevoerd, waar de laatste resten koolstofdioxide eruit worden verwijderd. De vloeistof wordt vervolgens teruggepompt naar de waskolom.

### Stap 4

Na stap 3 noemt men het verkregen gas synthesegas. Dit gas bevat nog resten koolstofmonoxide en koolstofdioxide. Om die resten te verwijderen, wordt het gasmengsel over een zogenoemde methaniseringsinstallatie geleid, waarbij de gassen samen met een klein gedeelte van de aanwezige waterstof reageren tot methaan en waterdamp.

### Stap 5

Het synthesegas afkomstig uit stap 4 wordt op de gewenste druk van 210 bar gebracht.

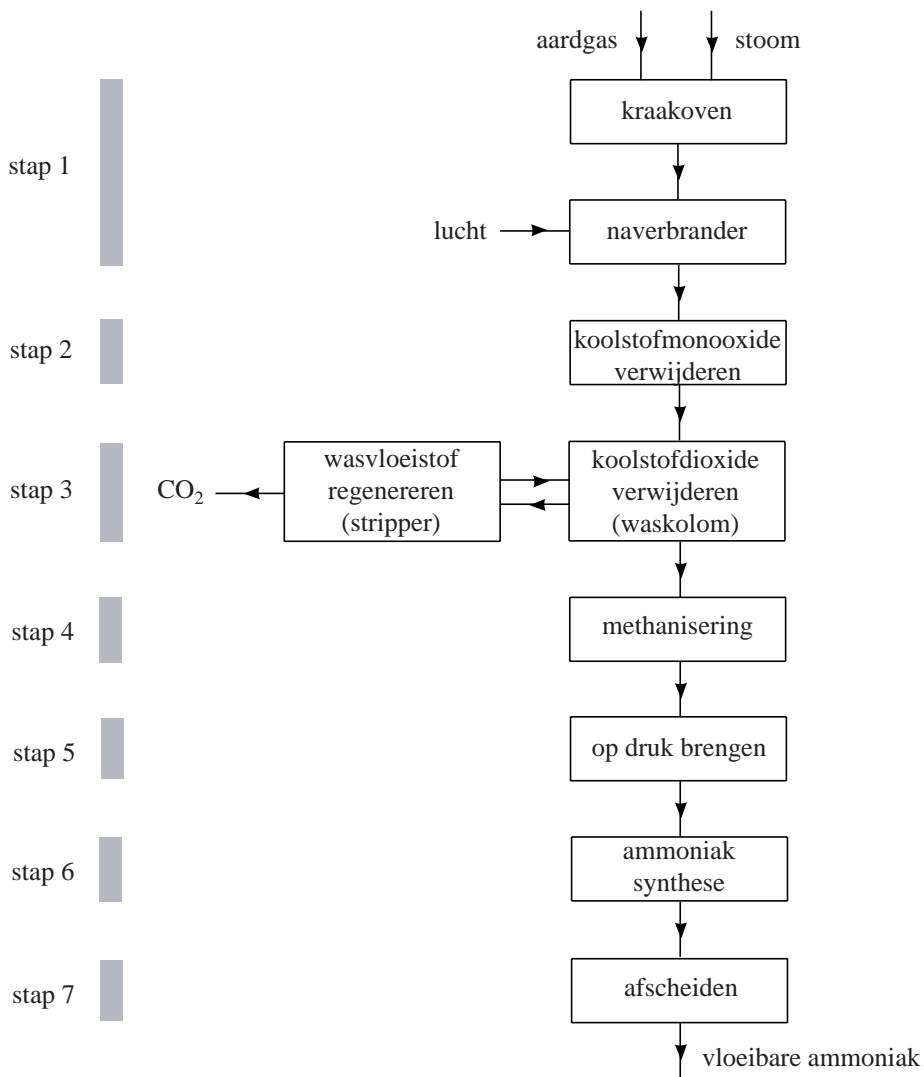
**Stap 6**

Het hogedruk mengsel van waterstof en stikstof wordt toegevoerd aan de synthesereactor waarin het reageert tot gasvormige ammoniak. Ook deze reactie vindt plaats onder invloed van een katalysator.

**Stap 7**

Het is onmogelijk alle waterstof en stikstof in één keer om te zetten in ammoniak. Daarom bevat de gasstroom uit de reactor behalve ammoniak ook nog waterstof en stikstof. Door het afkoelen van de gasstroom tot -23 graden Celsius wordt de gevormde ammoniak vloeibaar en kan uit de gasstroom worden afgescheiden. Het resterende waterstof/stikstof-mengsel wordt teruggevoerd naar de synthesereactor.

**blokschema**



In de kraakoven vinden twee reacties plaats:



Beide reacties treden niet volledig op.

De temperatuur in de kraakoven is ongeveer 800 °C.

Het warmte-effect van reactie 1 is tegengesteld aan het warmte-effect van reactie 2. Daarom is het op voorhand niet te voorspellen of de kraakoven moet worden verhit of gekoeld om deze op een constante temperatuur te houden.

valt buiten de  
examenstof



- 3p **7** Bereken de reactiewarmte van reactie 1 en de reactiewarmte van reactie 2 in J per mol H<sub>2</sub>O.
- 2p **8** Ga aan de hand van de berekende reactiewarmtes van reactie 1 en reactie 2 na of de kraakoven moet worden verhit of gekoeld om deze op een constante temperatuur te houden.

Als wasvloeistof voor het verwijderen van koolstofdioxide in stap 3 wordt vaak een oplossing van kaliumcarbonaat gebruikt. Het koolstofdioxide reageert in deze oplossing.

- 3p **9** Geef de vergelijking van de reactie waarmee koolstofdioxide uit het gasmengsel wordt verwijderd.

De beschrijving van stap 3 is niet volledig. Na verwijdering van de koolstofdioxide kan de overgebleven vloeistof niet zonder meer worden teruggepompt naar de waskolom.

- 2p **10** Leg uit dat na verwijdering van de koolstofdioxide de overgebleven vloeistof niet zonder meer kan worden teruggepompt naar de waskolom.

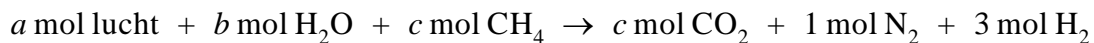
Het blokschema is niet helemaal in overeenstemming met de tekst van de brochure.

Na stap 4 moet bijvoorbeeld nog wat gebeuren voordat stap 5 kan plaatsvinden. Ook is bij stap 7 het schema niet volledig.

Op de uitwerkbijlage is het schema nogmaals opgenomen. De uitgaande pijl uit het blok methanisering is hierin naar rechts getekend.

- 4p **11** Completeer het blokschema op de uitwerkbijlage zo, dat het in overeenstemming is met de tekst van de brochure.
- Teken daartoe extra stofstromen en één of meer extra blokken.
  - Zet de formules van de stoffen bij de stofstroom uit het blok methanisering en bij de zelfgetekende stofstromen.
  - Geef aan wat in het (de) zelfgetekende blok(ken) gebeurt.
  - Houd rekening met hergebruik van stoffen.

Het is voor de fabriek van belang te weten hoeveel aardgas, stoom en lucht voor het proces nodig zijn. Om dit te berekenen, kan de vorming van het synthesegas uit methaan, stoom en lucht in een totaalvergelijking worden weergegeven. Zo'n vergelijking ziet er als volgt uit:



- 5p **12** Bereken  $a$ ,  $b$  en  $c$ . Ga ervan uit dat een mol lucht bestaat uit 0,79 mol  $\text{N}_2$  en 0,21 mol  $\text{O}_2$ . Geef de uitkomsten in twee decimalen.

**uitwerkbijlage**

Naam kandidaat \_\_\_\_\_ Kandidaatnummer \_\_\_\_\_

11

