

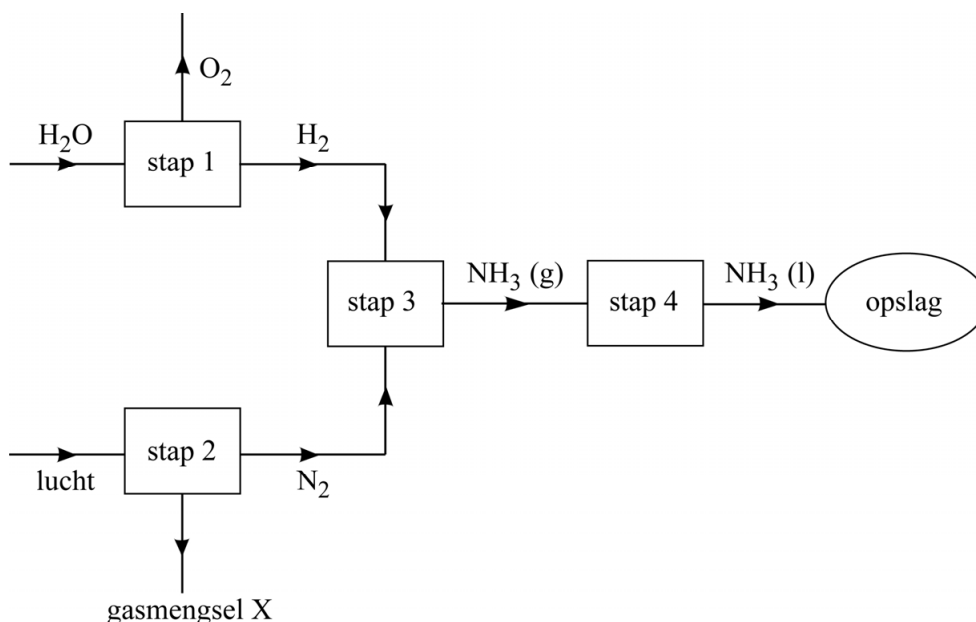
## Power-to-ammonia

Wind-energie en zonne-energie kunnen nog niet grootschalig worden opgeslagen in Nederland. Daardoor kunnen deze duurzame energievormen, wanneer er veel wind of zon is, niet altijd optimaal benut worden. Op de Technische Universiteit Delft is onderzoek gedaan naar de mogelijkheid om de energie-overschotten op te slaan in de vorm van ammoniak ( $\text{NH}_3$ ). Deze manier van energieopslag wordt het 'power-to-ammonia'-proces genoemd en bestaat uit vier stappen:

- Stap 1: in een waterstoffabriek worden wind-energie en zonne-energie gebruikt om water door middel van elektrolyse om te zetten tot waterstof en zuurstof.
- Stap 2: in een luchtscheider wordt stikstof gescheiden van de overige gassen die in lucht voorkomen.
- Stap 3: in een ammoniakfabriek reageert waterstof vervolgens met stikstof tot ammoniakgas.
- Stap 4: ammoniakgas wordt vloeibaar gemaakt en daarna opgeslagen in tanks.

In figuur 1 is het power-to-ammonia-proces met een vereenvoudigd blokschema weergegeven.

figuur 1



2p 7 Geef de vergelijking van de vorming van ammoniakgas (stap 3).

2p 8 Beschrijf op microniveau het vloeibaar worden van ammoniakgas.

In tijden waarin te weinig elektriciteit kan worden opgewekt uit zon of wind kan de opgeslagen ammoniak weer worden omgezet tot energie, door de ammoniak als brandstof te gebruiken in elektriciteitscentrales.

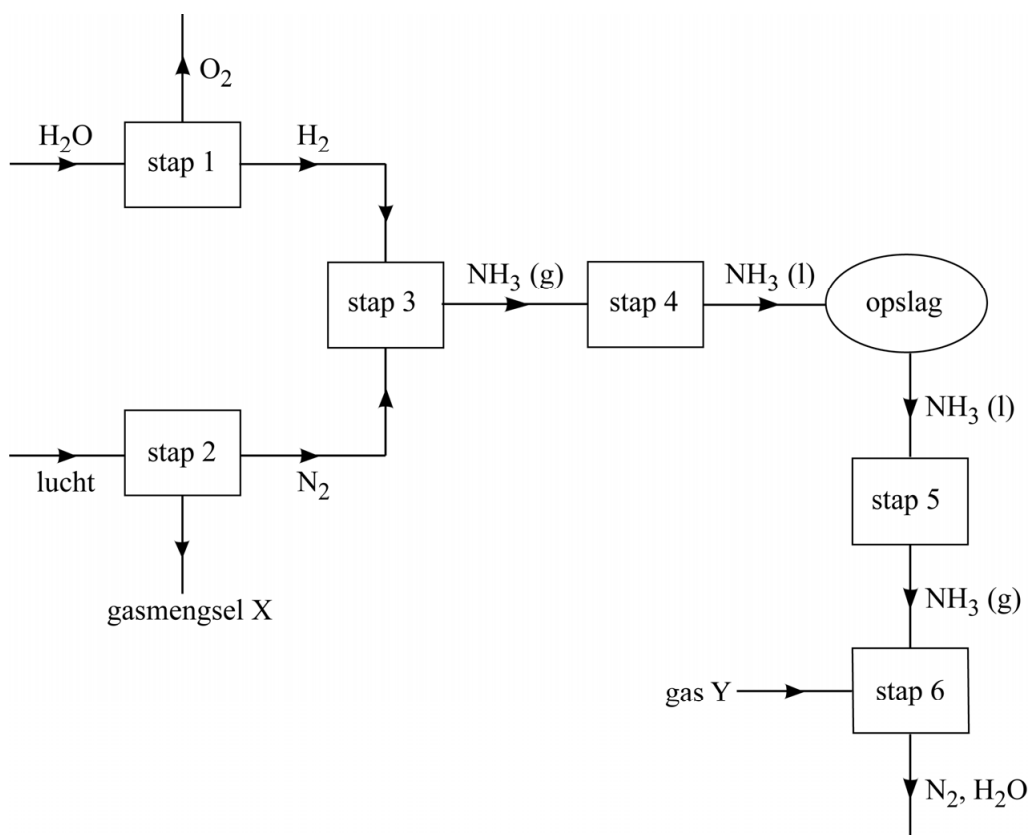
Dit verloopt als volgt:

Stap 5: vloeibare ammoniak wordt gasvormig gemaakt.

Stap 6: ammoniakgas wordt onder gecontroleerde omstandigheden verbrand tot stikstof en water in een daarvoor geschikte elektriciteitscentrale.

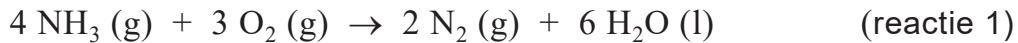
In figuur 2 is het gehele proces met een vereenvoudigd blokschema weergegeven.

**figuur 2**



- 2p 9 Leg uit of gasmengsel X (stap 2) in plaats van gas Y gebruikt kan worden om de gewenste stoffen in stap 6 te produceren.

Stap 6 vindt plaats onder gecontroleerde omstandigheden, waardoor minder ongewenste bijproducten ontstaan. Deze stap kan netto worden weergegeven met de volgende vergelijking:



De reactiewarmte van reactie 1 is  $-3,83 \cdot 10^5$  J per mol  $\text{NH}_3$ .

- 1p **10** Geef de formule van een ongewenst bijproduct dat zou kunnen ontstaan bij verbranding van ammoniakgas.
- 3p **11** Laat met een berekening zien dat de reactiewarmte van reactie 1 gelijk is aan  $-3,83 \cdot 10^5$  J per mol  $\text{NH}_3$ . Gebruik Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.

In Nederland verbruikt een gemiddeld huishouden per jaar  $3,3 \cdot 10^3$  kWh (kilowattuur) aan elektriciteit.

- 4p **12** Bereken hoeveel kg ammoniak moet worden verbrand om  $3,3 \cdot 10^3$  kWh aan elektriciteit op te wekken. Gebruik hierbij onder andere de volgende gegevens:
- $1,0 \text{ kWh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ J}$ .
  - 60 procent van de reactiewarmte van reactie 1 wordt omgezet in elektriciteit.

Waterstof die in stap 1 ontstaat, zou in principe ook als brandstof voor een elektriciteitscentrale kunnen dienen. Toch geeft men kennelijk de voorkeur aan vloeibare ammoniak boven vloeibare waterstof om overvloedige wind- en zonne-energie in op te slaan.

- 2p **13** Noem een voordeel van het gebruik van vloeibare ammoniak ten opzichte van het gebruik van vloeibare waterstof voor dit doel. Licht je antwoord toe.