



## 4 H3 Ammoniak productieruimte

Auteur

Team

Laatst gewijzigd

Licentie

Webadres

Bètapartners

Wikiwijs Maken Auteurs

8 mei 2015

CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie

<https://maken.wikiwijs.nl/52239/>



Dit lesmateriaal is gemaakt met Wikiwijs van Kennisnet. Wikiwijs is hét onderwijsplatform waar je leermiddelen zoekt, maakt en deelt.

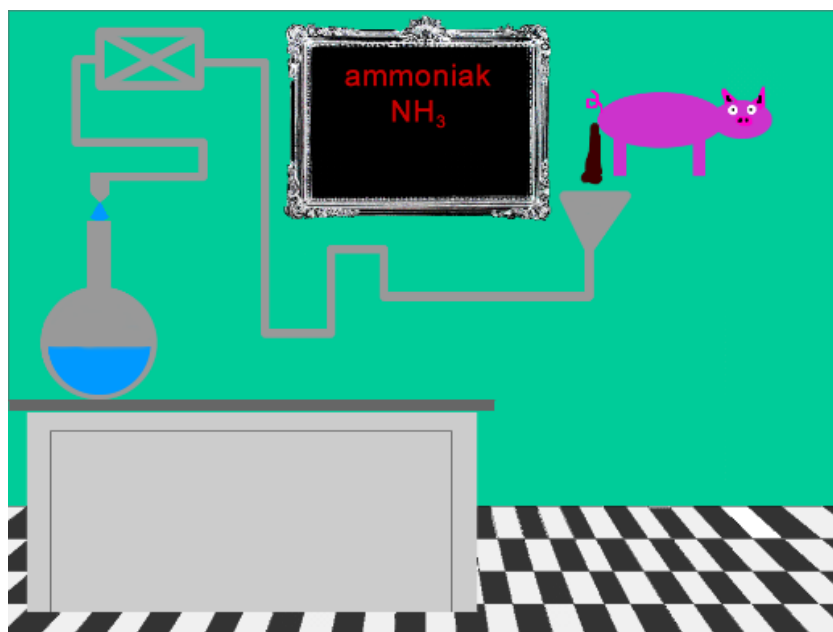
# Inhoudsopgave

3. Ammoniak productieruimte .....	2
3.1 Het productieproces .....	3
3.2 Evenwichten .....	4
3.3 Beïnvloeden reactiesnelheid en evenwicht .....	8
3.4 Optimaliseren productieproces .....	13
3.5 De productie .....	17
3.6 Reflectie .....	20
Over dit lesmateriaal .....	21

### 3. Ammoniak productieruimte



Klik op het schilderij in onderstaand plaatje om de inleiding op de ammoniak productieruimte te zien.



#### Ammoniak: Benodigde Voorkennis en Leerdoelen



##### Voor je aan deze ruimte begint

weet je:

- wat een blokschema is en hoe die werkt
- wat reactiesnelheid is
- hoe een chemisch evenwicht werkt
- hoe je reactiesnelheid en evenwicht kunt beïnvloeden

kun je:

- chemisch rekenen
- de evenwichtsvoorwaarde opstellen
- met de evenwichtsvoorwaarde rekenen

is het handig om te weten:

- welke factoren de ligging van een evenwicht beïnvloeden



##### Wat ga je in deze ruimte leren?

- verdieping van je kennis over chemische evenwichten
- hoe je een proces kunt optimaliseren
- het gebruiken van blokschema's



## 3.1 Het productieproces



Om te weten wat je in deze ruimte te wachten staat, ga je eerst onderstaand filmfragment bekijken en wat herhalingsoefeningen maken over evenwichtsreacties. Om het productieproces te kunnen optimaliseren moet je namelijk weten hoe je het proces kunt beïnvloeden. We gaan dus kort herhalen hoe je reactiesnelheden en evenwichten kunt beïnvloeden.

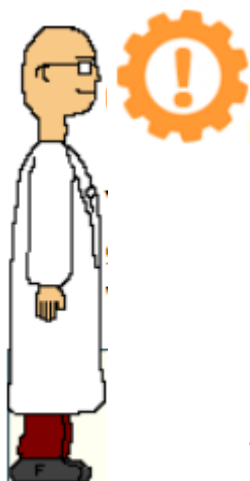


Bekijk het videofragment hieronder en maak van het productieproces dat beschreven wordt een korte samenvatting waarin je vooral ingaat op de reacties, de omstandigheden, de stoffen en de benodigde apparatuur. Schrijf deze samenvatting in je labjournaal.

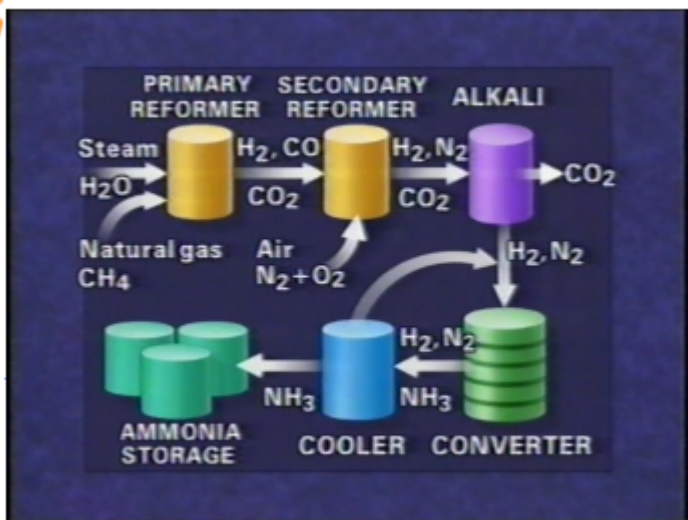


[//www.youtube.com/embed/zukZGs4C0OU](https://www.youtube.com/embed/zukZGs4C0OU)

## 3.2 Evenwichten



In het videofragment kwam dit schema voor:



We concentreren ons op het onderste deel, dus de productie van  $\text{NH}_3$  uit  $\text{N}_2$  en  $\text{H}_2$ . Onder druk worden  $\text{N}_2$  en  $\text{H}_2$  de reactor (converter) ingepompt. In de reactor vindt onder invloed van een katalysator de omzetting naar  $\text{NH}_3$  plaats. Deze reactie is een evenwichtsreactie. Het ontstane evenwichtsmengsel wordt naar een scheidingsruimte (cooler) overgepompt waar het wordt afgekoeld. De uitgangsstoffen  $\text{H}_2$  en  $\text{N}_2$  worden hier gescheiden van het product  $\text{NH}_3$  en gerecicleerd (teruggepompt naar de aanvoer van de uitgangsstoffen die de reactor ingaan). Het product wordt de koeler uitgepompt en opgeslagen (ammonia storage). Dit proces kan weergegeven worden in een blokschema.



Teken dit blokschema in je labjournaal, zorg dat je alle stoffen met toestandsaanduiding vermeldt in de stofstromen. Laat het resultaat controleren.

Noteer ook de vergelijking van het evenwicht en beantwoord dan de volgende twee korte vragen.



Welke van de onderstaande evenwichtsvoorwaarden hoort bij dit evenwicht?

Hint: In de evenwichtsvoorwaarde wordt de evenwichtsconstante  $K$ , gelijk gesteld aan de 'concentratiebreuk'. De concentratiebreuk wordt afgeleid uit de evenwichtsvergelijking. In de teller staat het product van de concentraties van de producten en in de noemer staat het product van alle uitgangsstoffen. De coëfficiënten bij een stof in de evenwichtsvergelijking worden in de concentratiebreuk een exponent bij de concentratie van die stof.

- ☐  $K = ([\text{H}_2] + [\text{N}_2]) / [\text{NH}_3]$
- ☐  $K = (3[\text{H}_2] + [\text{N}_2]) / 2[\text{NH}_3]$
- ☐  $K = ([\text{H}_2]^3 + [\text{N}_2]) / [\text{NH}_3]^2$

- ☐  $K = ([\text{H}_2] * [\text{N}_2]) / [\text{NH}_3]$
- ☐  $K = (3[\text{H}_2] * [\text{N}_2]) / 2[\text{NH}_3]$
- ☐  $K = ([\text{H}_2]^3 * [\text{N}_2]) / [\text{NH}_3]^2$
- ☐  $K = [\text{NH}_3] / ([\text{H}_2] + [\text{N}_2])$
- ☐  $K = 2[\text{NH}_3] / (3[\text{H}_2] + [\text{N}_2])$
- ☐  $K = [\text{NH}_3]^2 / ([\text{H}_2]^3 + [\text{N}_2])$
- ☐  $K = [\text{NH}_3] / ([\text{H}_2] * [\text{N}_2])$
- ☐  $K = 2[\text{NH}_3] / (3[\text{H}_2] * [\text{N}_2])$
- ☐  $K = [\text{NH}_3]^2 / ([\text{H}_2]^3 * [\text{N}_2])$



Welke van onderstaande uitspraken horen bij een chemisch evenwicht? Vink alle juiste uitspraken aan.



☐ Beginstoffen reageren

☐ Producten reageren

☐ Volledige omzetting

☐ Onvolledige omzetting

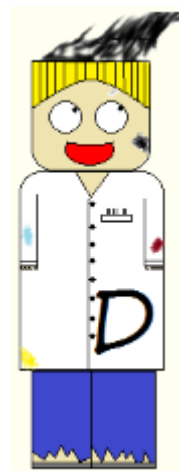
- ☐ Reactiesnelheden naar rechts en links zijn gelijk
- ☐ Reactiesnelheden naar rechts en links zijn ongelijk
- ☐ Hoeveelheden stof zijn links en rechts meestal gelijk
- ☐ Hoeveelheden stof zijn links en rechts meestal ongelijk
- ☐ Evenwicht is dynamisch
- ☐ Evenwicht is statisch
- ☐ Concentraties van beginstoffen veranderen
- ☐ Concentraties van beginstoffen veranderen niet
- ☐ Concentraties van producten veranderen
- ☐ Concentraties van producten veranderen niet



Vergelijk het blokschema dat je van de ammoniakproductie hebt gemaakt met het overeenkomstige deel in je samenvatting van het filmfragment. In beiden wordt een deel van het totale productieproces van ammoniak weergegeven. Noteer het volgende in je labjournaal:



- Noem een voordeel van het gebruik van een samenvatting ten opzichte van het gebruik van een blokschema.
- Noem een voordeel van het gebruik van een blokschema t.o.v. het gebruik van een samenvatting.
- Leg uit welke van de twee vormen (samenvatting of blokschema) voor jou de voorkeur heeft.





## 3.3 Beïnvloeden reactiesnelheid en evenwicht



Bij een aflopende reactie kan het rendement 100% zijn. Uitgangsstoffen zijn dan volledig omgezet in product. Omdat een chemisch evenwicht wordt gekenmerkt door de (blijvende) aanwezigheid van de uitgangsstoffen kan het rendement nooit 100% zijn. Het rendement van een evenwichtsreactie is afhankelijk van een aantal factoren. De factoren die invloed hebben op de ligging van het evenwicht kunnen aangepast worden om het rendement te verhogen. Denk eerst nog even terug aan het beïnvloeden van de reactiesnelheid.



Weet je nog? Factoren die invloed hebben op de snelheid van een reactie zijn: soort stof, concentratie, druk, verdelingsgraad, temperatuur en aanwezigheid katalysator.



Waar of niet waar

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/880375>

### Algemene Informatie

**Titel** Waar of niet waar  
**Aantal Vragen** 5

MAIN\_SECTION

Bij hogere concentraties wordt de reactiesnelheid hoger.

☐

true

☐

false

Bij een hogere druk wordt de reactiesnelheid hoger.

☐ true

☐ false

---

Bij een hogere verdelingsgraad wordt de reactiesnelheid hoger.

☐ true

☐ false

---

Bij een hogere temperatuur wordt de reactiesnelheid hoger

☐ true

☐ false

---

Bij gebruik van een katalysator wordt de reactiesnelheid hoger.

☐ true

☐ false

---



Een verhoging van de reactiesnelheid betekent echter nog niet dat het rendement van een evenwichtsreactie hoger is. Zowel de heengaande reactie (naar rechts) als de teruggaande reactie (naar links) zullen immers beiden versneld worden. Verhoging van het rendement moet gebeuren door verschuiving van het evenwicht naar rechts. Dat betekent het verhogen van de concentraties van de producten ten opzichte van de concentraties van de uitgangsstoffen.



In onderstaande tabel staan factoren die invloed hebben op de snelheid van een reactie. Deze tabel staat ook in je labjournaal. Vul deze tabel aan volgens de instructies onder de tabel. Ga uit van een standaard situatie waarin er een evenwicht is. Geef vervolgens aan wat er anders is als je de factoren verandert zoals aangegeven. Laat de tabel in je labjournaal controleren als je deze hebt ingevuld. Om je eventueel op weg te helpen kun je [hier](#) gebruik maken van een applet.



↓ <b>Effect op</b> →	<b>K</b>	<b>Reactiesnelheden</b>	<b>Insteltijd evenwicht</b>	<b>Ligging evenwicht</b>
Verhoging concentraties beginstof (fen)				
Verlaging concentraties beginstof (fen)				
Overmaat van één beginstof				
Ondermaat van één beginstof				
Hogere druk (bij gassen)				
Lagere druk (bij gassen)				
Hogere verdelingsgraad beginstoffen				
Lagere verdelingsgraad beginstoffen				
Hogere temperatuur				
Lagere temperatuur				
Gebruiken katalysator				

*K: Verandert K, ja of nee?*

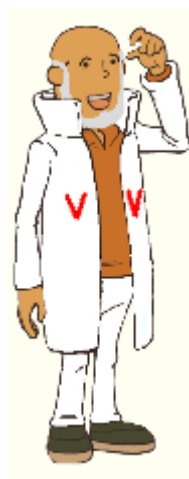
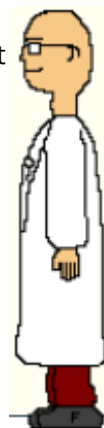
*Reactiesnelheden: Wordt alleen de heenreactie sneller of ook de terugreactie? En als ze beiden sneller worden, worden ze dan beiden evenveel sneller?*

*Insteltijd evenwicht: Is de insteltijd van het evenwicht korter, langer of blijft deze gelijk?*

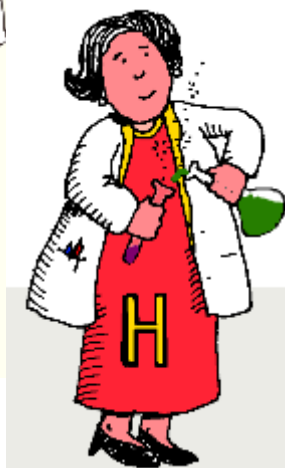
*Ligging evenwicht: Verschuift de ligging van het evenwicht wel of niet? En als het verschuift, naar welke kant dan? Naar links of rechts; naar de endotherme of de exotherme kant; naar de kant met de meeste deeltjes of die met het minste aantal deeltjes?*



Om het rendement en dus de opbrengst van een productieproces zo hoog mogelijk te maken worden de factoren die de ligging van het evenwicht beïnvloeden zodanig gekozen dat de meest optimale reactieomstandigheden verkregen worden. Een andere manier om het rendement en dus de opbrengst van een productieproces te verhogen, is het aflopend maken van de evenwichtsreactie door het wegnemen van één of meerdere van de producten. Door het verwijderen van product uit het evenwichtsmengsel kan de teruggaande reactie niet meer verlopen en is er geen evenwicht meer. Niet gereageerde uitgangsstoffen kunnen vervolgens weer hergebruikt worden.



Het hergebruik van de uitgangsstoffen betekent een hoger rendement van mijn reactie en dat is mooi.

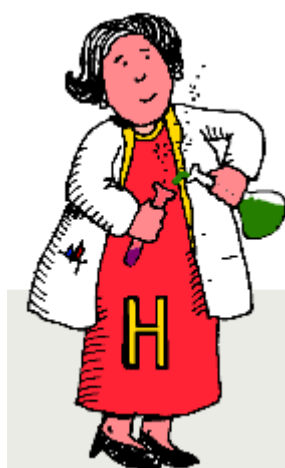


Het hergebruik van de uitgangsstoffen betekent dat er minder van ingekocht hoeft te worden. Dat scheelt dus kosten en dat verhoogt dus mijn, eh, onze opbrengst. En dat is mooi.



Het hergebruik van de uitgangsstoffen betekent dat er minder afval is. Dat scheelt kosten voor de afvoer en is beter voor het milieu, dus schonere chemie. En dat is mooi.

## 3.4 Optimaliseren productieproces



Dat gedoe met die evenwichten moet nu maar eens klaar zijn. Het is tijd om echt aan de slag te gaan. Gebruik je kennis van de factoren die de ligging van een evenwicht beïnvloeden nu maar eens om geld te verdienen voor ons. In stapjes ga je het productieproces optimaliseren waarbij je steeds een zo hoog mogelijke opbrengst probeert te verkrijgen. Daarbij zul je ook de praktische uitvoerbaarheid en het kostenplaatje in de gaten moeten houden. En nu aan de slag. Aan de knoppen en geld verdienen.



**Invloed van de temperatuur.** Door de temperatuur te veranderen, verandert de waarde van  $K$ , dus ook de ligging van het evenwicht en dus ook de opbrengst aan ammoniak. Je gaat met onderstaande applet nu eerst kijken hoe je de opbrengst kunt verbeteren door de temperatuur te variëren.

De toevoer van stikstof en waterstof vindt plaats bij een druk van 100 bar en is in de verhouding 1 : 3. Varieer de temperatuur en noteer de resultaten (insteltijd en omzetting) in de voorgedrukte tabel in je labjournaal. Bereken daarna de samenstelling van de verkregen gasmengsels en de waarden voor  $K$ .



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/bd5366decff100b224d930da961c92e04f117b6b.swf>



Als je niet weet hoe je vanuit het omzettingspercentage de samenstelling van het gasmengsel en/of de evenwichtsconstante kunt berekenen, klik dan op de knop hieronder voor een hint.





Als je na de hint nog steeds geen idee hebt, klik dan op de knop hieronder voor een rekenvoorbeeld.



Vul in:

- Bij een hogere temperatuur is de opbrengst van de reactie (hogere of lager)
- Dit betekent dat de reactie naar (links of rechts)  in het voordeel is.
- Verhoging van de temperatuur is in het voordeel van de (exotherme of endotherme)  reactie.
- De vorming van ammoniak is dus (exotherm of endotherm)
- Voor een zo hoog mogelijke opbrengst aan ammoniak moet de temperatuur zo (hoog of laag)  mogelijk worden ingesteld.
- Maar ook weersniet (hoog of laag)  want dan verloopt de reactie helemaal niet. Er is dan niet genoeg energie om de reactie te starten.
- Je zou ook wel gemerkt hebben dat een hogere opbrengst gepaard gaat met (kortere of langere)  wachttijd. Het is zichtbaar worden van deze opbrengst. Dit komt door de insteltijd van het evenwicht.
- Een hogere opbrengst aan ammoniak gaat dus gepaard met een (langere of kortere)  wachttijd. Tijd is geld, dus om de winst zo hoog mogelijk te maken moet de wachttijd niet te lang zijn. Er is dus een optima



**Invloed van de druk.** De insteltijd van een evenwicht kan verkort worden door de concentraties van de reactanten te verhogen. Omdat het hier om gassen gaat kan dit bereikt worden door de druk te verhogen. Je gaat nu met onderstaande applet kijken hoe je de insteltijd kunt verbeteren door de druk te variëren. De toevoer van stikstof en waterstof vindt plaats bij constante temperatuur van 300 °C en is steeds in de verhouding 1 : 3.

Varieer de druk en noteer de resultaten (insteltijd en omzetting) in de voorgedrukte tabel in je labjournaal. Bereken daarna de samenstelling van de verkregen gasmengsels en de waarden voor K



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/5d30e1d495fc0796d4cdd459282f3074dba4b0a8.swf>

Zoals je zag wordt de insteltijd van het evenwicht verkort als je de druk verhoogt. De druk kan echter niet onbeperkt verhoogd worden vanwege de veiligheid en de kosten die er mee verbonden zijn. Verder kon je zien dat het verhogen van de druk geen invloed had op de hoogte van de opbrengst.



Vul in:

- Het verhogen van de druk voordat het evenwicht is ingesteld geeft (wel of geen)  verhoging van het rendement van de reactie. Dit in tegenstelling tot reacties waarbij het evenwicht al wel is ingesteld.
- Het verhogen van de druk bij een reactie in evenwicht, is in het voordeel van de kant met het (minste of meeste)  aantal deeltjes.
- Het evenwicht verschuift dan naar de kant met het (minste of meeste)  aantal deeltjes, dus naar (links of rechts) .
- De opbrengst van ammoniak wordt in dat geval (hogere of lager) .



**Invloed van de temperatuur en druk.** Je gaat nu beide variabelen combineren. De toevoer van stikstof en waterstof is constant in de verhouding 1 : 3. Varieer de druk en temperatuur en noteer de resultaten in de voorgedrukte tabel in je labjournaal. Omdat de winst niet alleen wordt bepaald door de hoeveelheid geproduceerde stof, maar omdat ook de gemaakte kosten voor het produceren van belang zijn, wordt er gekeken naar meerdere factoren. Hierbij kun je denken aan de kosten van het energieverbruik, materialen en apparatuur. Deze worden allemaal meegenomen in het bepalen van de meest optimale omstandigheden. Het resultaat wordt weergegeven met de zogenaamde euro-factor (€f). Zorg voor een maximale €f



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/89b9e1829a05a8c5d3d70e6dc51c7b48ddb6bc9c.swf>





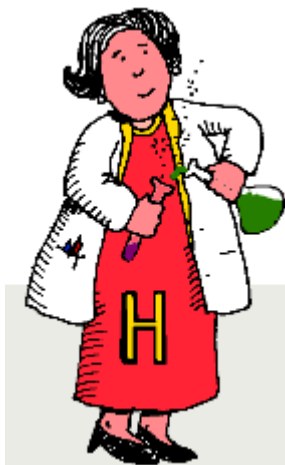
Vul in:

- De maximale euro-factor wordt verkregen bij een druk van  barene temperatuur van  °C.
- Opbrengsta ammonia is dan  %.

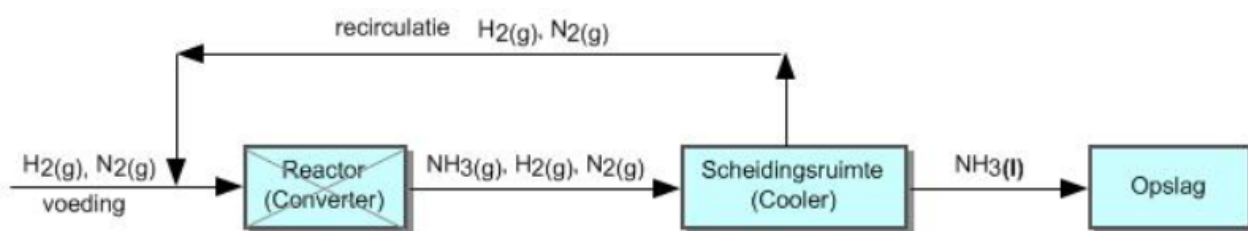


Bij industriële processen heeft de tijdsduur van een proces, invloed op de prijs van het product en dus eventueel op de winst. Als de beginstof reageert zal de concentratie ervan afnemen en dan zal de reactiesnelheid afnemen. Vaak is het economisch gunstiger om een reactie niet volledig te laten verlopen of om niet te wachten totdat een evenwicht volledig is ingesteld. Niet-gereageerde stoffen kunnen vervolgens van producten gescheiden worden en hergebruikt. Door dit recirculeren kan ook bij evenwichtsreacties een hoog rendement worden verkregen.

## 3.5 De productie



Zo! Genoeg met de knoppen gespeeld. Je weet nu onder welke omstandigheden het ammoniak geproduceerd moet gaan worden. Laten we het blokschema er bij nemen en denk en reken dan weer even mee (geef het antwoord steeds in 2 cijfers en let op de eenheid).



Vragen

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/896899>

### Algemene Informatie

Titel Vragen  
Aantal Vragen 5

### MAIN\_SECTION

Er moet 1,5 ton ammoniak per dag gemaakt worden.

- Dat komt neer op  kmol.

Vul in

- Het volumepercentage (V%)  $\text{NH}_3(\text{g})$  van de gasstroom die uit de reactor komt, als de voeding bestaat uit  $\text{N}_2(\text{g})$  en  $\text{H}_2(\text{g})$  in de volumeverhouding 1:3, is  V%.

Vul in

- Dagelijks zal er   $\cdot 10^1$  kmol  $N_2(g)$  en   $\cdot 10^1$  kmol  $H_2(g)$  door de reactor stromen.
- 

Vul in

- Dat is   $m^3 N_2(g)$  en   $\cdot 10^1 m^3 H_2(g)$ .
- 

Vul in

- Dagelijks verbruiken we  kmol  $N_2(g)$  en   $\cdot 10^1$  kmol  $H_2(g)$  als voeding voor de reactor.
- 



In de scheidingsruimte wordt door koeling het gevormde ammoniak afgescheiden. Eerst wordt de processtroom gekoeld met de reactorvoeding, daarna met water en tenslotte met vloeibare ammoniak ( $-33\text{ }^\circ\text{C}$ ). Het recirculatiegas bevat dan nog wel een beetje ammoniakgas maar dat verwaarlozen we. Teken in je labjournaal het blokschema waarin dit scheidingsproces is weergegeven. Ga uit van het blokschema dat er al van het productieproces is en voeg de drie koelingsstappen hieraan toe. Geef daarnaast ook voor elke koelingsstap aan waarom dit zo gedaan wordt. Denk hierbij aan zaken die ons geld besparen zoals lager energieverbruik, hergebruik elders in de fabriek, beschikbaarheid enz. Doe dit samen met een medeleerling en bespreek jullie bevindingen met je docent of met de PAL.



Vul in

<https://maken.wikiwijs.nl/p/questionnaire/standalone/896901>

#### Algemene Informatie

**Titel** Vul in  
**Aantal Vragen** 2

---

MAIN\_SECTION

De nieuwe voeding die de reactor ingaat bestaat uit stikstof en waterstof in volumeverhouding 1 : 3.

- Als de aanwezigheid van ammoniak in het recirculatiegas wordt verwaarloosd bestaat  % van de gasstroom die de reactor ingaat uit nieuwe voeding.
-

Vul in

- Als de productie van ammoniak dag en nacht doorgaat moet er per seconde  mol stikstofgas en  mol waterstofgas worden ingeleid.
- 

Mooi. In ploegendienst is dit goed te doen. Produceren maar.



## 3.6 Reflectie



Kijk nog eens naar de doelstellingen van deze ruimte zoals je ze tegenkwam bij de introductie. Maak een lijstje van de doelstellingen in je labjournaal en geef per doelstelling aan of je vindt dat je in deze ruimte aan dat doel hebt voldaan. Leg per onderdeel kort uit waarom je vindt dat je er wel of niet aan hebt voldaan.

Geef voor de doelstellingen, waarvan je vindt dat je ze niet hebt gehaald, aan hoe je deze wel zou denken te halen.



Klik nu op het roze varkentje in het plaatje hieronder om te reflecteren op je werk in deze ruimte.



<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/3b0218c1a21ad8186e28307989f112b1.swf>

# Over dit lesmateriaal

## Colofon

<b>Auteurs</b>	Bètapartners
<b>Team</b>	Wikiwijs Maken Auteurs
<b>Laatst gewijzigd</b>	8 mei 2015 om 10:06
<b>Licentie</b>	De Nederlandse Creative Commons 3.0 licentie waarbij de gebruiker het werk mag kopiëren, verspreiden en doorgeven en afgeleide werken mag maken onder de voorwaarden: Naamsvermelding en Gelijk Delen, zie <a href="http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/nl/">http://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/nl/</a> . <a href="#">Meer informatie over de CC Naamsvermelding-GelijkDelen 3.0 Nederland licentie licentie.</a>

## Aanvullende informatie over dit lesmateriaal

Van dit lesmateriaal is de volgende aanvullende informatie beschikbaar:

<b>Leerniveaus</b>	VWO 6
<b>Leerinhoud en doelen</b>	Chemisch evenwicht, Chemische reacties, Scheikunde, Reactiviteit, Productieprocessen, Reactiekinetiek
<b>Eindgebruiker</b>	leerling/student
<b>Trefwoorden</b>	e-klassen rearrangeerbaar

## Bronnen

<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/bd5366decff100b224d930da961c92e04f117b6b.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/5d30e1d495fc0796d4cdd459282f3074dba4b0a8.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/89b9e1829a05a8c5d3d70e6dc51c7b48ddb6bc9c.swf>  
<https://maken.wikiwijs.nl/userfiles/3b0218c1a21ad8186e28307989f112b1.swf>