

Steam reforming

Waterstof is een veelgebruikte stof in de chemie. Dit kan worden verkregen door elektrolyse, maar een veel gebruikte methode is steam reforming. Hierbij wordt een koolstofbron (bijvoorbeeld methaan) bij hoge temperatuur en druk in contact gebracht met stoom. Hieronder staat een experiment beschreven op basis van deze methode van waterstofproductie.

Op $t = t_0$ worden in een vat 2,5 mol methaan en 2,0 mol stoom gebracht. Het vat wordt op temperatuur gebracht en onder druk gezet, waarbij methaan en stoom reageren tot koolstofmonoxide en waterstof.

- 1 Geef de reactievergelijking.

De hoeveelheid gevormde waterstof wordt tegen de tijd bijgehouden. Na enige tijd verandert deze hoeveelheid waterstof niet meer (zie tabel).

- 2 Maak een grafiek van het aantal mol H_2 tegen de tijd. Gebruik figuur 1 op de volgende pagina.

Bij de reactie ontstaat ook koolstofmonoxide en de reactanten, methaan en stoom, worden natuurlijk minder.

- 3 Bereken de hoeveelheden van de andere stoffen op $t = 12,0$ min.
- 4 Ga na of er hier sprake is van een evenwichtsreactie.
- 5 Bereken van de andere stoffen ook enkele punten op tijdstippen tussen $t = 0,0$ min en $t = 12,0$ min en teken ook deze lijnen in je grafiek.

Tip: Gebruik Excel, dan kun je gemakkelijk de andere punten berekenen en kun je ze allemaal doen.

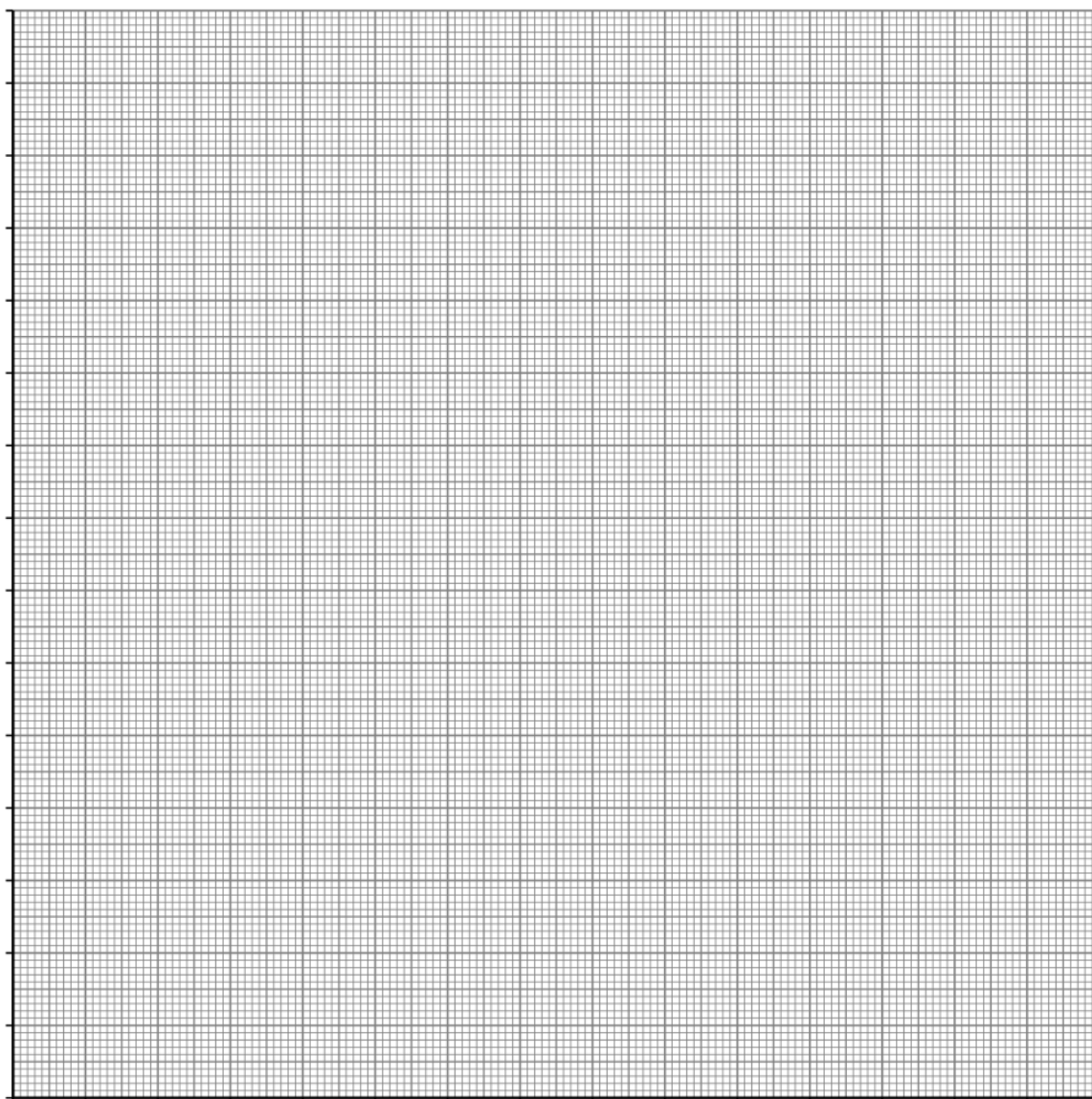
t(min)	n H_2 (mol)
0,0	0,00
1,0	1,20
2,0	2,25
3,0	3,15
4,0	3,90
5,0	4,35
6,0	4,65
7,0	4,80
8,0	4,92
9,0	4,98
10,0	5,00
11,0	5,00
12,0	5,00

Het rendement van een productie wordt berekend door de werkelijk ontstane hoeveelheid product te delen door de theoretisch mogelijke productie.

- 6 Bereken het rendement (%) van bovenstaand experiment.

figuur 1

$\uparrow$ n (mol)



$\longrightarrow$ t (min)

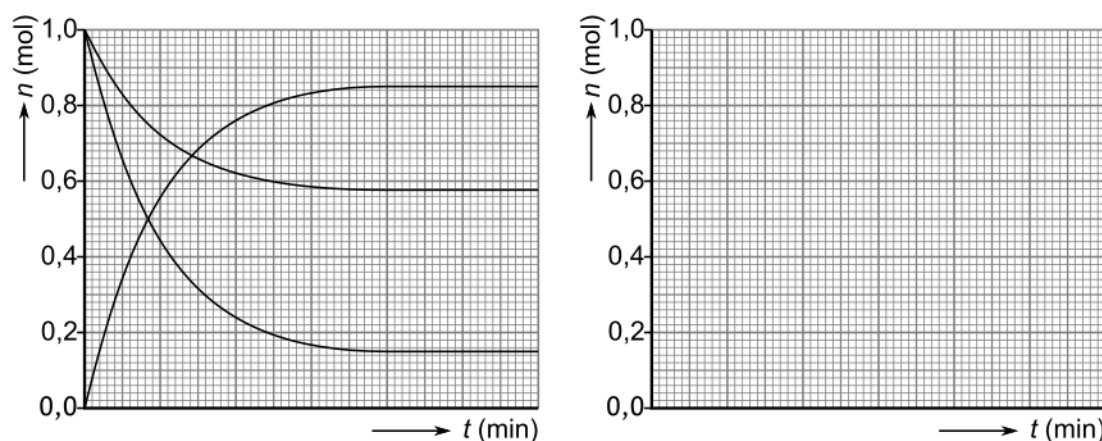
Zwavedioxide en trioxide

We voeren twee experimenten uit:

- A. We brengen een mengsel van 1,00 mol zwavedioxidegas en 1,00 mol zuurstofgas bij elkaar in een vat van 5,00 L bij een temperatuur van 1000 K. Er treedt een reactie op. Na verloop van tijd veranderen de concentraties van de aanwezige stoffen niet meer. Er blijkt dan, naast bepaalde hoeveelheden van de genoemde gassen, ook 0,85 mol zwaveltrioxidegas aanwezig te zijn.
- B. We brengen 1,00 mol zwaveltrioxidegas in een vat van 10,0 L bij een temperatuur van 1000 K. Er treedt een reactie op. Na verloop van tijd blijven de concentraties van de stoffen constant. Er blijkt dan onder andere 0,16 mol zuurstofgas aanwezig te zijn.

Eén van de twee experimenten levert het linker diagram van figuur 1.

figuur 1



- 7 Geef de reacties die in de experimenten A en B optreden in één reactievergelijking weer.
- 8 Behoort het afgebeelde diagram bij experiment A of bij experiment B? Motiveer je antwoord.
- 9 Geef in van het linker diagram aan welke lijn bij welke stof hoort.
- 10 Teken in het rechter diagram de lijnen van het andere experiment.

Nitrosylchloride vormen

Stikstofmono-oxide en chloor kunnen met elkaar reageren onder vorming van nitrosylchloride, NOCl. In een afgesloten ruimte van $1,0 \text{ dm}^3$ wordt $0,200 \text{ mol}$ stikstofmono-oxide en $0,100 \text{ mol}$ chloor gebracht en de temperatuur wordt op 500 K gebracht. Na een tijdje blijkt 85% van alle chloor te zijn omgezet.

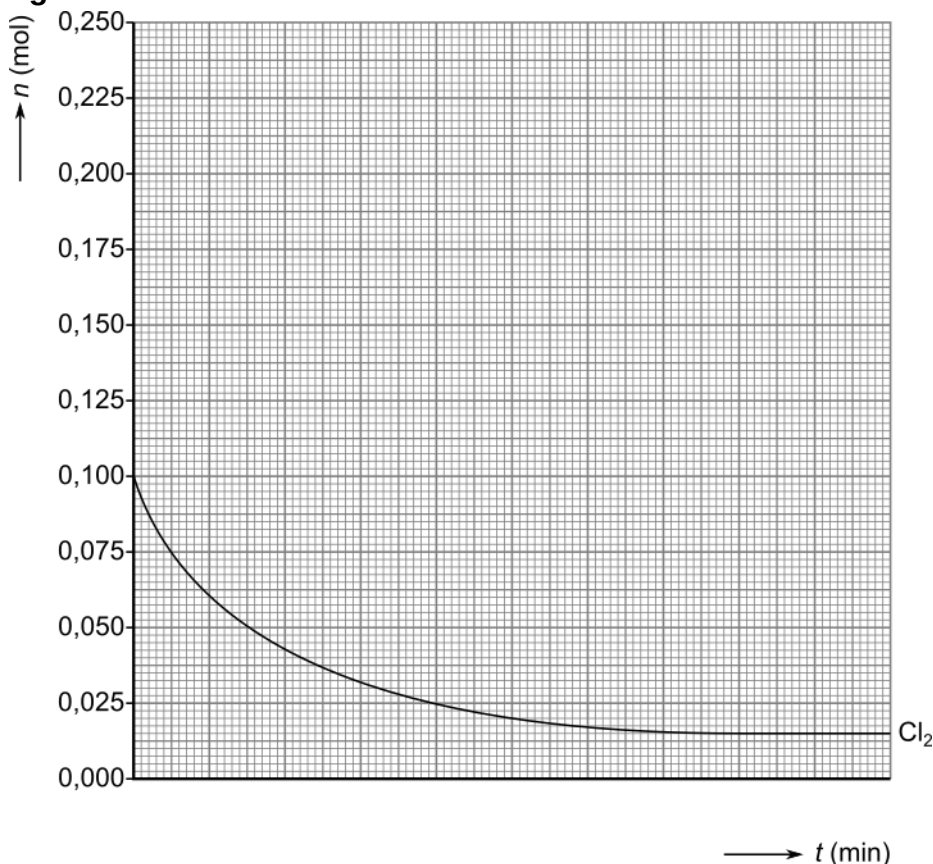
- 11** Geef de reactievergelijking voor dit evenwicht.

In de opgave staat dat van het aanwezige chloorgas er 85% wordt omgezet. Er blijft dus wat chloor over.

- 12** Leg uit of je uit dit gegeven kunt concluderen dat het hier gaat om een evenwicht.

In figuur 1 is de hoeveelheid chloorgas gedurende de proef aangegeven.

figuur 1



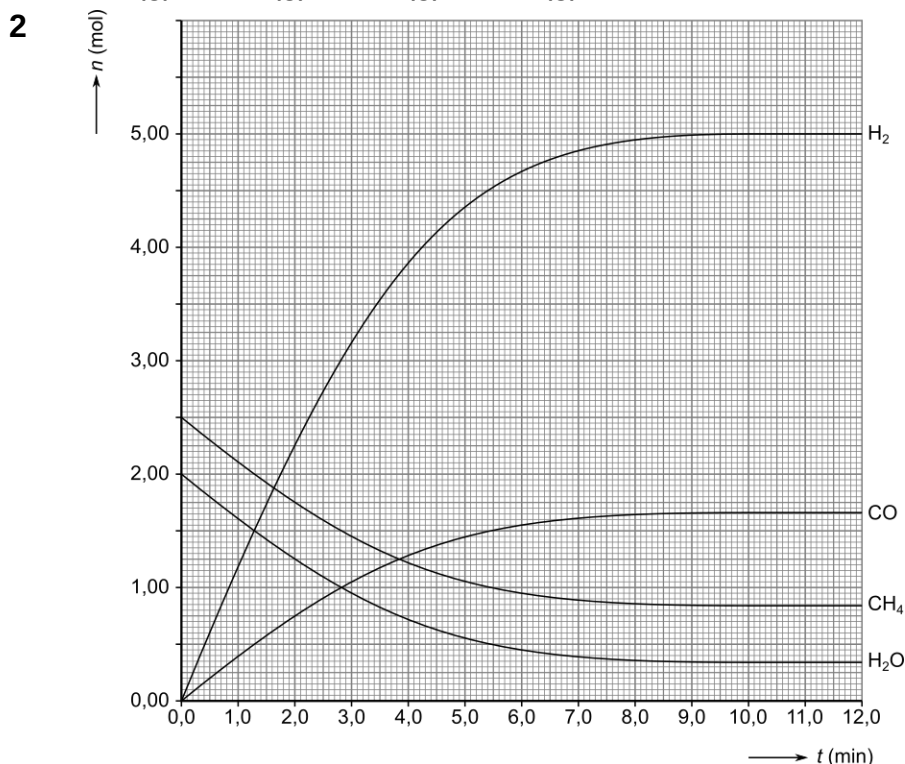
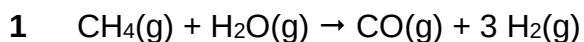
- 13** Teken in figuur 1 zo *nauwkeurig mogelijk* lijnen voor nitrosylchloride en stikstofmono-oxide.
Bereken meerdere tussenpunten.

Ammoniak produceren

Op het tijdstip $t = t_0$ brengt men in een vat van 2 dm^3 8 mol waterstof en 3 mol stikstof. Na t_e seconden is een dynamisch evenwicht bereikt. Naast waterstof en stikstof bevindt zich dan 4 mol ammoniak in het vat.

- 14 Geef de reactievergelijking van dit evenwicht.
- 15 Bereken bij $t = t_e$ de evenwichtsmolariteiten ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$) van de aan dit evenwicht deelnemende stoffen.
- 16 Schets twee grafieken van het evenwicht:
 - aantal mol tegen de tijd
 - reactiesnelheid tegen de tijd
- 17 Wat is de invloed van een katalysator op de insteltijd van dit evenwicht?
- 18 Schets twee grafieken van het evenwicht met toegevoegd katalysator:
 - aantal mol tegen de tijd
 - reactiesnelheid tegen de tijd

Uitwerkingen



3 Maak een begin-omgezet-eind tabel.

	CH_4	H_2O	CO	H_2
$t = 0,0 \text{ min}$	2,50	2,00	0,00	0,00
reactie	-1,67	-1,67	+1,67	+5,00
$t = 12,0 \text{ min}$	0,83	0,33	1,67	5,00

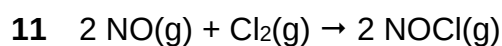
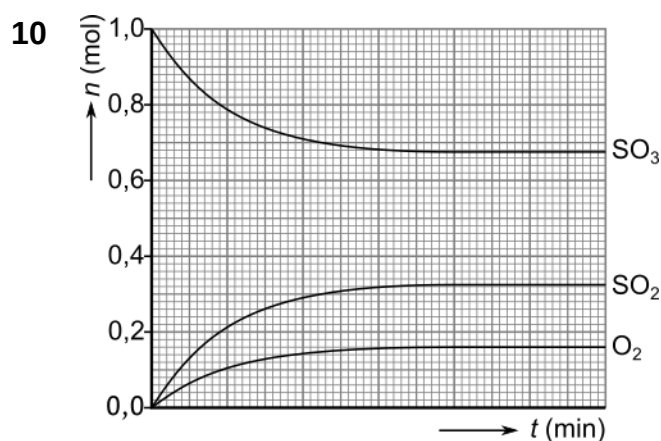
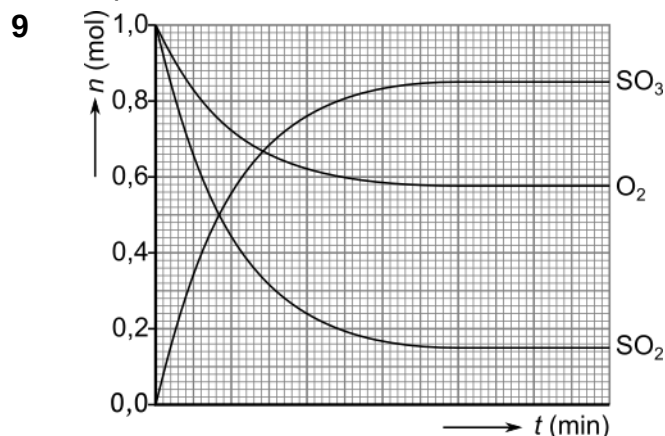
4 Als je naar de molverhouding kijkt, is H_2O in ondermaat. Bij een aflopende reactie zou deze hoeveelheid helemaal op gaan en zou er 6,0 mol H_2 moeten ontstaan (1 : 3). Er ontstaat echter minder H_2 , dus is de ondermaat niet volledig weggereageerd. Dus is er sprake van een evenwicht.

5 Zie antwoord bij opg 3. Maak wederom een BOE-tabel, maar nu niet van 0,0 min naar 12,0 min, maar van bijvoorbeeld 0,0 min naar 4,0 min. Als je goed kijkt zitten er waarden bij die gemakkelijk deelbaar zijn door 3

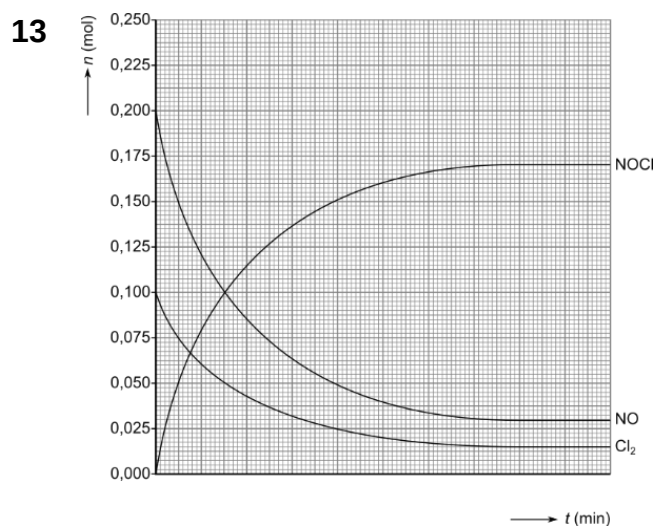
6 De ondermaat bepaald de maximale hoeveelheid product. Hier is stoom in ondermaat en er zou 6 mol H_2 kunnen ontstaan, maar er ontstaat slechts 5 mol. Het rendement is dus $5 / 6 \times 100\% = 83\%$

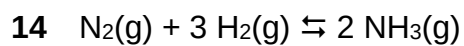


8 Er zijn twee dalende lijnen die beginnen bij 1,00 mol, dus dit diagram hoort bij experiment A.



12 De molverhouding is 2 : 1 en de hoeveelheden in de ruimte voldoen aan die molverhouding, dus bij een aflopende reactie zou alle Cl_2 weg reageren. Dat gebeurt niet, dus evenwicht.



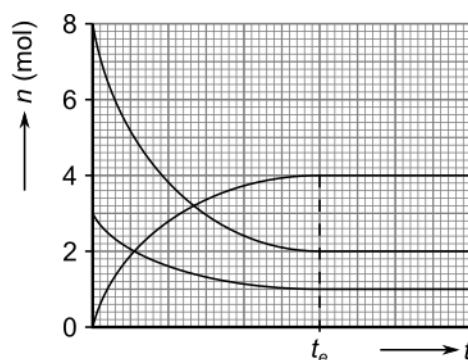
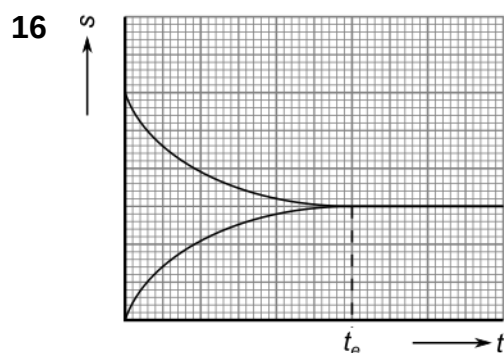


15 Maak een begin-reactie-eind tabel:

mol	N_2	H_2	NH_3
begin	3	8	0
reactie	-2	-6	+4
eind	1	2	4

Voor molariteiten nog delen door het volume:

$[\text{N}_2] = 0,5 \text{ M}$, $[\text{H}_2] = 1 \text{ M}$, $[\text{NH}_3] = 2 \text{ M}$



17 Een katalysator verkort de insteltijd. De ligging van het evenwicht wordt niet beïnvloed. De insteltijd (t_e) is korter, de evenwichtshoeveelheden zijn gelijk en beide reactiesnelheden zijn groter, maar nog steeds gelijk!

