

Reactiesnelheid (aanvulling § 8.1, 8.2 en 8.3)

Uit een aantal experimenten (zie § 8.1 en 8.2) bleek het volgende:

De reactiesnelheid hangt af van:

- deeltjesgrootte
- concentratie
- temperatuur
- katalysatoren

In § 8.3 werd het verschil in reactiesnelheid verklaard met behulp van het zogenaamde botsende-deeltjesmodel. Aan dit model liggen de volgende uitgangspunten ten grondslag:

- een chemische reactie kan pas plaatsvinden als er twee of meer deeltjes met elkaar botsen;
- bij elke reactie moeten eerst bindingen worden verbroken, daarna worden nieuwe bindingen gevormd;
- een chemische reactie tussen twee deeltjes vindt plaats als de botsing tussen die deeltjes *effectief* is.

Wat in genoemde paragrafen niet aan de orde is geweest, is de invloed van licht op chemische reacties. Veel reacties worden onder invloed van licht aanzienlijk versneld. Licht is evenals warmte een vorm van energie. Bestraalde stoffen hebben energie opgenomen (hebben een grotere energie-inhoud) waardoor bepaalde reacties gemakkelijker op gang komen en de reactiesnelheid verhoogd wordt. Een ons bekend voorbeeld is de ontleding van zilverchloride in zilver(s) en chloor(g).

Definitie reactiesnelheid

De snelheden waarmee chemische reacties zich voltrekken verschillen enorm. Sommige reacties, zoals de reactie tussen natrium en broom, verloopt meteen, terwijl het roesten van ijzer niet waarneembaar verloopt.



The reaction between sodium and bromine



The rusting of iron?

Om de reactiesnelheid kwantitatief te beschrijven, moeten we aangeven hoe snel de concentratie van een stof of een reactieproduct per tijdseenheid verandert.

$$\text{Reactiesnelheid} = \frac{\text{concentratieverandering}}{\text{verandering in de tijd}}$$

Een reactie die gedetailleerd bestudeerd is, is de thermolyse van distikstofpenta-oxide waarbij stikstofdioxide en zuurstof ontstaan:



kleurloos bruin kleurloos

De concentratieverandering kan worden gevolgd door de intensiteit van de bruine kleur van het NO₂ te meten. De concentraties van de stof en de producten staan als functie van de tijd bij 55 °C in onderstaande tabel vermeld.

TABLE Concentrations as a Function of Time at 55 °C for the Reaction $2 \text{N}_2\text{O}_5(\text{g}) \rightarrow 4 \text{NO}_2(\text{g}) + \text{O}_2(\text{g})$

Time (s)	Concentration (M)		
	N ₂ O ₅	NO ₂	O ₂
0	0.0200	0	0
100	0.0169	0.0063	0.0016
200	0.0142	0.0115	0.0029
300	0.0120	0.0160	0.0040
400	0.0101	0.0197	0.0049
500	0.0086	0.0229	0.0057
600	0.0072	0.0256	0.0064
700	0.0061	0.0278	0.0070

Note that the concentrations of NO₂ and O₂ increase as the concentration of N₂O₅ decreases.

► OPDRACHT 1 Controleer de hoeveelheden NO₂ en O₂ die na 100 s zijn gevormd.

De reactiesnelheid S kan zowel worden gedefinieerd als de concentratietoename van een product per tijdseenheid (gewoonlijk per seconde) als de concentratieafname van een stof per tijdseenheid.

Laten we eerst eens kijken naar de vorming van O₂. Bij de ontleding van N₂O₅ wordt de snelheid waarmee O₂ wordt gevormd gegeven door de vergelijking

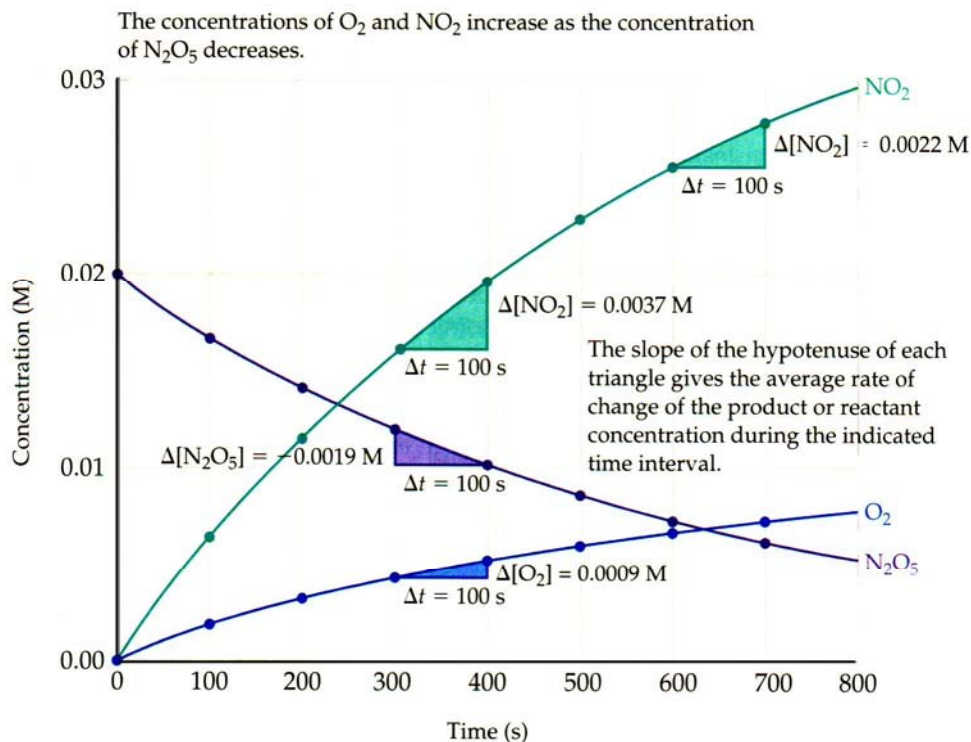
$$S_{\text{O}_2} = \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{\text{concentratie O}_2 \text{ op } t_2 - \text{concentratie O}_2 \text{ op } t_1}{t_2 - t_1}$$

$\Delta[\text{O}_2]$ is de verandering in de O₂ concentratie, Δt is de verandering in de tijd en $\Delta[\text{O}_2]/\Delta t$ is de gemiddelde verandering van de O₂ concentratie tijdens het tijdsinterval van t_1 tot t_2 . In bijvoorbeeld de periode van 300 tot 400 s is de gemiddelde vormingssnelheid van O₂ $9 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{s}^{-1}$.

► OPDRACHT 2 Controleer de gemiddelde vormingssnelheid van O₂ tijdens het tijdsinterval van 300 tot 400 s.

Zoals je ziet is de reactiesnelheid hier steeds uitgedrukt in $\text{M} \cdot \text{s}^{-1}$ ($= \text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$). De reactiesnelheid wordt vaak op deze manier gedefinieerd om onafhankelijk te zijn van hoeveelheden.

Worden de gegevens uit de tabel grafisch weergegeven, dan ontstaat de onderstaande grafiek.



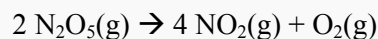
The rate of formation of O₂ is one-fourth the rate of formation of NO₂ and one half the rate of decomposition of N₂O₅.

Grafiek 1

Kijken we naar de O₂ curve tijdens het interval van 300 tot 400 s, dan worden $\Delta[\text{O}_2]$ en Δt weergegeven door respectievelijk de verticale en horizontale zijden van een rechthoekige driehoek. De richtingscoëfficiënt $\Delta[\text{O}_2] / \Delta t$ is de gemiddelde snelheid waarmee O₂ in dit tijdsinterval wordt gevormd. Hoe steiler de helling van de schuine zijde, hoe groter de reactiesnelheid. Vergelijk de gemiddelde vormingssnelheid van NO₂ ($3,7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$) maar eens met die van O₂ ($9 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$). Dit is in overeenstemming met de verhouding van de coëfficiënten 4 : 1 in de reactievergelijking van de ontleding van N₂O₅.

Als O₂ en NO₂ worden gevormd, verdwijnt N₂O₅. Als gevolg hiervan is $\Delta[\text{N}_2\text{O}_5] / \Delta t$ negatief. Dit is in overeenstemming met de negatieve richtingscoëfficiënt in de grafiek, gegeven door $\Delta[\text{N}_2\text{O}_5] / \Delta t$. Omdat de reactiesnelheid S als positieve grootte is gedefinieerd, moet er altijd een min-teken worden gebruikt wanneer de snelheid van de stof die verdwijnt, wordt berekend. Voor bijvoorbeeld het interval van 300 tot 400 s is de gemiddelde ontledingssnelheid van N₂O₅ $1,9 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$.

Wanneer een reactiesnelheid wordt berekend, is het van belang de stof of het product te noemen waarop de reactiesnelheid betrekking heeft, omdat de snelheden afhankelijk zijn van de coëfficiënten in de reactievergelijking. Om de tweeslachtigheid van één of meer reactiesnelheden te vermijden is de reactiesnelheid gedefinieerd als de snelheid waarmee een stof wordt omgezet of een product wordt gevormd, gedeeld door de coëfficiënten die in de reactievergelijking voorkomen. Dus voor de reactie:



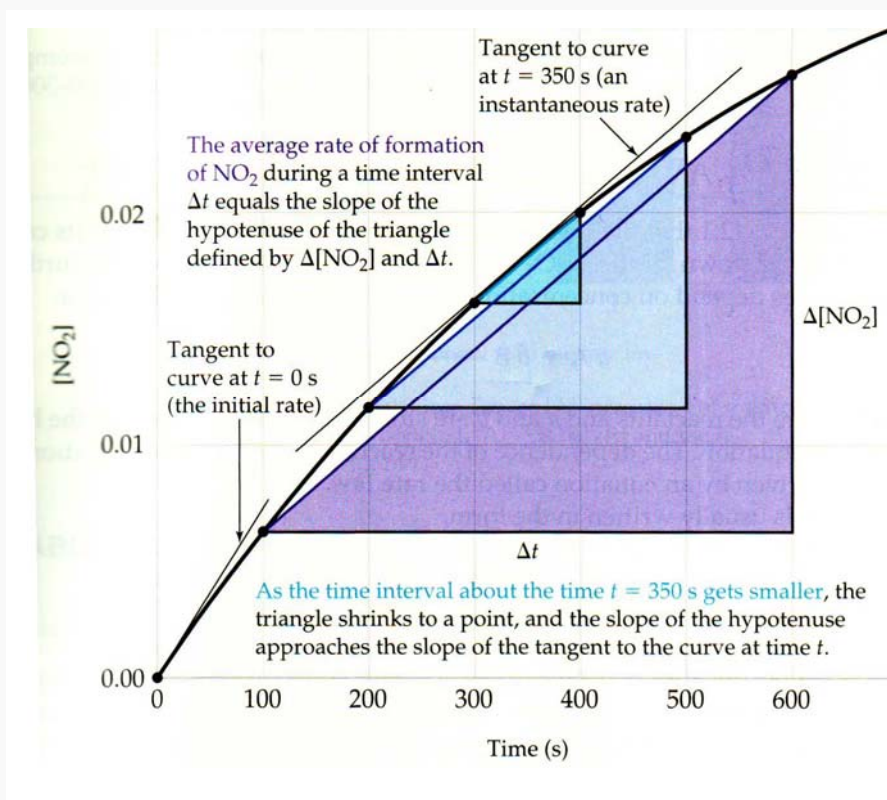
Is de reactiesnelheid S gelijk aan:

$$S = -\frac{1}{2} \left(\frac{\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} \right) = \frac{1}{4} \left(\frac{\Delta[\text{NO}_2]}{\Delta t} \right) = \left(\frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} \right)$$

Ook is het belangrijk om de tijd aan te geven. Zo is bijvoorbeeld de gemiddelde vormingssnelheid van NO₂ tussen de 300 en 400 s $3,7 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$, maar tussen de 600 tot 700 s is de snelheid

$2,2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ (zie grafiek 1). Normaal gesproken hangen reactiesnelheden af van de concentraties van één of meer van de uitgangsstoffen en daarom neemt de reactiesnelheid af omdat het reactiemengsel gaande weg minder van de uitgangsstoffen bevat. Dit blijkt ook uit de kleinere hellingen van de curven in figuur 1.

In de praktijk komt het erop neer dat van een verlopende reactie op bepaalde tijdstippen de concentratie wordt bepaald van één van de stoffen die wordt omgezet. Hierdoor is het tijdsinterval teruggebracht tot een punt waardoor de richtingscoëfficiënt de werkelijke reactiesnelheid benaderd (zie grafiek 2).



Grafiek 2

► OPDRACHT 3 Bereken de gemiddelde reactiesnelheid van de ontleding van N_2O_5 en de gemiddelde vormingssnelheid van O_2 gedurende het tijdsinterval van 200 tot 300 s. Zie voor gegevens de tabel op blz. 2

Oplossingen opdrachten

► OPDRACHT 1

	Concentratie (M)		
	N_2O_5	NO_2	O_2
aanwezig op $t = 0 \text{ s}$	0,0200	0	0
omgezet op $t = 100 \text{ s}$	0,0200		
	-0,0169		
over/gevormd op $t = 100 \text{ s}$	0,0031	$4/2 \times 0,0031 = 0,0062$	$1/2 \times 0,0031 = 0,0016$

► OPDRACHT 2

$$S_{\text{O}_2} = \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{0,0049 - 0,0040}{400 - 300} = 9 \times 10^{-6} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

► OPDRACHT 3

$$S_{\text{N}_2\text{O}_5} = \frac{-\Delta[\text{N}_2\text{O}_5]}{\Delta t} = \frac{-(0,0120 - 0,0142)}{300 - 200} = 2 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

$$S_{\text{O}_2} = \frac{1}{2} \times S_{\text{N}_2\text{O}_5} = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$

of

$$S_{\text{O}_2} = \frac{\Delta[\text{O}_2]}{\Delta t} = \frac{0,0040 - 0,0029}{300 - 200} = 1 \times 10^{-5} \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$$