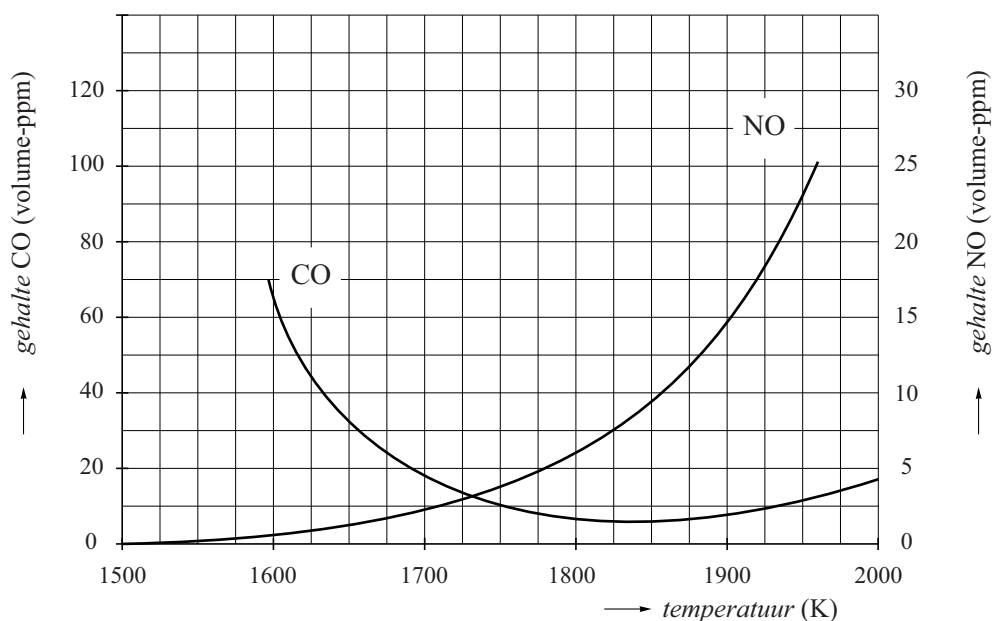


## Stikstofmono-oxide en stikstofdioxide

Stikstofmono-oxide (NO) en stikstofdioxide (NO<sub>2</sub>) zijn schadelijke gassen die ontstaan in het verkeer en bij grootschalige verbrandingsprocessen zoals bij de productie van elektriciteit.

In de afvalgassen van de gasturbine van een energiecentrale is gemeten hoe de uitstoot van onder andere CO en NO afhangt van de temperatuur in de turbine. In figuur 1 zijn de resultaten van deze metingen weergegeven.

**figuur 1**



- 2p **22** Geef een verklaring voor de stijging van de lijn van NO in figuur 1. Gebruik (een) gegeven(s) uit Binas of ScienceData.

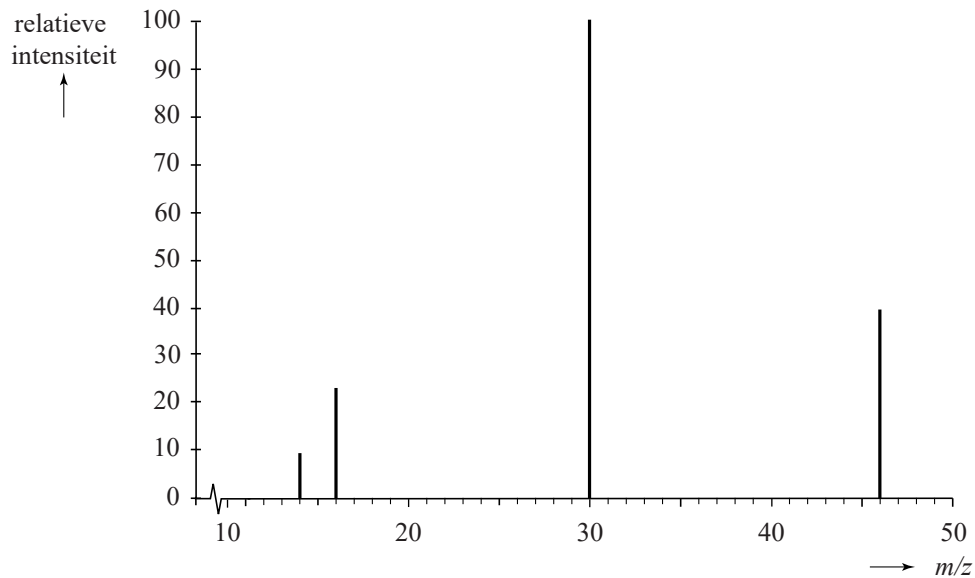
In een molecuul NO komen zeven niet-bindende elektronen voor.

- 3p **23** Geef twee grensstructuren van stikstofmono-oxide. Geef formele ladingen aan als deze voorkomen.

Stikstofdioxide wordt in de turbine gevormd door de reactie van stikstofmono-oxide met zuurstof. Een molecuul stikstofdioxide heeft een niet-cyclische structuur. Voor de volgorde van de atomen in het molecuul zijn twee mogelijkheden: NOO en ONO. Met behulp van massaspectrometrie kan worden bepaald welke van de twee mogelijkheden de juiste is.

Het massaspectrum van NO<sub>2</sub> is in figuur 2 weergegeven.

**figuur 2**



In dit massaspectrum zijn pieken waarin de isotopen N-15, O-17 en O-18 voorkomen niet weergegeven.

Uit de vier pieken in het massaspectrum kan geen conclusie worden getrokken over de volgorde van de atomen in NO<sub>2</sub>.

- 2p **24** Leg uit waarom de piek in het massaspectrum van NO<sub>2</sub> met  $m/z = 30$ , geen uitsluitel geeft over de volgorde van de atomen in het molecuul NO<sub>2</sub>.

Doordat bij een bepaalde  $m/z$ -waarde in het massaspectrum een piek ontbreekt, kan toch worden bepaald of de volgorde NOO of ONO is.

- 2p **25** Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef deze  $m/z$ -waarde van die piek.
  - Leg uit waarom op grond van die piek wél een uitspraak kan worden gedaan of de volgorde NOO of ONO is.

De vorming van stikstofdioxide uit stikstofmono-oxide en zuurstof is hieronder weergegeven.



De snelheid  $s_1$  van reactie 1 is gedefinieerd als het aantal mol  $\text{NO}_2$  dat per seconde per liter reactiemengsel ontstaat.

Bij het onderzoek naar de snelheid van reactie 1 werd in twee experimenten een aantal metingen uitgevoerd met verschillende beginconcentraties van  $\text{NO}$  en  $\text{O}_2$ .

De resultaten van het onderzoek zijn weergegeven in de tabel.

**tabel**

| exp | meting | $[\text{NO}]_0$<br>(mol L <sup>-1</sup> ) | $[\text{O}_2]_0$<br>(mol L <sup>-1</sup> ) | $s_1$ op $t_0$<br>(mol L <sup>-1</sup> s <sup>-1</sup> ) |
|-----|--------|---|--|--|
| 1   | 1.1    | $8,0 \cdot 10^{-5}$                       | $1,6 \cdot 10^{-3}$                        | $7,2 \cdot 10^{-8}$                                      |
|     | 1.2    | $1,2 \cdot 10^{-4}$                       | $1,6 \cdot 10^{-3}$                        | $1,6 \cdot 10^{-7}$                                      |
|     | 1.3    | $1,6 \cdot 10^{-4}$                       | $1,6 \cdot 10^{-3}$                        | $2,9 \cdot 10^{-7}$                                      |
|     | 1.4    | $2,4 \cdot 10^{-4}$                       | $1,6 \cdot 10^{-3}$                        | $6,5 \cdot 10^{-7}$                                      |
| 2   | 2.1    | $8,0 \cdot 10^{-5}$                       | $2,4 \cdot 10^{-3}$                        | $1,1 \cdot 10^{-7}$                                      |
|     | 2.2    | $8,0 \cdot 10^{-5}$                       | $3,2 \cdot 10^{-3}$                        | $1,4 \cdot 10^{-7}$                                      |
|     | 2.3    | $8,0 \cdot 10^{-5}$                       | $4,8 \cdot 10^{-3}$                        | $2,2 \cdot 10^{-7}$                                      |
|     | 2.4    | $8,0 \cdot 10^{-5}$                       | $6,4 \cdot 10^{-3}$                        | $2,9 \cdot 10^{-7}$                                      |

Op basis van de vergelijking van reactie 1 verwachtte men dat voor de snelheid van reactie 1 de volgende reactiesnelheidsvergelijking geldt:

$$s_1 = k_1 [\text{NO}]^2 [\text{O}_2] \quad (\text{snelheidsvergelijking 1})$$

De constante  $k_1$  wordt de reactieconstante genoemd.

- 2p **26** Leg uit dat snelheidsvergelijking 1 in overeenstemming is met de gegevens in de tabel.

**Let op: de laatste vraag van dit examen staat op de volgende pagina.**

Lange tijd heeft men gedacht dat de reactie tussen NO en O<sub>2</sub> verloopt doordat twee moleculen NO en één molecuul O<sub>2</sub> op hetzelfde moment tegen elkaar botsen. De kans op zo'n botsing tussen drie moleculen is echter uiterst klein. Nader onderzoek leverde op dat tijdens de reactie deeltjes met de formule N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> worden gevormd. Op grond van dit gegeven werd voor de reactie een mechanisme voorgesteld dat uit twee stappen bestaat.

In de eerste stap stelt zich evenwicht 1 in.



De evenwichtsvoorwaarde voor evenwicht 1 is  $K = \frac{[\text{N}_2\text{O}_2]}{[\text{NO}]^2}$ .

In de tweede stap verloopt reactie 2.



De snelheid van reactie 2 kan worden weergegeven door:

$$s_2 = k_2 [\text{N}_2\text{O}_2] [\text{O}_2] \quad (\text{snelheidsvergelijking 2})$$

Mede met behulp van de evenwichtsvoorwaarde van evenwicht 1 en snelheidsvergelijking 2 kan de experimenteel gevonden snelheidsvergelijking 1 worden afgeleid.

Hierbij moet worden aangenomen dat de snelheid van reactie 2 sterk verschilt van de snelheid waarmee evenwicht 1 zich instelt.

Op deze manier heeft men aangetoond dat het bovenbeschreven mechanisme voor reactie 1 juist kan zijn.

- 3p 27 Leg uit dat het reactiemechanisme via het gevormde deeltje N<sub>2</sub>O<sub>2</sub> in overeenstemming is met de experimenteel gevonden snelheidsvergelijking 1.  
Gebruik in je uitleg de evenwichtsvoorwaarde van evenwicht 1 en snelheidsvergelijking 2.