

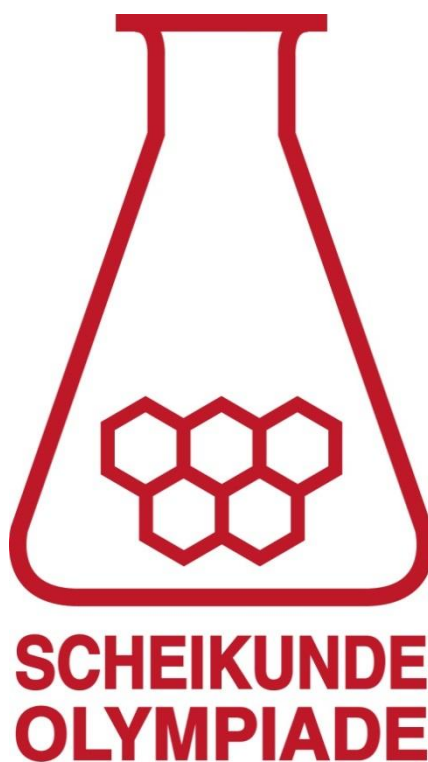
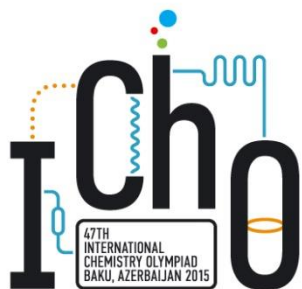
# 36<sup>e</sup> Nationale Scheikundeolympiade

YARA

Sluiskil

## THEORIETOETS correctievoorschrift

maandag 8 juni 2015



- Deze theorietoets bestaat uit 6 opgaven met in totaal 33 deelvragen.
- Gebruik voor elke opgave een apart antwoordblad, voorzien van naam. Houd aan alle zijden 2 cm als marge aan.
- De maximumscore voor dit werk bedraagt 120 punten.
- De theorietoets duurt maximaal 4 klokuren.
- Benodigde hulpmiddelen: rekenapparaat en BINAS 5<sup>e</sup> druk.
- Bij elke opgave is het aantal punten vermeld dat juiste antwoorden op de vragen oplevert.

## Opgave 1 Elektrochemie en kinetiek

(12 punten)

□1 Maximumscore 2

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Voor reactie 1 geldt:  $s_1 = -\frac{\Delta[\text{BrO}_3^-]}{\Delta t} = \frac{1}{3} \frac{\Delta[\text{Br}_2^-]}{\Delta t}$ , dus  $\frac{\Delta[\text{Br}_2^-]}{\Delta t} = 3s_1$ .

Voor reactie 2 geldt:  $s_2 = -\frac{\Delta[\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}]}{\Delta t} = -\frac{\Delta[\text{Br}_2^-]}{\Delta t}$ .

In de stationaire toestand is de afname van de broomconcentratie ten gevolge van reactie 2 gelijk aan de toename van de broomconcentratie ten gevolge van reactie 1. Dus geldt in de stationaire toestand  $s_2 = 3s_1$ .

- uitleg dat in reactie 1 de toename van de broomconcentratie gelijk is aan  $3s_1$  en dat de afname van de broomconcentratie in reactie 2 gelijk is aan  $s_2$  1
- in de stationaire toestand is de afname van de broomconcentratie ten gevolge van reactie 2 gelijk aan de toename van de broomconcentratie ten gevolge van reactie 1 en conclusie 1

□2 Maximumscore 2

- aan de koperelektrode:  $\text{Cu} \rightarrow \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^-$  1
- aan de platina-elektrode:  $\text{Br}_2 + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Br}^-$  1

Indien het volgende antwoord is gegeven: 1

aan de koperelektrode:  $\text{Cu}^{2+} + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}$

aan de platina-elektrode:  $2\text{Br}^- \rightarrow \text{Br}_2 + 2\text{e}^-$

□3 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

In reactie 2 reageert  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  met  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}_2$  onder vorming van  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}^-$ .

Voor de vorming van  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}_2$  heeft  $\frac{5}{3} \times 4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}^-$  in reactie 1 gereageerd.

De verandering in de  $[\text{Br}^-]$  is dus  $4,0 \cdot 10^{-4} - \frac{5}{3} \times 4,0 \cdot 10^{-4} = -2,7 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{L}^{-1}$ .

- in reactie 2 reageert  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$  met  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}_2$  onder vorming van  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}^-$  1
- voor de vorming van  $4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}_2$  heeft  $\frac{5}{3} \times 4,0 \cdot 10^{-4}$  mol  $\text{Br}^-$  in reactie 1 gereageerd 1
- conclusie 1

□4 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Omdat geen stroom loopt, blijft  $[\text{Cu}^{2+}]$  tijdens het experiment constant.

De  $[\text{Br}^-]$  mag ook constant worden beschouwd, en, omdat zich een stationaire toestand instelt, is  $[\text{Br}_2]$  ook constant.

Dus alle concentraties waar het potentiaalverschil van afhankelijk is, blijven constant. Zolang dat het geval is, blijft het potentiaalverschil dus ook constant.

- uitleg dat de  $[\text{Cu}^{2+}]$  tijdens het experiment constant is 1
- uitleg dat de  $[\text{Br}_2]$  ook constant is 1
- vermelding dat de  $[\text{Br}^-]$  constant mag worden beschouwd en conclusie 1

□5 Maximumscore 2

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Als alle fenol is omgezet, wordt in reactie 2 geen  $\text{Br}_2$  meer omgezet en geen  $\text{Br}^-$  meer gevormd (terwijl  $[\text{Cu}^{2+}]$  constant blijft). In de concentratiebreuk achter het logteken neemt de noemer dus toe en de teller af. Dus neemt  $\Delta V$  toe.

· als alle fenol is omgezet, wordt in reactie 2 geen  $\text{Br}_2$  meer omgezet en geen  $\text{Br}^-$  meer gevormd

1

· rest van de uitleg

1

Indien een antwoord is gegeven als „Als alle fenol is omgezet, wordt in reactie 2 geen  $\text{Br}_2$  meer omgezet. In de concentratiebreuk achter het logteken neemt de noemer dus toe. Dus neemt  $\Delta V$  toe.”

1

□6 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

$$k_2 = \frac{1,1 \cdot 10^{-6}}{\left\{ (0,020)^2 \times 1,0 \times 10^{\frac{0,54 - 0,75}{0,030}} \right\} \times 4,0 \cdot 10^{-4}} = 6,9 \cdot 10^7 \text{ L mol}^{-1} \text{ s}^{-1}.$$

· berekening van de  $[\text{Br}_2]$ :  $(0,020)^2 \times 1,0 \times 10^{\frac{0,54 - 0,75}{0,030}}$

1

· rest van de berekening

1

· juiste eenheid

1

## ■ Opgave 2 Complexe kleuren

(11 punten)

□7 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

De ligandveldsplittingsenergie voor één complex is:

$$\Delta = h\nu = \frac{hc}{\lambda} = \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ (Js)} \times 2,998 \cdot 10^8 \text{ (ms}^{-1}\text{)}}{540 \cdot 10^{-9} \text{ (m)}};$$

$$\text{dat is } \frac{6,626 \cdot 10^{-34} \text{ (Js)} \times 2,998 \cdot 10^8 \text{ (ms}^{-1}\text{)}}{540 \cdot 10^{-9} \text{ (m)}} \times 6,022 \cdot 10^{23} \text{ (mol}^{-1}\text{)} = 2,22 \cdot 10^5 \text{ (J mol}^{-1}\text{)}.$$

· notie dat voor de energie van een foton geldt  $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$  en dat de

ligandveldsplittingsenergie voor één complex gelijk is aan de energie van één foton

1

· berekening van de ligandveldsplittingsenergie voor één complex:  $6,626 \cdot 10^{-34} \text{ (Js)}$

vermenigvuldigen met  $2,998 \cdot 10^8 \text{ (ms}^{-1}\text{)}$  en delen door  $540 \cdot 10^{-9} \text{ (m)}$

1

· omrekening van de ligandveldsplittingsenergie voor één complex naar de

ligandveldsplittingsenergie per mol: vermenigvuldigen met het getal van Avogadro

1

□8 Maximumscore 2

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

$\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  is een octaëdrisch complex. Dus diagram I is van toepassing voor dit complex.

·  $\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$  is een octaëdrisch complex

1

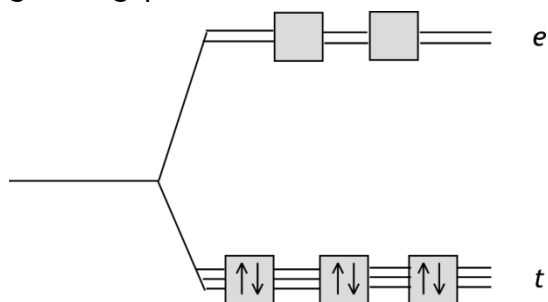
· conclusie

1

□9 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Een  $\text{Co}^{3+}$  ion heeft zes  $d$  elektronen. Omdat een  $\text{CoCl}_3$  oplossing diamagnetisch is, zijn er geen ongepaarde elektronen. Dus de elektronenconfiguratie is:



- een  $\text{Co}^{3+}$  ion heeft zes  $d$  elektronen 1
- uitleg dat in het complex geen ongepaarde elektronen voorkomen 1
- conclusie 1

*Opmerking*

*Wanneer een onjuist antwoord op vraag 9 het consequente gevolg is van een onjuist antwoord op vraag 8, dit antwoord op vraag 9 goed rekenen.*

□10 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

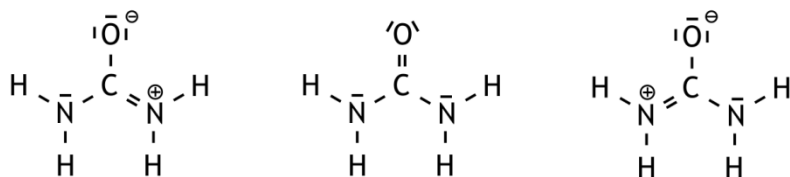
De groene oplossing absorbeert rood licht en de gele oplossing absorbeert violet licht. Rood licht heeft minder energie dan violet licht. De ligandveldsplittingsenergie  $\Delta$  is in de complexen in de groene oplossing dus kleiner dan in de complexen in de gele oplossing. De ligandveldsterkte neemt dus van links naar rechts toe.

- notie dat het licht dat door een oplossing wordt geabsorbeerd complementair is aan het licht van de oplossing 1
- rood licht heeft minder energie van violet licht 1
- conclusie 1

### ■ Opgave 3 Onbreekbaar ureum

(21 punten)

□11 Maximumscore 3



- in alle formules de bindende elektronenparen juist getekend 1
- in alle formules de niet-bindende elektronenparen juist getekend 1
- alle ladingen op de juiste plaats gezet 1

□12 Maximumscore 5

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Het C atoom, het O atoom en de N atomen hebben allemaal een  $sp^2$  hybridisatie.

Er zijn  $\sigma$ -bindingen tussen de H atomen en de N atomen, tussen de N atomen en het C atoom en tussen het C atoom en het O atoom.

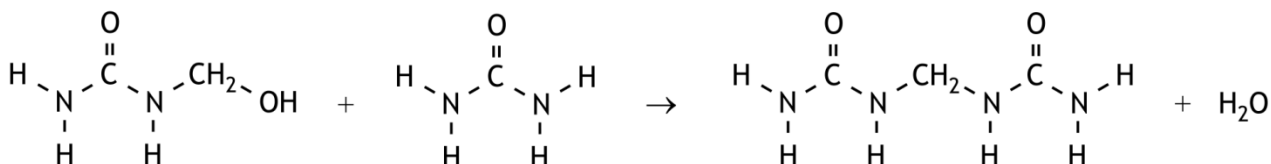
Bovendien is het C atoom met het O atoom en de N atomen verbonden door een (gedelokaliseerd)  $\pi$ -elektronensysteem.

Alle atomen van het molecuul liggen in één vlak.

- $sp^2$  hybridisatie op C, O en N 1
- $\sigma$ -bindingen tussen de H atomen en de N atomen 1
- $\sigma$ -bindingen tussen de N atomen en het C atoom en tussen het C atoom en het O atoom 1
- een (gedelokaliseerd)  $\pi$ -elektronensysteem tussen het C atoom, het O atoom en beide N atomen 1
- het molecuul is vlak 1

Indien een antwoord is gegeven waarin voor tenminste één van de gegeven grensstructuren juist is aangegeven welke soort hybridisatie de C, O en N atomen hebben, alsmede welke soort bindingen in het molecuul voorkomen en wat de ruimtelijke structuur van het molecuul is 3

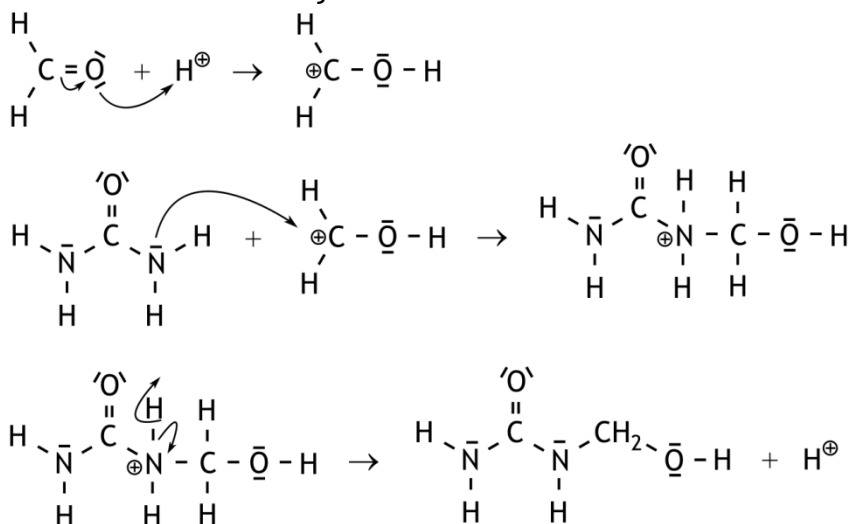
□13 Maximumscore 2



- de structuurformules van monomethylolureum en ureum voor de pijl en de structuurformule van MDU na de pijl 1
- $\text{H}_2\text{O}$  na de pijl 1

□14 Maximumscore 6

Een voorbeeld van een juist antwoord is:



- in de eerste stap de structuurformules juist 1
- in de eerste stap de niet-bindende elektronenparen op de juiste plaats, evenals de plus-lading 1
- in de tweede stap de structuurformules juist 1
- in de tweede stap de niet-bindende elektronenparen op de juiste plaats, evenals de plus-lading 1
- in de derde stap de structuurformules juist 1
- in de derde stap de niet-bindende elektronenparen op de juiste plaats, evenals de plus-lading 1

*Opmerking*

*Wanneer geen kromme pijlen zijn getekend, dit niet aanrekenen.*

□15 Maximumscore 1

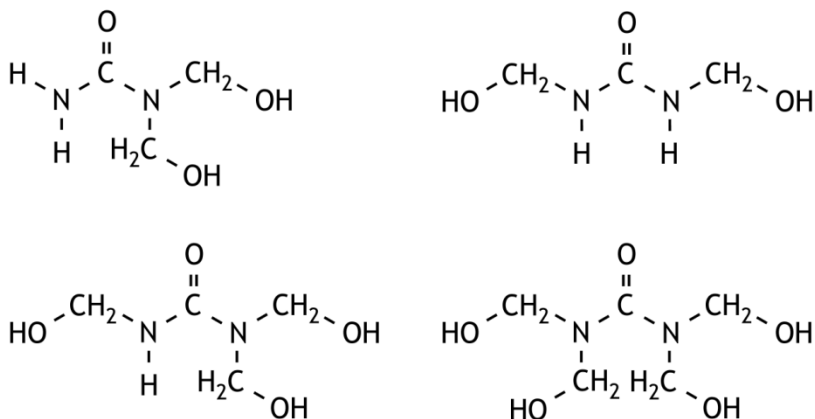
Door een overmaat formaldehyde/methanal te gebruiken.

*Opmerking*

*Wanneer een antwoord is gegeven als: „De reactie snel afbreken.” dit goed rekenen.*

□16 Maximumscore 4

Een juist antwoord kan er als volgt uitzien:

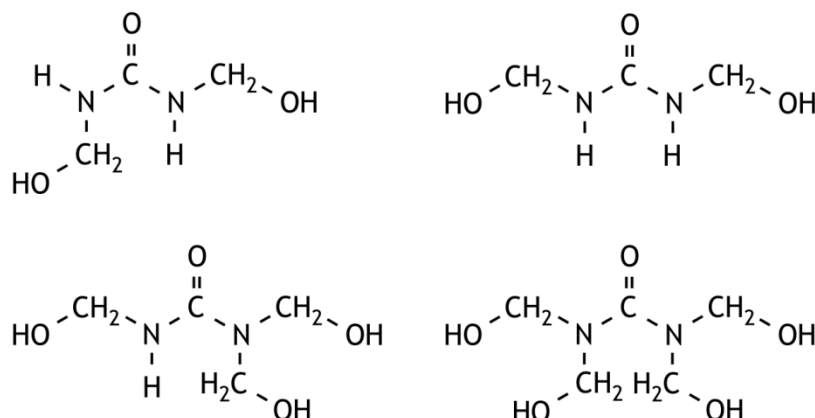


per juiste structuurformule

1

Indien in een overigens juist antwoord stereo-isomeren voorkomen, bijvoorbeeld in een antwoord als:

3



## Opgave 4 De ontdekking van PKU

(22 punten)

□17 Maximumscore 2

Voorbeelden van een juist antwoord zijn:

- Om aan te tonen dat stof X de groenkleuring veroorzaakt: aan urine van gezonde mensen (een kleine hoeveelheid) stof X toevoegen en vervolgens (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing / (een kleine hoeveelheid) stof X in water oplossen en (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing toevoegen (er treedt dan een groenkleuring op).

Om aan te tonen dat in de urine van gezonde mensen stof X niet voorkomt: (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing bij urine van gezonde mensen druppelen (er treedt dan geen groenkleuring op).

- Om aan te tonen dat stof X de groenkleuring veroorzaakt: uit urine van de twee kinderen met een verstandelijke beperking stof X verwijderen en aan de overblijvende oplossing (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing toevoegen (er treedt dan geen groenkleuring op).

Om aan te tonen dat in de urine van gezonde mensen stof X niet voorkomt: (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing bij urine van gezonde mensen druppelen (er treedt dan geen groenkleuring op).

- om aan te tonen dat stof X de groenkleuring veroorzaakt: aan urine van gezonde mensen (een kleine hoeveelheid) stof X toevoegen en vervolgens (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing / (een kleine hoeveelheid) stof X in water oplossen en (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing toevoegen (er treedt dan een groenkleuring op) 1

- om aan te tonen dat in de urine van gezonde mensen stof X niet voorkomt: (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing bij urine van gezonde mensen druppelen (er treedt dan geen groenkleuring op) 1

of

- om aan te tonen dat stof X de groenkleuring veroorzaakt: uit urine van de twee kinderen met een verstandelijke beperking stof X verwijderen en aan de overblijvende oplossing (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing toevoegen (er treedt dan geen groenkleuring op) 1

- om aan te tonen dat in de urine van gezonde mensen stof X niet voorkomt: (een kleine hoeveelheid) ijzer(III)chloride-oplossing bij urine van gezonde mensen druppelen (er treedt dan geen groenkleuring op) 1

□18 Maximumscore 8

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

Uit de eerste titratie volgt dat de molaire massa van stof X  $\frac{28,0}{1,70 \times 0,100} = 165 \text{ g mol}^{-1}$  is.

Uit de tweede titratie volgt dat de molaire massa van stof X  $\frac{34,4}{2,11 \times 0,100} = 163 \text{ g mol}^{-1}$

is.

Dus de gemiddelde molecuulmassa is 164 u.

In experiment 3 is dus  $\frac{4,890}{164}$  mmol van stof X verbrand.

Daarin zat  $\frac{11,775}{44,01}$  mmol C en  $\frac{2,130}{18,02} \times 2$  mmol H.

Een mmol van stof X bevat dus  $\frac{11,775}{44,01} = 9$  mmol C,  $\frac{2,130}{18,02} \times 2 = 8$  mmol H en

$\frac{164 - 9 \times 12,01 - 8 \times 1,008}{16,00} = 3$  mmol O.

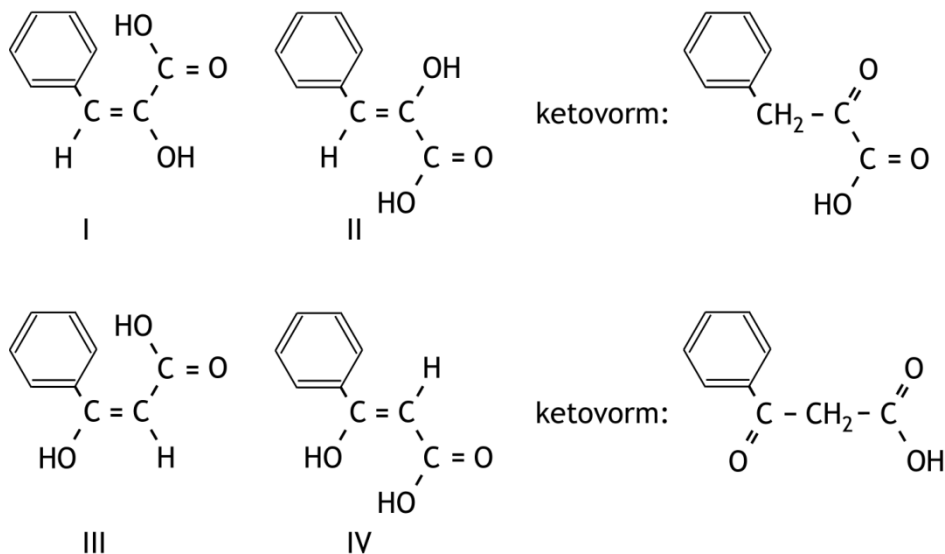
Dus de molecuulformule van stof X is  $\text{C}_9\text{H}_8\text{O}_3$ .

- berekening van het aantal mmol loog dat in de titraties van experiment 2 is gebruikt: 1,70 (mL) respectievelijk 2,11 (mL) vermenigvuldigen met 0,100 (mmol mL<sup>-1</sup>) 1
- berekening van de molaire massa's die uit de titraties van experiment 2 volgen: 28,0 (mg) respectievelijk 34,4 (mg) delen door de berekende aantallen mmol loog 1
- berekening van de (gemiddelde) molecuulmassa 1
- berekening van het aantal mmol stof X dat in experiment 3 is verbrand: 4,890 (mg) delen door de berekende massa van een mmol van stof X 1
- berekening van het ontstane aantal mmol CO<sub>2</sub> en H<sub>2</sub>O: 11,775 (mg) delen door de molaire massa van CO<sub>2</sub> (bijvoorbeeld via Binas-tabel 98: 44,01 mg mmol<sup>-1</sup>) respectievelijk 2,130 (mg) delen door de molaire massa van H<sub>2</sub>O (bijvoorbeeld via Binas-tabel 98: 18,02 mg mmol<sup>-1</sup>) 1
- berekening van het aantal mmol C en het aantal mmol H in de verbrande hoeveelheid van stof X: is gelijk aan het ontstane aantal mmol CO<sub>2</sub> respectievelijk het ontstane aantal mmol H<sub>2</sub>O vermenigvuldigd met 2 1
- berekening van het aantal C atomen en H atomen per molecuul van stof X (is gelijk aan het aantal mmol C en mmol H per mmol van stof X): aantal mmol C respectievelijk het aantal mmol H in de verbrande hoeveelheid van stof X delen door het berekende aantal mmol van stof X dat is verbrand 1
- berekening van het aantal O atomen per molecuul van stof X: de berekende molecuulmassa van stof X verminderen met het aantal C atomen vermenigvuldigd met de atoommassa van koolstof (bijvoorbeeld via Binas-tabel 99: 12,01 u) en met het aantal H atomen vermenigvuldigd met de atoommassa van waterstof (bijvoorbeeld via Binas-tabel 99: 1,008 u) en het verschil delen door de atoommassa van zuurstof (bijvoorbeeld via Binas-tabel 99: 16,00 u) 1
- Indien in een overigens juist antwoord slechts één titratie is doorgerekend 6



□19 Maximumscore 7

Een juist antwoord kan er als volgt uitzien:



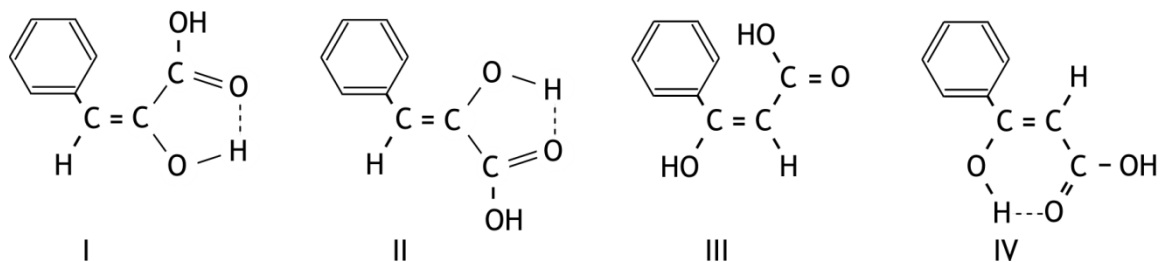
- een benzeenring in alle structuurformules 1
- een zijketen met drie koolstofatomen in alle structuurformules 1
- een carboxylgroep in de zijketens 1
- de enolgroepen in de zijketens juist weergegeven 1
- stereo-isomerie juist weergegeven 1
- de ketovorm bij structuurformules I en II juist weergegeven 1
- de ketovorm bij structuurformules III en IV juist weergegeven 1

Indien in een overigens juist antwoord vier ketovormen zijn getekend, die twee aan twee identiek zijn 6

□20 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

In de structuren van I, II en IV wordt de enolvorm gestabiliseerd door de vorming van een intramoleculaire waterstofbrug. In structuur III kan zo'n waterstofbrug niet worden gevormd omdat de enolische OH groep en de carboxylgroep *trans* ten opzichte van elkaar zitten, dus te ver van elkaar:



- notie dat intramoleculaire waterstofbruggen kunnen worden gevormd 1
- structuurformules getekend waarin die waterstofbruggen voorkomen 1
- uitleg waarom in structuur III geen intramoleculaire waterstofbrug kan worden gevormd 1

*Opmerking*

*Wanneer in één of meer structuren de intramoleculaire waterstofbrug is getekend tussen de H van de enolische OH groep en de O van de OH van de carboxylgroep, dit goed rekenen.*

- 21 Maximumscore 2  
 Een voorbeeld van een juist antwoord is:  
 Følling mengde wat synthetisch gemaakt stof X met wat van de stof die hij uit de urine had geïsoleerd en vergeleek het smeltpunt van het mengsel met het smeltpunt van de stof die hij uit de urine had geïsoleerd. (Het smeltpunt van het mengsel bleek hetzelfde te zijn als het smeltpunt van de stof die hij uit de urine had geïsoleerd.)
- een mengsel maken van (gelijke hoeveelheden) synthetisch gemaakt stof X en de stof die hij uit de urine had geïsoleerd 1
  - de smeltpunten vergelijken van het mengsel en de stof die hij uit de urine had geïsoleerd 1

## ■ Opgave 5 Hydro-Sulfan 24-15 (26 punten)

- 22 Maximumscore 3  
 Component X is water. De kunstmest bevat zouten, die hygroscopisch zijn. Daarom kan het gehalte aan component X in de loop van de tijd toenemen.
- X is water 1
  - de kunstmest bevat zouten 1
  - zouten zijn hygroscopisch (waardoor het gehalte aan component X in de loop van de tijd kan toenemen) 1
- Opmerking*  
 Wanneer een antwoord is gegeven als: „X is water, want er zit calciumsulfaat in en dat is hygroscopisch.”, dit goed rekenen.
- 23 Maximumscore 4  

$$\text{NO}_3^- + 6 \text{H}_2\text{O} + 8 \text{e}^- \rightarrow \text{NH}_3 + 9 \text{OH}^-$$
- $\text{NO}_3^-$  en  $\text{H}_2\text{O}$  voor de pijl 1
  - $\text{e}^-$  voor de pijl 1
  - $\text{NH}_3$  en  $\text{OH}^-$  na de pijl 1
  - juiste coëfficiënten 1
- Indien de vergelijking  $\text{NO}_3^- + 9 \text{H}^+ + 8 \text{e}^- \rightarrow \text{NH}_3 + 3 \text{H}_2\text{O}$  is gegeven 2
- 24 Maximumscore 2  
 Een voorbeeld van een juist antwoord is:  
 Dit is een voorbeeld van een terugtitratie. Daarbij moet de hoeveelheid zuur nauwkeurig bekend zijn.
- notie dat methode I op een terugtitratie berust 1
  - conclusie 1
- 25 Maximumscore 2  
 Een voorbeeld van een juist antwoord is:  
 De hoeveelheid  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  die wordt getitreerd is gelijk aan de hoeveelheid  $\text{NH}_3$  die met boorzuur heeft gereageerd. Dan hoeft de hoeveelheid boorzuur niet nauwkeurig bekend te zijn (als het maar een overmaat is).
- notie dat de hoeveelheid  $\text{H}_2\text{BO}_3^-$  die wordt getitreerd gelijk is aan de hoeveelheid  $\text{NH}_3$  die met boorzuur heeft gereageerd 1
  - conclusie 1

□26 Maximumscore 4

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

In methode I blijft  $\text{NH}_4^+$  in de oplossing achter. Om te verhinderen dat dit met de natronloog reageert, mag de pH niet te hoog worden. Je moet dus een indicator kiezen met een omslagtraject in het zure gebied, bijvoorbeeld methylrood.

In methode II is de titratie die van een zwakke base met een sterk zuur. Dan ligt het equivalentiepunt in het zure gebied. Dus ook hier kan methylrood als indicator worden gekozen.

- notie dat in methode I de achtergebleven  $\text{NH}_4^+$  niet mag reageren 1
- dus (bijvoorbeeld) methylrood 1
- notie dat in methode II een zwakke base met een sterk zuur wordt getitreerd 1
- dus (bijvoorbeeld) methylrood 1

□27 Maximumscore 2

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Ammonium-N bepaal je op dezelfde manier als is beschreven voor de bepaling van totaal-N, maar dan zonder toevoeging van de legering.

Nitraat-N bepaal je door de ammonium-N af te trekken van de totaal-N.

- de bepaling van ammonium-N juist beschreven 2
- de bepaling van nitraat-N juist beschreven 1

Indien een antwoord is gegeven als: „Je moet de ammonium-N bepalen. Als je die aftrekt van de totaal-N heb je de nitraat-N.”

2

□28 Maximumscore 8

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

Het massapercentage calciet is gelijk aan het aantal mol calciumcarbonaat per 100 g kunstmest vermenigvuldigd met de molaire massa van calciumcarbonaat:  $n(\text{CaCO}_3) \times 100,1$ , dus  $n(\text{Ca}^{2+})_{\text{calc}} \times 100,1$ .

Per 100 g kunstmest is het totale aantal mol  $\text{Ca}^{2+}$ :

$$n(\text{Ca}^{2+})_{\text{tot}} = n(\text{Ca}^{2+})_{\text{dol}} + n(\text{Ca}^{2+})_{\text{calc}} + n(\text{Ca}^{2+})_{\text{anh}}, \text{ dus } n(\text{Ca}^{2+})_{\text{calc}} = n(\text{Ca}^{2+})_{\text{tot}} - n(\text{Ca}^{2+})_{\text{dol}} - n(\text{Ca}^{2+})_{\text{anh}}$$

$$n(\text{Ca}^{2+})_{\text{tot}} = \frac{8,30}{40,08}$$

$$n(\text{Ca}^{2+})_{\text{dol}} = n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{0,62}{24,31}$$

$$n(\text{Ca}^{2+})_{\text{anh}} = n(\text{SO}_3)_{\text{anh}} = n(\text{SO}_3)_{\text{tot}} - n(\text{SO}_3)_{\text{aluminiumsulfaat}} = n(\text{SO}_3)_{\text{tot}} - \frac{3}{2} \times n(\text{Al}) = \frac{15,0}{80,06} - \frac{3}{2} \times \frac{0,14}{26,98}$$

$$\text{Dus: } n(\text{Ca}^{2+})_{\text{calc}} = \frac{8,30}{40,08} - \frac{0,62}{24,31} - \left( \frac{15,0}{80,06} - \frac{3}{2} \times \frac{0,14}{26,98} \right)$$

$$\text{en het massapercentage calciet} = \left\{ \frac{8,30}{40,08} - \frac{0,62}{24,31} - \left( \frac{15,0}{80,06} - \frac{3}{2} \times \frac{0,14}{26,98} \right) \right\} 100,1 = 0,20 (\%).$$

- $n(\text{Ca}^{2+})_{\text{calc}} = n(\text{Ca}^{2+})_{\text{tot}} - n(\text{Ca}^{2+})_{\text{dol}} - n(\text{Ca}^{2+})_{\text{anh}}$  1
- $n(\text{Ca}^{2+})_{\text{tot}} = \frac{8,30}{40,08}$  1
- $n(\text{Ca}^{2+})_{\text{dol}} = n(\text{Mg}^{2+}) = \frac{0,62}{24,31}$  1
- $n(\text{Ca}^{2+})_{\text{anh}} = n(\text{SO}_3)_{\text{anh}}$  1
- $n(\text{SO}_3)_{\text{anh}} = n(\text{SO}_3)_{\text{tot}} - n(\text{SO}_3)_{\text{aluminiumsulfaat}}$  1
- $n(\text{SO}_3)_{\text{aluminiumsulfaat}} = \frac{3}{2} \times n(\text{Al}) = \frac{3}{2} \times \frac{0,14}{26,98}$  1
- $n(\text{SO}_3)_{\text{tot}} = \frac{15,0}{80,06}$  1
- rest berekening 1

## Opgave 6 Salpeterzuurproductie

(25 punten)

□29 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

$$\Delta_r H = -\Delta_f H(\text{NO}) + \Delta_f H(\text{NO}_2) = -0,904 \cdot 10^5 + 0,339 \cdot 10^5 = -0,565 \cdot 10^5 \text{ (J mol}^{-1}\text{)}.$$

De reactie naar rechts is dus exotherm, dan verschuift bij afkoeling de ligging van het evenwicht naar rechts.

- berekening van de enthalpieverandering van de reactie naar rechts: de vormingsenthalpie van NO aftrekken van de vormingsenthalpie van NO<sub>2</sub> 2
- de verschuiving van de evenwichtsligging juist uitgelegd 1

Indien in een overigens juist antwoord de enthalpieverandering van de reactie naar rechts is berekend als  $-1,130 \cdot 10^5 \text{ (J mol}^{-1}\text{)}$  2

□30 Maximumscore 3

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

In de stofstroom van reactor II naar reactor III moet O<sub>2</sub> worden opgenomen, evenals in de recirculatiestroom van reactor III naar reactor II.

- O<sub>2</sub> ontbreekt 1
- O<sub>2</sub> moet in de stofstroom van reactor II naar reactor III worden opgenomen 1
- O<sub>2</sub> moet ook in de recirculatiestroom van reactor III naar reactor II worden opgenomen 1

Indien een antwoord is gegeven als: „Tussen reactor II en reactor III moet nog O<sub>2</sub> staan.” 2

*Opmerking*

*Ook een antwoord als: „In de HNO<sub>3</sub> stofstroom uit reactor III ontbreekt water.” goed rekenen.*

□31 Maximumscore 2

Een voorbeeld van een juist antwoord is:

Als je lucht zou gebruiken, zou de stikstof zich in het proces ophopen, want in het blokschema wordt die niet verwijderd.

- de stikstof die in de lucht zit, wordt niet verwijderd 1
- dus dat hoopt zich in het proces op 1

□32 Maximumscore 5

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

$$1,00 \text{ ton } 60\% \text{ salpeterzuuroplossing bevat } \frac{60(\%)}{10^2(\%)} \times 1,00 \text{ ton HNO}_3 \text{ en}$$

$$\frac{100(\%) - 60(\%)}{10^2(\%)} \times 1,00 \text{ ton H}_2\text{O}.$$

De totaalvergelijking van de vorming van HNO<sub>3</sub> is:  $\text{NH}_3 + 2 \text{O}_2 \rightarrow \text{HNO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

$$\text{In het proces wordt dus } \frac{\frac{60(\%)}{10^2(\%)} \times 1,00 \text{ (ton)}}{63,01 \text{ (ton Mmol}^{-1}\text{)}} \text{ Mmol HNO}_3 \text{ gevormd en evenveel Mmol H}_2\text{O};$$

$$\text{dat is } \frac{\frac{60(\%)}{10^2(\%)} \times 1,00 \text{ (ton)}}{63,01 \text{ (ton Mmol}^{-1}\text{)}} \times 18,02 \text{ (ton Mmol}^{-1}\text{)} \text{ ton H}_2\text{O}.$$

In de absorptietoren moet dus nog worden toegevoerd:

$$\frac{100(\%) - 60(\%)}{10^2(\%)} \times 1,00 \text{ (ton)} - \frac{\frac{60(\%)}{10^2(\%)} \times 1,00 \text{ (ton)}}{63,01 \text{ (ton Mmol}^{-1}\text{)}} \times 18,02 \text{ (ton Mmol}^{-1}\text{)} = 0,23 \text{ (ton H}_2\text{O)}.$$

- berekening van het aantal ton HNO<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>O in 1,00 ton 60% salpeterzuuroplossing: 60(%) delen door 10<sup>2</sup>(%) en vermenigvuldigen met 1,00 (ton) respectievelijk {100(%) – 60(%)}  
delen door 10<sup>2</sup>(%) en vermenigvuldigen met 1,00 (ton) 1
- berekening van het aantal Mmol HNO<sub>3</sub> in 1,00 ton 60% salpeterzuuroplossing: het berekende aantal ton HNO<sub>3</sub> delen door de molaire massa van HNO<sub>3</sub> (bijvoorbeeld via Binas-tabel 98: 63,01 ton Mmol<sup>-1</sup>) 1
- berekening van het aantal Mmol H<sub>2</sub>O dat in het proces wordt gevormd: is gelijk aan het aantal Mmol HNO<sub>3</sub> in 1,00 ton 60% salpeterzuuroplossing 1
- omrekening van het aantal Mmol H<sub>2</sub>O dat in het proces wordt gevormd naar het aantal ton H<sub>2</sub>O dat in het proces wordt gevormd: vermenigvuldigen met de molaire massa van H<sub>2</sub>O (bijvoorbeeld via Binas-tabel 98: 18,02 ton Mmol<sup>-1</sup>) 1
- rest van de berekening: het berekende aantal ton H<sub>2</sub>O dat in het proces wordt gevormd, aftrekken van het berekende aantal ton H<sub>2</sub>O in 1,00 ton 60% salpeterzuuroplossing 1

□33 Maximumscore 12

Een voorbeeld van een juiste berekening is:

Er gaat per uur  $\frac{50,00 \text{ (kg)}}{17,03 \text{ (kg kmol}^{-1}\text{)}} = 2,936 \text{ kmol NH}_3$  de denoxreactor in en er komt per uur

$$\frac{1,0 \text{ (ppm)}}{10^6 \text{ (ppm)}} \times 2,00 \cdot 10^5 \text{ (m}^3\text{)} \\ \frac{22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}}{22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}} = 0,0089 \text{ kmol NH}_3 \text{ uit,}$$

dus er reageert per uur  $2,936 - 0,0089 = 2,927 \text{ kmol NH}_3$ .

Stel dat per uur  $y \text{ kmol NO}_x$  de denoxreactor ingaat, dat is

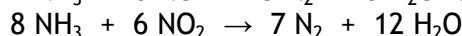
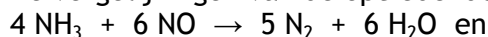
$$\frac{60(\%)}{10^2(\%)} \times y \text{ (kmol)} = 0,60y \text{ kmol NO}_2 \text{ en } \frac{100(\%) - 60(\%)}{10^2(\%)} \times y \text{ (kmol)} = 0,40y \text{ kmol NO.}$$

Per uur verlaat de denoxreactor  $\frac{20,0 \text{ (ppm)}}{10^6 \text{ (ppm)}} \times 2,00 \cdot 10^5 \text{ (m}^3\text{)} \\ \frac{22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}}{22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}} = 0,179 \text{ kmol NO}_2$  en

$$\frac{10,0 \text{ (ppm)}}{10^6 \text{ (ppm)}} \times 2,00 \cdot 10^5 \text{ (m}^3\text{)} \\ \frac{22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}}{22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}} = 0,0893 \text{ kmol NO.}$$

Dus reageert per uur  $0,60y - 0,179 \text{ kmol NO}_2$  en  $0,40y - 0,0893 \text{ kmol NO}$ .

De vergelijkingen van de optredende reacties zijn:



Dus  $0,60y - 0,179 \text{ kmol NO}_2$  reageert met  $\frac{4}{3} \times (0,60y - 0,179) \text{ kmol NH}_3$  en

$0,40y - 0,0893 \text{ kmol NO}$  reageert met  $\frac{2}{3} \times (0,40y - 0,0893) \text{ kmol NH}_3$ .

$$\text{Dus } \frac{4}{3} \times (0,60y - 0,179) + \frac{2}{3} \times (0,40y - 0,0893) = 2,927.$$

Dit levert  $y = 3,0$ . Per uur gaat dus  $3,0 \times 22,4 \text{ m}^3 \text{ NO}_x$  de reactor in.

Dus bevatte het afgang  $\frac{3,0 \text{ (kmol)} \times 22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}}{2,00 \cdot 10^5 \text{ (m}^3\text{)}} \times 10^6 \text{ (ppm)}$  volume-ppm NO<sub>x</sub>.

Dat is  $\frac{60(\%)}{10^2(\%)} \times \frac{3,0 \text{ (kmol)} \times 22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}}{2,00 \cdot 10^5 \text{ (m}^3\text{)}} \times 10^6 \text{ (ppm)} = 2,0 \cdot 10^2$  volume-ppm NO<sub>2</sub> en

$$\frac{100(\%) - 60(\%)}{10^2(\%)} \times \frac{3,0 \text{ (kmol)} \times 22,4 \text{ (m}^3 \text{ kmol}^{-1}\text{)}}{2,00 \cdot 10^5 \text{ (m}^3\text{)}} \times 10^6 \text{ (ppm)} = 1,3 \cdot 10^2 \text{ volume-ppm NO.}$$

- berekening van het aantal kmol NH<sub>3</sub> dat per uur de reactor ingaat: 50,00 (kg) delen door de molaire massa van NH<sub>3</sub> (bijvoorbeeld via Binas-tabel 98: 17,03 kg kmol<sup>-1</sup>) 1
- berekening van het aantal m<sup>3</sup> NH<sub>3</sub>, het aantal m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> en het aantal m<sup>3</sup> NO dat per uur de reactor verlaat: 1,0 (ppm) respectievelijk 20,0 (ppm) en 10,0 (ppm) delen door 10<sup>6</sup> (ppm) en vermenigvuldigen met 2,00·10<sup>5</sup> (m<sup>3</sup> uur<sup>-1</sup>) 1
- berekening van het aantal kmol NH<sub>3</sub>, het aantal kmol NO<sub>2</sub> en het aantal kmol NO dat per uur de reactor verlaat: de berekende aantallen m<sup>3</sup> NH<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub> en NO delen door V<sub>m</sub> (is gelijk aan 22,4 m<sup>3</sup> kmol<sup>-1</sup>) 1
- berekening van het aantal kmol NH<sub>3</sub> dat per uur reageert: het berekende aantal kmol NH<sub>3</sub> dat per uur de reactor uitgaat, aftrekken van het berekende aantal kmol NH<sub>3</sub> dat per uur de reactor ingaat 1
- (bij stellen dat per uur y kmol NO<sub>x</sub> de reactor ingaat) berekening van het aantal kmol NO<sub>2</sub> en NO dat per uur de reactor ingaat: 60(%) delen door 10<sup>2</sup>(%) en vermenigvuldigen met 2,00·10<sup>5</sup> (m<sup>3</sup> uur<sup>-1</sup>) respectievelijk {100(%) – 60(%) } delen door 10<sup>2</sup>(%) en vermenigvuldigen met 2,00·10<sup>5</sup> (m<sup>3</sup> uur<sup>-1</sup>) 1
- berekening van het aantal kmol NO<sub>2</sub> en het aantal kmol NO dat per uur reageert: het berekende aantal kmol NO<sub>2</sub> dat de reactor per uur verlaat, aftrekken van het berekende aantal kmol NO<sub>2</sub> dat de reactor per uur ingaat respectievelijk het berekende aantal kmol NO dat de reactor per uur verlaat, aftrekken van het berekende aantal kmol NO dat de reactor per uur ingaat 1
- berekening van het aantal kmol NH<sub>3</sub> dat per uur met NO<sub>2</sub> reageert: het berekende aantal kmol NO<sub>2</sub> dat per uur reageert, vermenigvuldigen met  $\frac{4}{3}$  1
- berekening van het aantal kmol NH<sub>3</sub> dat per uur met NO reageert: het berekende aantal kmol NO dat per uur reageert, vermenigvuldigen met  $\frac{2}{3}$  1
- berekening van het aantal kmol NO<sub>x</sub> dat per uur reageert: y oplossen uit de vergelijking die wordt verkregen als de som van de uitkomsten van de vorige twee bolletjes wordt gelijkgesteld aan de uitkomst van het vierde bolletje 1
- berekening van het aantal m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> dat per uur de reactor ingaat: de verkregen waarde van y vermenigvuldigen V<sub>m</sub> (is gelijk aan 22,4 m<sup>3</sup> kmol<sup>-1</sup>) 1
- berekening van het aantal volume-ppm NO<sub>x</sub> in het afgas: het aantal m<sup>3</sup> NO<sub>x</sub> dat per uur de reactor ingaat, delen door 2,00·10<sup>5</sup> (m<sup>3</sup> uur<sup>-1</sup>) en vermenigvuldigen met 10<sup>6</sup> (ppm) 1
- berekening van het aantal volume-ppm NO<sub>2</sub> en het aantal volume-ppm NO in het afgas: het berekende aantal volume-ppm NO<sub>x</sub> in het afgas vermenigvuldigen met 60(%) en delen door 10<sup>2</sup>(%) respectievelijk het berekende aantal volume-ppm NO<sub>x</sub> in het afgas vermenigvuldigen met {100(%) – 60(%) } en delen door 10<sup>2</sup>(%) 1