

Stikstofoxiden (NO<sub>x</sub>) worden voornamelijk uitgestoten door motorvoertuigen en zijn een belangrijke veroorzaker van luchtvervuiling en zure regen. Vooral het roodbruine NO<sub>2</sub> is giftig en een belangrijke veroorzaker van smog. In Makati, een grote stad in de Filipijnen, is een groot project van start gegaan om de NO<sub>x</sub>-uitstoot te verminderen. Het gemeten gemiddelde volumepercentage NO<sub>2</sub> op de plek van het project (metrostation Guadalupe) was in 2009 meer dan  $9,6 \cdot 10^{-6} \%$ .

- 3p 7 Laat met een berekening zien of het gemeten gemiddelde volumepercentage NO<sub>2</sub> hoger of lager was dan de grenswaarde van NO<sub>2</sub> (TGG 8 uur). ( $T = 298 \text{ K}$ ,  $p = p_0$ )

In Makati verfde men het drukke metrostation Guadalupe met een speciaal soort verf: de zogeheten KNO<sub>x</sub>OUT™-verf van de Filipijnse firma Boysen. Deze verf zorgde ervoor dat de NO<sub>x</sub>-concentratie drastisch daalde. Dit succes is te danken aan de katalysator TiO<sub>2</sub> die in de verf verwerkt is. TiO<sub>2</sub> zet water- en zuurstofmoleculen onder invloed van uv-straling om volgens reactie 1.



- 2p 8 Leg mede aan de hand van de formules van de betrokken deeltjes uit of deze omzetting van water en zuurstof kan worden opgevat als een redoxreactie of als een zuur-basereactie.

De gevormde deeltjes reageren met  $\text{NO}_x$  tot salpeterzuur. Hierbij wordt uit elk deeltje  $\text{NO}_x$  één deeltje salpeterzuur gevormd.

Het gevormde salpeterzuur wordt vervolgens door het in de verf aanwezige calciumcarbonaat ( $\text{CaCO}_3$ ) volledig geneutraliseerd. De stoffen die bij deze reactie ontstaan, spoelen tijdens een regenbui weg. Als het gevormde salpeterzuur volledig wordt geneutraliseerd door calciumcarbonaat ontstaan  $\text{CO}_2$  en opgelost calciumnitraat.

- 3p 9 Geef de vergelijking van de reactie van calciumcarbonaat met opgelost salpeterzuur waarbij onder andere  $\text{CO}_2$  en opgelost calciumnitraat ontstaan.

In het experiment in Makati werd in totaal  $4100 \text{ m}^2$  muur geverfd. Gemiddeld zette de verf per  $\text{m}^2$  muur  $0,26 \text{ gram}$  aan  $\text{NO}_x$  per dag om tot salpeterzuur. Er is gepland om de muur elke vijf jaar opnieuw te verven.

- 4p 10 Leg uit, met behulp van een berekening van de benodigde massa aan calciumcarbonaat per  $\text{m}^2$  muur, of de verf gedurende vijf jaar het ontstane salpeterzuur kan neutraliseren.

Maak onder andere gebruik van de volgende gegevens:

- per  $\text{m}^2$  muur is  $0,40 \text{ L}$  verf nodig;
- de dichtheid van de verf bedraagt  $1,52 \text{ kg L}^{-1}$ ;
- de gemiddelde molaire massa van  $\text{NO}_x$  is  $30,8 \text{ g mol}^{-1}$ .