

# SMOG

## Dodelijke deken

In Europa behoort zware smog, die in steden als Beijing zorgt voor enorme gezondheidsschade, tot het verleden dankzij centrale verwarming en schoorsteenfilters. Toch stijgen in Zuid-Nederland en Vlaanderen de concentraties fijnstof, ozon en stikstofdioxiden nog regelmatig boven de norm. Smog in Nederland is vaak zomersmog. Op zonnige, windstille dagen werkt zonlicht in op luchtvervuiling, waarbij ozon ontstaat dat de longen prikkelt. Dankzij een uitgebreid meetnet kan iedereen via internet of apps zien of de lucht in de omgeving schoon is. In Eindhoven en Amsterdam zelfs op wijkniveau.

Schonere lucht is het eenvoudigst te realiseren door uitstoot te voorkomen. Via isolatie en energiebesparing, door

gebruik van wind- en zonne-energie, maar ook door elektrisch te rijden. En als dat nog niet haalbaar is, kunnen filters en katalysators uitstoot reduceren. Je vindt ze niet alleen op uitlaten, maar ook op stallen: in Nederland is de landbouw een belangrijke bron van fijnstof en ammoniak.

### In deze Chemische Feitelijkerheid

- De Context: Ooit waren kolenkachels en industrie de boosdoeners. Nu zijn het auto's, vee en energiecentrales.
- De Basis: Smog bestaat uit fijnstof, stikstofoxiden, ozon en andere stoffen; een ongezonde mix.
- De Diepte: De strijd tegen smog: elektrische auto's, gaswassers, filters en katalysatoren.

Kolen- en houtkachels zijn **wereldwijd** nog steeds de grootste oorzaak van smog. Maar in Europa vervuilen de landbouw, het verkeer en de industrie de lucht.

# Ongezonde lucht

**S**mog is een samentrekking van de Engelse woorden *smoke* (rook) en *fog* (mist). Begin 1900 dook de term voor het eerst op. In de wintermaanden ontstond in grote steden regelmatig een dikke, grauwe mist doordat rook van steenkolenkachels mengde met mist. Berucht is de *great Londen smog* van december 1952: vier dagen lang was de grauwe mist in de Engelse hoofdstad zo dicht dat het zicht soms beperkt was tot een paar meter. De luchtvervuiling leidde tot verergering van long- en hartproblemen en uiteindelijk tot meer dan 10.000 extra sterfgevallen. Maar ook de zwaar geïndustrialiseerde Maasvallei nabij Luik was berucht vanwege luchtvervuiling.

Wintersmog is een zeldzaam fenomeen geworden in Europa, maar de term smog hoor je nog vaak, nu om ernstige luchtvervuiling aan te duiden. In snel ontwikkelende economieën zoals China en India is smog een groot probleem. Iedereen kent de beelden van Beijing of Delhi onder een dikke, grijze deken. Maar ook steden in Iran, Mongolië, Pakistan en Saoedi-Arabië staan in de top tien van plaatsen met de vuilste lucht. Een groep internationale wetenschappers becijferde in 2015 dat door vervuilde buitenlucht jaarlijks 3,3 miljoen mensen vroegtijdig sterven. De meeste doden vallen in China (1,36 miljoen) en India (645.000).

In de Aziatische landen vormen kachels



Smog in China boven de Verboden Stad.

en kooktoestellen op hout of kolen een belangrijke bron van smog. Daarnaast zijn steenkolen centrales en het toenemende wegverkeer boosdoeners. Open hout- en kolenvuren veroorzaken bovendien ook nog eens een vergelijkbaar aantal extra doden door vervuilde lucht binnenhuis. Een terugkerende smogbron in Azië zijn de bosbranden in Indonesië, vooral op Sumatra en Borneo. Veel bos wordt illegaal in brand gestoken om plaats te maken voor palmolieplantages en regelmatig lopen die branden uit de hand. Buurlanden als Singapore, Maleisië en Thailand hebben er eveneens veel last van en eisen actie van Indonesië.

In Europa neemt smog al jarenlang af, maar ook hier speelt gezondheidsschade

een rol. Vuile lucht kost een gemiddelde Nederlander iets minder dan één levensjaar. In Zuidoost-Europa komt smog het meest voor, maar in Noordwest-Europa zijn het juist Nederlanders, Vlamingen en mensen in het Ruhrgebied die de slechtste lucht inademen. Een belangrijke oorzaak is verrassend genoeg de landbouw en intensieve veeteelt, daarnaast het verkeer, de industrie en energieopwekking. Lokaal kan het verkeer de belangrijkste bron zijn voor smog. Dat geldt langs snelwegen bij drukke knooppunten in de stad. In 2013 telde Nederland zo'n 200 km aan wegen waar de normen voor stikstofoxiden zijn overschreden. In een grote stad als Eindhoven blijken vuurwerk in nieuwjaarsnacht en een zomerse barbecueavond de grootste smogpieken te veroorzaken.

## STOF EN ROOK

**O**f er officieel sprake is van smog hangt af van de concentraties van verschillende componenten: fijnstof, stikstofoxiden, zwaveloxiden en ozon (zie tabel). Fijnstof zijn alle rondzwevende deeltjes kleiner dan 10 µm, ongeveer een vijfde van een haardikte. De mens is verantwoordelijk voor iets meer dan driekwart van het fijnstof in Nederland.

## KLACHTEN BIJ SMOG

- pijn bij het ademen, hoest
- benauwdheid, kortademigheid, astma-aanvallen
- misselijkheid, duizeligheid
- verminderd uithoudingsvermogen
- prikkende ogen

## DREMPELS

(microgram/m <sup>3</sup> )	Ozon	Fijnstof (PM10)	Stikstofoxide	Zwaveldioxide
Geringe smog	<180	<50	<200	<350
Matige smog	180-240	50-200	200-400	350-500
Ernstige smog, alarm	>240	>200	>400	>500

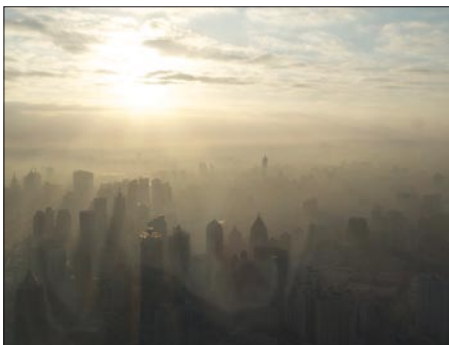
## NIEUWJAARSMOG



Vuurwerk veroorzaakt vaak een piek in fijnstof. In een windstille, vochtige nieuwjaarsnacht, kan echte smog ontstaan. Het stof van uiteenknallende pijlen en klappers zorgt dan voor mistvorming. 2015 begon met zo'n smogpiek in de grote steden. De allerhoogste fijnstofwaarde werd om 1.00 uur gemeld via het landelijk meetnetwerk van RIVM. In de Zuid-Utrechtse Constant Erzeijstraat hing 1.713 microgram fijnstof per kuub, dat is bijna 35 maal hoger dan de Europese norm. In de tweede helft van de ochtend liepen de waarden in het hele land weer terug naar normaal. |

Stikstofoxides (NO<sub>x</sub>) zitten in uitlaatgasen van auto's, de uitstoot van energiecentrales, maar ook kleinere apparaten zoals bladblazers, brommers of de barbecue zijn een bron. De uitstoot van NO<sub>x</sub> per auto is de afgelopen decennia fors verminderd dankzij katalysatoren (zie ook Diepte). Uit de uitlaat van een oldtimer komt tot honderd keer meer stikstofdioxide dan uit die van een moderne auto (zelfs als die met software is aangepast om schoner te lijken; zie het schandaal rond Volkswagen). Zwaveldioxiden (SO<sub>2</sub>) komen vooral vrij bij de verbranding van steenkolen. Door maatregelen zoals gebruik van ontzwavelde benzine en speciale luchtwassers op kolencentrales is die uitstoot sterk gedaald.

NO<sub>x</sub> en SO<sub>x</sub> zijn de grootste veroorzakers van zogenoemde zure regen die de bodem en het oppervlaktewater in Nederland verzuren. Maar ook een hoge



Naast Beijing is in China ook Shanghai vaak gehuld in smog.

concentratie ozon kan reden zijn voor een smogalarm. Dit gas ontstaat in de buitenlucht wanneer de zon inwerkt op koolwaterstoffen en NO<sub>x</sub>. Andere veelvoorkomende vervuilende componenten zijn ammoniak (vooral uit de landbouw), vluchtige organische stoffen (met name industrieel) en zware metalen (bijvoorbeeld kwikuitstoot uit kolencentrales).

Nederland en Vlaanderen kennen een nationaal netwerk van meetpunten dat de luchtkwaliteit controleert. Het Nederlandse Landelijk Meetnet Luchtkwaliteit bestaat uit circa zestig meetstations verdeeld over verschillende locaties (stad, platteland en in industriezones). Het overgrote deel van de metingen vindt automatisch plaats; de resultaten zijn direct beschikbaar via app's, teletekst en internet. Metingen van zware metalen, polycyclische aromatische koolwaterstoffen (PAK's) of fijnstofsamenstelling gaan niet automatisch. De Vlaamse tegenhanger van het LML is het meetwerk van de Vlaamse Milieumaatschappij (VMM). Naast de nationale meetnetwerken, zijn er steeds meer lokale en regionale meetnetwerken. De regio Rijnmond heeft er een en ook de stad Eindhoven heeft dankzij een burgerinitiatief sinds 2014 een monitoringsysteem.

Landen hanteren verschillende drempels om een smogalarm te geven. België neemt maatregelen wanneer het meer dan 70 µg fijnstof per m<sup>3</sup> meet. Voor auto's geldt dan een snelheidsbeperking rond grote steden. Nederland alarmeert

## SPORT EN SMOG

De Olympische Spelen van 2008 vonden plaats in Beijing, de hoofdstad van China. De autoriteiten namen een reeks maatregelen om de dagelijkse smog te verminderen: fabrieken bleven dicht, diesels mochten niet rijden en 'schone' auto's alleen om de dag. Toch zegde de bekende marathonloper Haile Gebrselassie bij voorbaat af. Hij is astmapatiënt en vreesde, terecht, voor benauwdheid. Maar wie gezond is en buiten wil sporten met smog, hoeft dat niet te laten. Al is het verstandig dan 's ochtends of laat op de avond te sporten. Smog is zomers namelijk op de top aan het eind van de middag. Mensen met gevoelige luchtwegen wordt afgeraden te sporten in ernstige smog, want fijnstof dringt diep de longen in en kan klachten verergeren. |

pas bij een concentratie van 200 µg per m<sup>3</sup>, maar overweegt die grenswaarde te verlagen. Er is geen sprake van verkeersmaatregelen.

## NORMEN

In het verleden zijn al effectieve maatregelen genomen tegen smog. Zo zijn alle nieuwe energiecentrales nu voorzien van luchtwassers, benzineauto's van katalysatoren en dieselauto's van roetfilters. En steeds meer (pluim)veehouders hebben emissiearme stallen die de uitstoot inperken. Toch is het op veel plekken lastig om het hele jaar te voldoen aan de Europese normen. Die normen zijn volgens de Wereldgezondheidsorganisatie niet streng genoeg. Zij wil bijvoorbeeld een fijnstofnorm die 2,5 keer lager ligt en stelt dat er in feite geen veilige norm is. Dat wil zeggen dat er ook onder de normwaarde gezondheidsschade optreedt. |

## SPORT EN SMOG



Smogmaskers zijn populair in Zuidoost-Azië. Helpen ze? Eenvoudige en goedkope maskers houden het fijnstof niet tegen. Een zogeheten P3-masker wel. Mits het goed past, dat wil zeggen neus en mond volledig afsluit.

Een landelijk meetnet controleert continu de **luchtkwaliteit** in Nederland. Wanneer de hoeveelheid fijnstof, stikstofoxiden of ozon de norm overschrijdt, klinkt het smogalarm.

# Alarm

## om fijnstof, ozon en NOx

Hetaantal smogdagen in Nederland daalt gestaag. De afgelopen jaren is de norm aan fijnstof, ozon en/of stikstofoxiden op zo'n tien à twintig dagen overschreden. Fijnstof zijn alle deeltjes kleiner dan  $10\ \mu\text{m}$ . Die bestaan voor ongeveer de helft uit nitraten, sulfaten en andere anorganische en organische componenten die zich in de atmosfeer vormen. Een deel is roet van verkeer, energieopwekking en houtkachels. Een ander deel bestaat uit opwaaïend bodem- en straatstof, stof afkomstig van bouwactiviteiten en rondstuiwend zee-

zout. Overigens komt er meer fijnstof Nederland binnenwaaien dan het zelf produceert.

Lange tijd is fijnstof gemeten als  $\text{PM}_{10}$ : alle zwevende deeltjes in de lucht met een diameter kleiner dan  $10\ \mu\text{m}$ . Omdat je  $\text{PM}_{10}$  meet in  $\mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$  lucht, tellen de grotere deeltjes relatief zwaar mee. Het is echter steeds duidelijker dat juist het fijnste stof de meeste gezondheidsschade veroorzaakt, omdat dat het diepst de longen indringt. Daarom wordt tegenwoordig ook  $\text{PM}_{2,5}$  gemeten, de deeltjes kleiner dan  $2,5\ \mu\text{m}$ . Zeker 80 procent van  $\text{PM}_{2,5}$  zweven door de lucht door menselijk handelen. Ook klinkt steeds vaker de term 'ultrafijnstof': deeltjes kleiner dan  $0,1\ \mu\text{m}$ .  $\text{PM}_{0,1}$  druk je uit in aantallen deeltje per kuub, in plaats van gewicht. Rondom Schiphol ligt het  $\text{PM}_{0,1}$ -niveau gemiddeld twee- tot driemaal zo hoog als elders in Nederland.

Sinds 2015 is de Europese norm voor  $\text{PM}_{2,5}$   $25\ \mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$ ; in de VS is dat  $12\ \mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$ . De advieswaarde van de Wereldgezondheidsorganisatie is  $10\ \mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$ . In drukke straten in België en Nederland liggen de concentraties  $\text{PM}_{2,5}$  tussen 13 en  $30\ \mu\text{g}$  per  $\text{m}^3$ . Voor ultrafijnstof bestaan nog geen normen.

### ZOMERSMOG

Stikstofoxiden ontstaan doordat stikstof en zuurstof uit de lucht bij hoge temperaturen radicalen vormen die combineren tot stikstofoxiden:  $\text{NO}_x$  ( $\text{NO}_x$  staat voor de gasen  $\text{NO}$  en  $\text{NO}_2$ ). Dit gebeurt in motoren, kachels, energiecentrales, etc. Vooral langs drukke wegen kan  $\text{NO}_x$  uit uitlaatgassen zorgen voor



Voorals langsdrukke wegen kan  $\text{NO}_x$  uit uitlaatgassen zorgen voor smog.

### STIKSTOFOXIDEN



Flessen gevuld met stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ , links) en distikstoftetraoxide ( $\text{N}_2\text{O}_4$ , rechts). De lichtbruine kleur in de rechtse fles is afkomstig van een kleine hoeveelheid stikstofdioxide, hetgeen de dynamische evenwichtstoestand van de dimerisatie illustreert.

smog. De stikstofoxiden dragen bij aan verzuring, omdat met water salpeterzuur ( $\text{HNO}_3$ ) ontstaat.

Op zonnige dagen met weinig wind hopen uitlaatgassen zich op. De uv-straling is in het voorjaar en zomer sterk genoeg om radicalen vrij te maken uit zuurstof en waterdamp, zoals  $\text{O}^\bullet$ ,  $\text{HO}^\bullet$  en  $\text{HOO}^\bullet$ . In een complexe reeks reacties ontstaat uit die radicalen en  $\text{NO}_x$  ozon ( $\text{O}_3$ ).  $\text{NO}_x$  zorgt dus voor ozonvorming, maar toch kan op een zomerse dag de ozonconcentratie in stadscentra lager zijn dankzij het verkeer omdat aldaar gevormd  $\text{NO}$  ozon direct wegvangt, waarbij overigens weer  $\text{NO}_2$  ontstaat.

De combinatie van ozon en  $\text{NO}_x$  staat bekend als zomersmog of fotochemische smog. Omdat de gasen kunnen neerslaan als fijnstof dat licht verstrooit, is smog soms zichtbaar als grijze deken. Behalve ozon kan de zomersmog ook formaldehyde, nitraten en sulfaten bevatten.

In 2013 waren er drie dagen met matige ozonsmog, geen met ernstige smog. Maar

in de hete zomer van 2006 waren er meer dan twintig smogdagen, waarvan vijf met ernstige smog. De algemene trend is echter een daling, dankzij een langzame afname van NOx.

## ONTZWAVELEN

Vooraf roet en zwaveldioxide (SO<sub>2</sub>) zorgen voor de luchtverontreiniging waaraan smog zijn naam dankt. Dit gas komt vrij bij de verbranding van aardolie, steenkool, bruinkool en aardgas. In de jaren vijftig en zestig - op windstille, vochtige winterdagen wanneer alle kachels brandden - zorgden SO<sub>2</sub>, roet en mist voor een dikke grijze deken. Tijdens een smogepisode in 1962 in Rotterdam lag de daggemiddelde zwaveldioxideconcentratie op 1.500 µg per m<sup>3</sup>. Maar strenge normen deden de uitstoot snel dalen: het jaargemiddelde lag in 1980 op 200 µg, in 1980 op 50 µg, en na 2000 op minder dan 20 µg per m<sup>3</sup>. Sinds 1998 heeft Nederland de Europese norm (500) niet meer overtreden. Wintersmog is dus verleden tijd.

## VEE

Een belangrijke bijdrage aan luchtverontreiniging is nog niet genoemd: ammoniak. De uitwerpselen van dieren bevatten veel ureum (H<sub>2</sub>NCONH<sub>2</sub>). Dat is de manier om het element stikstof dat bij een eiwitrijk dieet in overmaat binnenkomt, weer kwijt te raken. Bodembacteriën zetten het ureum in stallen en in weilanden om in het gas ammoniak (NH<sub>3</sub>), dat zo in de lucht terecht komt. Daar reageert ammoniak met zwavel- en stikstofoxiden, waarbij zich ammoniumsulfaat en ammoniumnitraat vormen. Die stoffen kunnen lang in de lucht zweven en tot 1.000 km reizen, aan elkaar kleven (secundair fijnstof), aan andere stofdeeltjes kleven of neerslaan met regen. Ammoniak draagt zo bij aan de vermisting van bodem- en

## INTENSIEVE VEETEELT



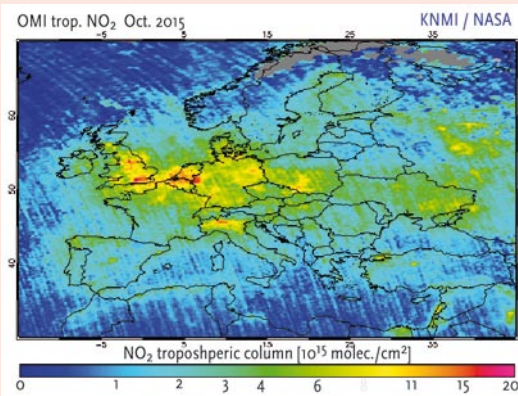
Ureum in dierlijke uitwerpselen zorgt via een complexe serie reacties voor smog en uiteindelijk verzuring van de bodem.

## WERELDWIJD

Ook satellieten meten luchtverontreiniging. Ze kunnen meten op plaatsen waar geen grondstations zijn, zoals op zee, en geven een mondiaal beeld van luchtverontreiniging.

Een bekend meetinstrument is Ozone Monitoring Instrument (OMI), gebouwd door Dutch Space en TNO. Sinds 2005 brengt OMI luchtverontreiniging door ozon, stikstofoxiden, zwaveloxiden en formaldehyde in de kaart. De spectrometer meet zonlicht (270 tot 500 nm, vooral uv) dat weerkaatst op het aardoppervlak. Het spectrum van zonlicht dat rechtstreeks op de satelliet valt, trek je ervan af. Wat overblijft, is het absorptiespectrum van alle gassen en stofdeeltjes in

de atmosfeer. Die laten een spoor achter waaruit je de concentratie van de gassen in de onderste luchtlag kunt berekenen. De OMI-data zijn vrij beschikbaar via internet.



opervlaktewater en aan de verzuring van de bodem.

In tegenstelling tot andere belangrijke componenten van luchtverontreiniging (fijnstof, stikstofoxiden en ozon) vertoont de concentratie ammoniak geen gestage afname in de laatste decennia. In 2012 bedroeg de gemiddelde concentratie in Nederland 7 µg per m<sup>3</sup>. De hoogste concentraties (>15) komen voor in gebieden met intensieve veehouderij, zoals de Gelderse Vallei, het oosten van Noord-Brabant en het noorden van Limburg. Behalve de uitstoot van ammoniak, zorgt de landbouw ook voor een bijdrage aan fijnstof door overslag van veevoer en grondbewerking.

## LONG- EN HARTZIEKTES

Dat smog ongezond is, bleek tijdens de ernstige smogperiodes in de jaren vijftig en zestig van de vorige eeuw. In smogperiodes stierven meer mensen dan in weken met schone lucht. Na de hereniging in Duitsland daalde de fijnstofconcentratie in die regio drastisch door sluiting van verouderde steenkoolcentrales en industrie. Dat zorgde voor een duidelijke daling in het aantal meldingen van bronchitis, middenoorontsteking en zelfs verkoudheid.

Tijdens smogperiodes hebben mensen met luchtwegproblemen in Nederland zeker meer last, ook extra sterfte is direct gekoppeld aan smogdagen. Onomstotelijk staat vast dat wonen naast een snelweg een risicofactor is voor luchtwegklachten en hart- en vaatziekten. Het RIVM stelt dat de gemiddelde Nederlander circa vier maanden korter leeft door stikstofoxiden

en negen maanden door blootstelling aan fijnstof.

Hoe smog precies schade veroorzaakt, is nog niet helemaal duidelijk. Smog is een complex mengsel van gassen en deeltjes met verschillende grootte en samenstelling die bovendien ook nog eens van plek tot plek verschilt. Het is dus heel lastig om erachter te komen welke stoffen in welke combinatie welke schadelijke effecten hebben en waarom.

Ozon en stikstofoxiden zijn in ieder geval sterke oxidatoren, wat betekent dat ze in de longen het epitheel, het bovenste cellaagje, kunnen beschadigen. Bij blootstelling aan ozon blijken in die cellen allerlei alarmbellen af te gaan: diverse signaalstoffen komen vrij die gerelateerd zijn aan stress en ontstekingsreacties. Ook bij fijnstof gebeurt dit. De stoffen verhogen tevens het risico op hart- en vaatziekten. Fijnstof blijkt onder meer de bloedstolling te beïnvloeden via stressfactoren. Ultrafijnstof komt via de longen in het bloed terecht en kan daar en elders schade veroorzaken.



Kolencentrales, met name de verouderde types in het voormalig Oostblok en in ontwikkelingslanden, doen de fijnstofconcentratie in de lucht stijgen.

De hoeveelheid smog is in vijftig jaar **sterk afgenomen**. Maar langs drukke wegen en in stadscentra is de lucht vaak toch niet schoon genoeg. Hoe kan het beter?

# Voorkomen en wegvangen

**W**intersmog is in West-Europa vrijwel verdwenen dankzij vervanging van steenkoolkachels door centrale verwarming, het ontzwellen van brandstoffen en het gebruik van gaswassers en scrubbers in energiecentrales en industrie. Rookgassen met zwaveldioxide stromen langs een kalkemulsie, die zwaveldioxide omzet in gips ( $\text{CaSO}_4$ ), dat zijn weg vindt naar de bouwmarkt.

Toch is er nog steeds sprake van extra sterfte door fijnstof, zomersmog en andere luchtverontreiniging. Er zijn dus meer maatregelen nodig om minder smogdagen te realiseren. Omdat de meeste uitstoot samenhangt met energievoorziening, is op de eerste plaats energiebesparing logisch. Dat betekent woningisolatie, efficiëntere verbrandingstechnieken, wind- en zonne-energie, aardwarmte en waterkracht. Ook elektrisch rijden helpt uitstoot te verminderen, zeker in de buurt van wegen. In 2015 reden er in Nederland



Roetfilter voor een dieselauto.

zo'n 20.000 elektrische auto's rond, die alleen fijnstof uitstoten door slijtage van remmen en banden. De stroom waarop de auto's rijden zorgt wel voor uitstoot, want die stroom moet je opwekken. Dat kan in een energiecentrale of met wind of zon. Hoe schoon een elektrische auto is, hangt dus af van veel factoren.

De accu's in de huidige elektrische auto's zijn oplaadbare lithiumionbatterijen, die ook in je mobiel zitten. Zo'n batterij bestaat uit een poreuze koolstof elektrode en een kobaltoxide- (of mangaanoxide)elektrode. Lithiumionen jojoën heen en weer tussen die twee elektrodes, steeds als de batterij beurtelings wordt ontladen en weer opgeladen. Tijdens ontladen migreren lithiumionen vanuit poriën in de poreuze koolstofelektrode naar de kobaltelektrode en gaan daar een binding aan met het kobaltoxide. Bij laden gebeurt het omgekeerde. Het lithium in  $\text{LiCoO}_2$  ioniseert weer en zoekt de poriën op in de negatieve koolstofelektrode. De lithiumionen reizen door een niet-waterig elektrolyt, vaak een polymeer. De reactie in formulevorm:



## AUTOKATALYSATOR

**D**e driewegkatalysator uit de jaren zeventig was de eerste maatregel tegen  $\text{NO}_x$ -uitstoot in het verkeer. De katalysator zet stikstofoxiden samen met koolstofmono-oxide en onverbrande koolwaterstoffen om in koolstofdioxide, water en stikstof. Hij bestaat uit keramisch materiaal met een honingraatstructuur waarin platina, rhodium of ceriumoxide is ingebed dat de reactie op gang brengt.

Bij een dieselmotor werkt een driewegkatalysator niet, omdat de uitlaatgassen te veel zuurstof bevatten. Maar de  $\text{NO}_x$ -uitstoot is met twee andere systemen toch

## LIEVER GEEN HOUTKACHEL

Het gebruik van de meeste duurzame energiebronnen vermindert smog, met als belangrijke uitzondering biomassa verstoken thuis in de kachel. Houtkachels en open haarden zijn grote bronnen van fijnstof, roet en  $\text{NO}_x$ . De economische crisis in Zuidoost-Europa heeft bijvoorbeeld in Griekenland geleid tot meer hout stoken en hogere luchtvervuiling. Ook in landen als Denemarken en Zweden zijn houtkachels een belangrijke bron van fijnstof.

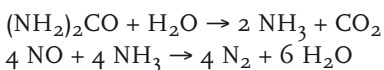


## SMOGTOREN

Kunstenaar Daan Roosegaarde ontwierp een 7 m hoge Smog Free Tower voor Rotterdam. De toren reinigt per uur 30.000 m<sup>3</sup> lucht van fijnstof met niet meer energie dan een waterkoker vraagt. Dat kan dankzij elektrische ionisatie, een vondst van de Delftse wetenschapper Bob Ursem. Stroomdraden met een hoog voltage (35 kV), maar slechts enkele microampère stroom brengen positieve ladingen over op langsstromende stofdeeltjes. Een gearde plaat vangt ze vervolgens weg. Het idee is in 2009 ook getest in de Rotterdamse Thomassentunnel waar 15 procent fijnstof is weggevangen. Het bedrijf ENS produceert tevens systemen voor binnenshuis op basis van dit principe. |



onder de norm te brengen. In de eerste plaats kun je een deel van de uitlaatgassen nogmaals door de motor sturend; uitlaatgasrecirculatie, oftewel EGR. Het gevolg is een lager zuurstofgehalte, wat zorgt voor een lagere verbrandingstemperatuur en minder NOx-vorming. Vervolgens kan een katalysator het restant NOx verwijderen met ureum-SCR (*selective catalytic reduction*). In de uitlaatgassen spuit je ureum, dat in een zeolietkatalysator NO omzet in stikstof en water(damp):



Een alternatief is het Lean NOx Trap-systeem (LNT). Daar absorbeert NOx op een bariumoxide-‘spons’ met katalysatoren als palladium, lood of rhodium. Is het barium verzadigd, dan schakelt de motor korte tijd over op verbranding met weinig zuurstof en reduceert de katalysator het verzamelde NOx.

In 2015 bleek dat in ieder geval één autofabrikant, Volkswagen, fraudeerde om diesels schoner te laten lijken dan ze in de praktijk zijn. Een chip in zeker elf miljoen auto's detecteert wanneer een milieukeuring plaatsvindt op de rollenbank en stelt de NOx-reductiesystemen optimaal in. Maar bij gewoon gebruik gaan ze deels uit, waardoor de uitstoot aan NOx 10 tot 40 maal hoger kan zijn dan bij de milieutest. Waarom deed Volkswagen dit? NOx-reductie kost extra brandstof en er is een extra tank met water en ureum (AdBlue) nodig, wat ten koste gaat van koffer- of passagiersruimte. Ook slijt de motor harder doordat roet circuleert. De omvang van het schandaal en de precieze gevolgen zijn op dit moment nog lastig in te schatten.

Ook het fijnstofprobleem van auto's is aangepakt. Sinds 2005 zijn roetfilters verplicht voor dieselauto's. Roetfilters bestaan uit poreuze materialen met fijne openingen waarop vaste deeltjes blijven hangen. Een filter raakt daardoor geleidelijk verstopt en geeft steeds meer tegendruk op de motor. Daarom moet het filter regelmatig geregenereerd worden: een kleine hoeveelheid brandstof wordt geïnjecteerd in de uitlaatgassen en ontstoken ter hoogte van de filter, dan brandt het roet weg.

## AMMONIAKWASSERS

Berekeningen tonen aan dat een van de meest effectieve manieren is om lucht op te schonen in Nederland is de ammoniakuitstoot in de landbouw te verminderen. Dat kan door vloeibare mest

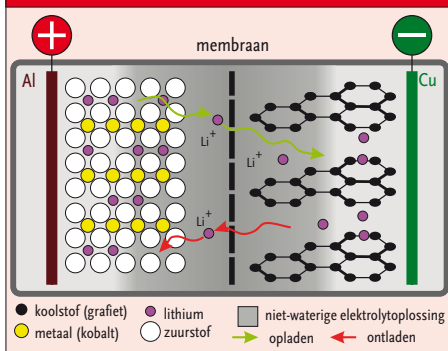
## REGEN OP BESTELLING

Een flinke regenbui kan de lucht opschonen. Fijnstof en schadelijke gassen regenen met de druppels naar beneden. Maar voor regen zijn wolken nodig en die zijn bij zomersmog juist vaak afwezig. Toch laten landen zoals China en Rusland soms wolken leeg regenen om luchtverontreiniging te verminderen. Dat kan door vanuit vliegtuigen chemicaliën op de wolk te strooien of de stoffen er met kanonnen naar toe te schieten. Het gaat om zilverjodide, droogijs (vast CO<sub>2</sub>) en vloeibaar propaan. De laatste twee stoffen moeten de wolk afkoelen. Door de temperatuur te verlagen, raakt de wolk oververzadigd en kan er regen uit vallen.

Het zilverjodide dient als entmateriaal om ijskristallen snel te laten groeien. Zilverjodide heeft een vrijwel identiek kristalrooster als ijs, waardoor het water er makkelijk op kristalliseert. China gebruikte regenmakers om de lucht rond Beijing op te schonen voorafgaand aan de Olympische Spelen in 2008. En Rusland maakte na de ramp in Tsjernobyl regen om de verspreiding van radioactief materiaal te beperken. Een standaardoplossing zal het echter nooit worden. Ten eerste omdat wolken lang niet altijd op het gewenste tijdstip ter plaatse zijn, maar ook omdat zilverjodide kan leiden tot onder andere huidirritatie en hoofdpijn. |

snel af te voeren en te vergisten, zodat ammoniak geen kans krijgt te ontstaan. Ook luchtwassers helpen. De emissie uit stallen kun je er met 70 à 95 procent mee verminderen. Chemische luchtwassers voeren de lucht langs zwavelzuur, dat ammonia omzet in ammoniumsulfaat. Dat kun je vervolgens gebruiken als kunstmest. In biologische luchtwassers zetten bacteriën ammonia om in nitraten. Fijnstof die ontstaat bij het bewerken van akkers of ammoniakuitstoot in de wei is veel lastiger te verminderen. |

## LITHIUMIONBATTERIJ



TESLA produceert alleen volledig elektrisch aangedreven auto's.

# Meer weten

## AANBEVOLEN LITERATUUR

- *Chemische Feitelikheden* 213, Stikstofdioxide.
- J. Lelieveld *et al*, The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale, *Nature* 2015, 525; 367.
- C. Hendriks *et al*, The origin of ambient particulate matter concentrations in the Netherlands, *Atmospheric Environment* 2013, 69; 289.
- B. Brunekreef & S. Holgate, Air pollution and health, *The Lancet* 2002, 360; 1233.
- M.M. Ballari & H.J.H. Brouwers, Full scale demonstration of air-purifying pavement, *J. Hazardous materials* 2013, 254-255; 406.

## AANBEVOLEN WEBSITES

- [www.luchtmeetnet.nl](http://www.luchtmeetnet.nl), [www.vmm.be/lucht](http://www.vmm.be/lucht), [www.aireas.com](http://www.aireas.com), [www.knmi.nl/omi](http://www.knmi.nl/omi): Metingen luchtkwaliteit.
- [www.rivm.nl](http://www.rivm.nl): RIVM Dossier Smog, zoek op smog.
- <http://waqi.info>: World Air Quality Index, geeft elk kwartier een wereldwijd overzicht van fijnstof.
- [www.apis.ac.uk](http://www.apis.ac.uk). Engels informatiesysteem over luchtverontreiniging, inclusief starters guide.

## VOOR OP SCHOOL

1. Wat zijn wereldwijd de belangrijkste bronnen van smog?
2. Waardoor is er verschil tussen de drempels fijnstof voor verschillende landen?
3. Geef reactievergelijking voor vorming van zuren uit  $\text{NO}_2$  en  $\text{SO}_2$ .
4. Op welke manier zorgt vuurwerk voor mist en neerslag?
5.  $\text{NO}_2$  vormt gemakkelijk  $\text{N}_2\text{O}_4$ . Geef de elektronenstructuren van deze stikstofoxiden.

## LONDEN 1952



The 'great' smog Beijing, Delhi? Nee, Londen in 1952. De dikke smogdeken was aanleiding voor de eerste milieuwetten.

6. Ammoniak in water vormt basisch ammonia.  $\text{NH}_4\text{OH}$ . Hoe kan ammoniak toch voor verzuring zorgen?
7. Wat maakt het moeilijk de schade door smog precies vast te stellen?
8. Wat is het onderscheid tussen een emissiespectrum en een absorptiespectrum?
9. Hoe kan vegetatie (bomen) de hoeveelheid fijnstof verminderen?
10. Waardoor koelt een wolk af bij toevoegen van droogijs en vloeibaar propaan?
11. Hoe werkt een chemische luchtwasser in stallen?
12. Wat is het onderscheid tussen zomersmog en winter-smog?

## COLOFON

**Chemische Feitelikheden:** actuele encyclopedie over moleculen, mensen, materialen en milieu. Losbladige uitgave van de KNCV, verschijnt driemaal per jaar met in totaal tien onderwerpen.

**Redactie:**  
Erwin Boutsma (C2W), Franny Scholte (C2W), Gerard Stout

**Redactie en realisatie:**  
Bèta Publishers, tel. 070-262 91 00  
[info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

**Fotoverantwoording:**  
Foto's zonder bronvermelding zijn afkomstig van [www.dreamstime.com](http://www.dreamstime.com)

**Opmaak:** F.Koeman DTP Services  
[f.koeman@casema.nl](mailto:f.koeman@casema.nl)

**Basisontwerp:** Menno Landstra

**Uitgever:**  
Sijmen Philips, Bèta Publishers  
Postbus 19949, 2500 CX Den Haag  
tel. 070-26 29 100, [info@betapublishers.nl](mailto:info@betapublishers.nl)

**Abonnementen:**  
Abonnementenland, Antwoordnummer 1822  
1910 VB Uitgeest  
tel. 0900-226 52 63 (€ 0,10/minuut)  
[klantenservice@aboland.nl](mailto:klantenservice@aboland.nl)  
Abonnementen kunnen elk gewenst moment ingaan. Wij hanteren de opzegregels uit het verbintenissenrecht. Wij gaan ervan uit dat Chemische Feitelikheden altijd wordt ontvangen uit hoofde van het beroep. Hierdoor wordt het abonnement automatisch met een jaar verlengd tenzij 2 maanden vóór de einddatum een opzegging is ontvangen.

Een abonnement op Chemische Feitelikheden geeft via de website toegang tot tien nieuwe edities per jaar en het totale online archief. Daarnaast ontvangen abonnees in drie zendingen per jaar de losbladige edities.

**Tarieven vanaf 2015**  
**Voor particulieren:**  
Online toegang met inlogcode en papieren editie (inclusief verzamelmap): € 87,75\*. Leden van KNCV, KVCV en NVON krijgen € 10,- korting.  
**Voor bedrijven en (onderwijs)instellingen:**  
Onbepert toegang tot de digitale edities op basis van IP-adres en papieren editie in drievoud (inclusief verzamelmappen): € 262,50\*.  
**Losse nummers:** € 9,95\* per stuk te bestellen bij Abonnementenland.  
\*Bij betaling per acceptgiro wordt € 2,95 extra in rekening gebracht.

## SMOG

editie 78  
nummer 319  
december 2015

### Met dank aan:

- Prof. dr. ir. B. Brunekreef  
IRAS, Universiteit Utrecht  
[B.Brunekreef@uu.nl](mailto:B.Brunekreef@uu.nl)

ISSN 0168-3349

**KNCV**

[www.chemischefeitelikheden.nl](http://www.chemischefeitelikheden.nl)