

# Continentale milieuproblemen. **ZOMERSMOG en VERZURING**

Erik P.C. ROMBAUT, MSc. Biology, Asst. Prof. Em.,  
KULeuven faculteit Architectuur (Campus Sint-Lucas),  
Hoogstraat 51, B-9000 Gent / Paleizenstraat 65-67, B-1030 Brussels.  
Odisee TechnologieCampus Gent, Gbrs. de Smetstraat 1, B-9000 Gent.  
+ 32 (0)3 7707147. [erik.rombaut@scarlet.be](mailto:erik.rombaut@scarlet.be)

**Gent. 22 okt. 2019**

**Postgraduaat mens- en milieuvriendelijk  
bouwen en wonen.**

**ecopolis**



---

## Vorming van Zomersmog.

Zomersmog vormt zich bij de gelijktijdige aanwezigheid in de lucht van

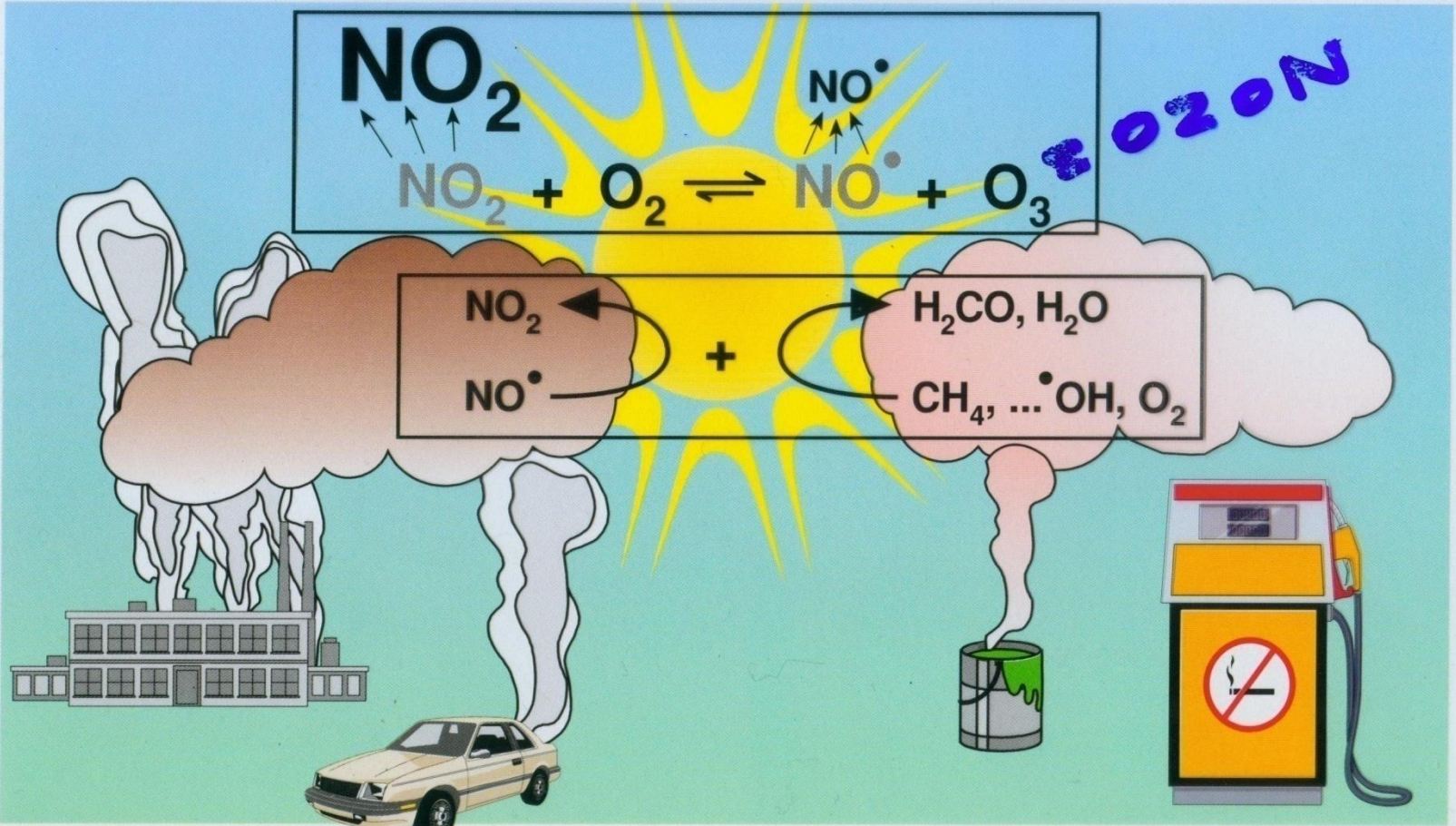
- $\text{NO}_x$  : stikstofoxiden
- VOS : vluchtige organische stoffen, de zogenaamde koolwaterstoffen ( $\text{KWS} = \text{C}_x\text{H}_y$ )
- Zonlicht : De reacties verlopen fotochemisch.

Bekend uit Los Angeles , Mexico city, Athene, ...

In gematigd klimaat vooral problemen in het zomerhalfjaar (Madrid, Milaan, Rome, ...).

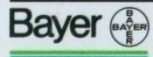
---

# ZON



ozone

L 05



$\text{NO}_x$

ZOMERSMOG

V.O.S  
K.W.S

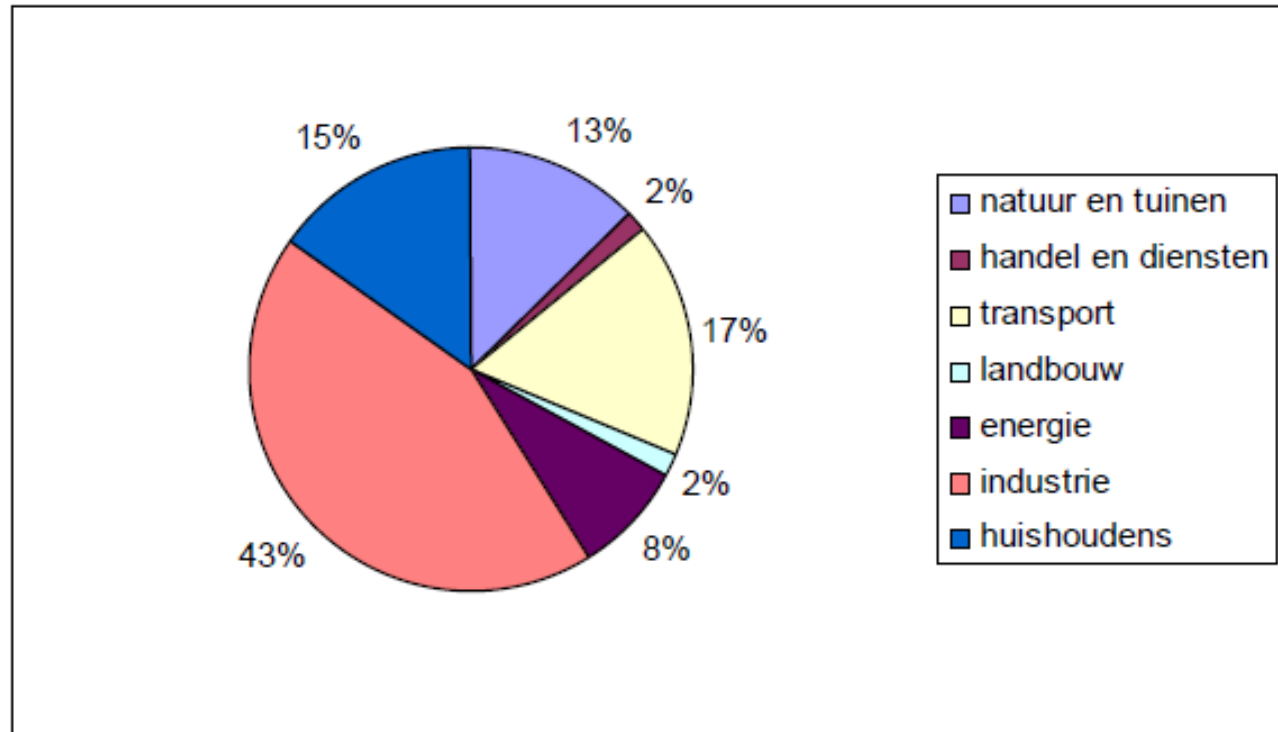


# Zomersmog in Athene



# Herkomst van de Niet-Methaan-Vluchtige Organische Stoffen (NMVOS) in Vlaanderen

*Figuur 3: Aandeel van de doelgroepen in de NMVOS-emissies (Vlaanderen, 2006)*



Bron: VMM, 2007.

Naast de industrie zijn vooral de transportsector én de huishoudens (verven, beitsen) mede verantwoordelijk.

Ozon is een zeer sterk oxidans, wat vooral bij mensen met longaandoeningen, problemen vormt (CARA).

### Schadedrempels bij blootstelling aan ozon

#### Mens

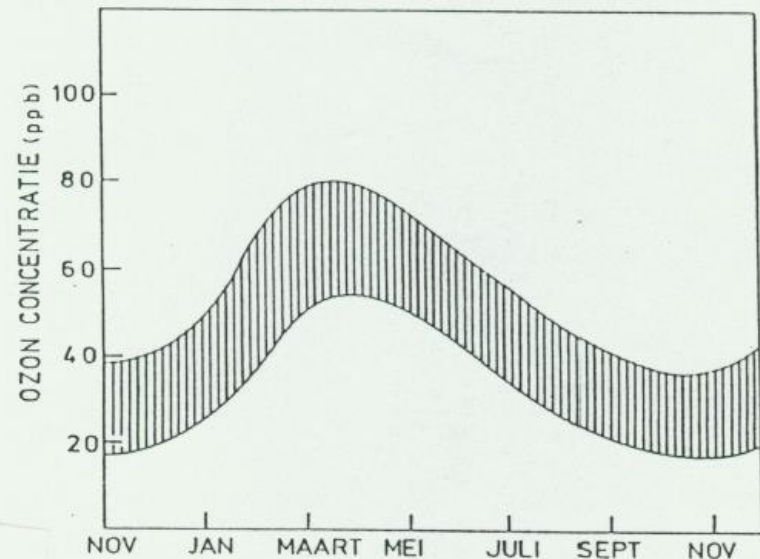
- 100 ppb : reukdrempel
- 100-200 ppb : lange termijneffecten : onzeker
- 1 ppm : ademhalingsstoornissen

#### Planten

- 50 ppb : vertraagde fotosynthese
- 120-160 ppb : schade aan dennen op lange termijn
- 600 ppb : schade na enkele uren

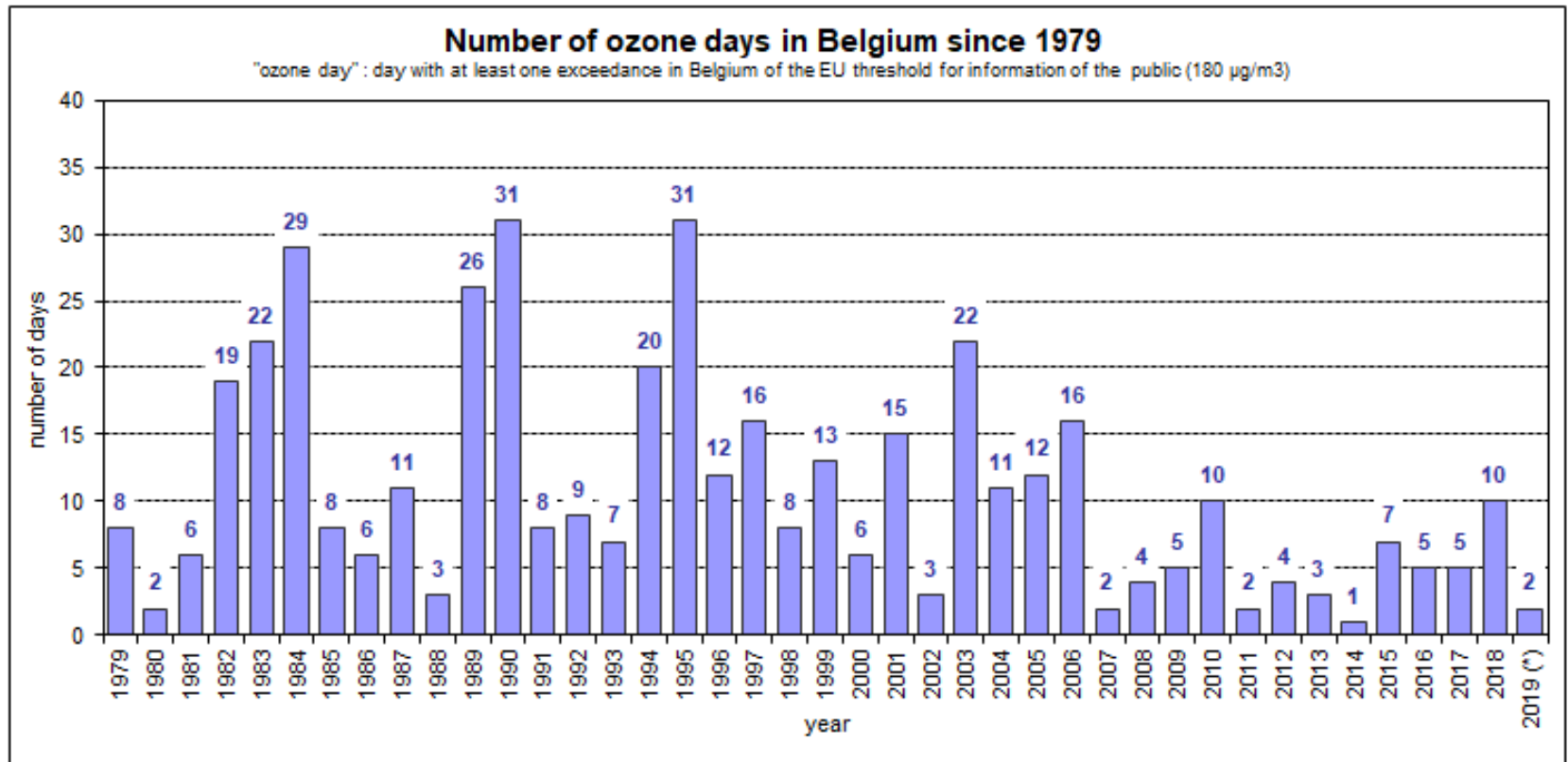
#### Materialen

- 200 ppb : textiel
- 500 ppb : rubber
- 1 ppm : verven



"Achtergrond" ozon-concentratie in functie van de tijd

# Troposferisch Ozon in België (Zomersmog). OZON ALARMFASEN (EUROPESE REGELGEVING, FASE 1, 2 EN 3 ZIE LES)



Men herkent nog steeds steeds duidelijk de recentere warme zomers van 2003, 2006, 2018.

(<http://www.irceline.be/nl/luchtkwaliteit/metingen/ozon/historiek/overschrijdingsind>)

---

Er is geen Europese informatie- en alarmdrempel voor fijn stof voorzien in de EU [luchtkwaliteitsrichtlijn 2008/50/EG](#). Strikt genomen zijn EU lidstaten op basis van deze richtlijn dus niet verplicht om te waarschuwen (of te alarmeren) voor een smogepisode veroorzaakt door fijn stof. Een aantal lidstaten doet dat (op eigen initiatief) wel, maar er worden naar eigen goeddunken en inzichten andere drempels gehanteerd:

- In Frankrijk is er een informatiedrempel voor fijn stof (PM10) van 50 µg/m<sup>3</sup> en een alarmdrempel van 80 µg/m<sup>3</sup>. De smogmaatregelen in Frankrijk worden vastgelegd door de verschillende departementen en kunnen per departement anders zijn.
- In Nederland is de alarmdrempel 200 µg/m<sup>3</sup> (die wordt momenteel wel herzien).
- In Duitsland zijn er geen informatie- of alarmdrempels.
- In België is de alarmdrempel 70 µg/m<sup>3</sup> (zie hoger)

Dit is uiteraard geen ideale situatie: Harmonisatie op Europees niveau is dan ook wenselijk.

<http://www.irceline.be/nl/nieuws/verhoogde-fijnstofconcentraties-en-toch-geen-smogalarm-waarom>

---



- 
- De gewestelijke smogactieplannen in België worden geactiveerd als de *voorspelde* daggemiddelde PM10 concentraties minstens 2 opeenvolgende dagen hoger zijn dan  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
  - Tijdens een smogalarm wordt in de drie gewesten de snelheid op een aantal ring- en snelwegen verlaagd van 120 naar 90 km/u. In het Brussels en Waalse gewest is er naast deze (eerste) alarmfase, nog een tweede en derde fase waarbij bijkomende maatregelen genomen worden. Zo wordt in Brussel het alternerend rijden ingevoerd wanneer de voorspelde daggemiddelde PM10 concentratie minstens twee opeenvolgende dagen hoger is dan  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . In een derde fase ( $\text{PM}_{10} > 200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) wordt het auto- en vrachtverkeer volledig verboden in het gewest.
-

De koele zomer van 2000 vertoonde weinig ozonproblemen, de hete zomer van 2003 vertoonde een piek in ozonvervuiling én in ozon-gerelateerde 'oversterfte' (MIRA,2006b).

Tabel 10: Schatting van de sterfgevallen toe te schrijven aan ozon (Vlaanderen, 2000-2005)

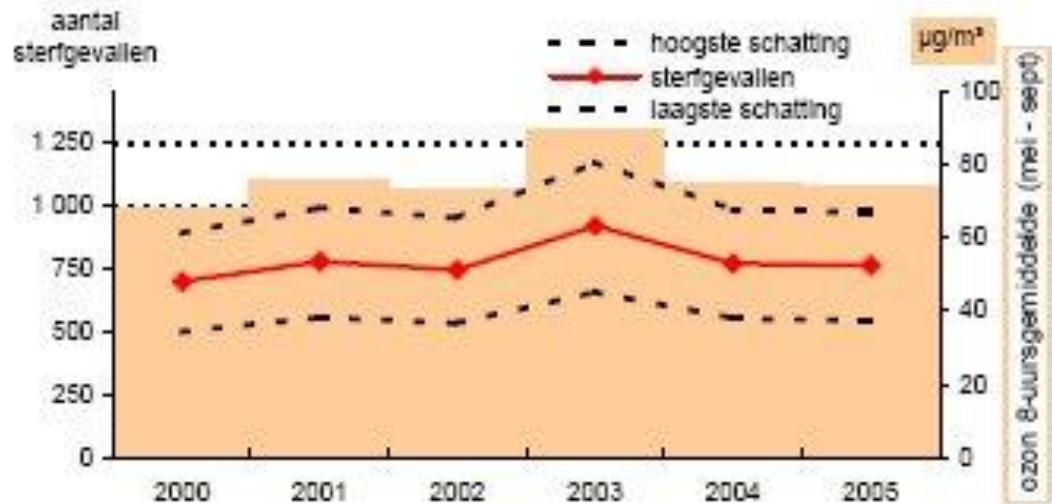
zomer <sup>1</sup>	ozonconcentratie <sup>2</sup> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	sterfgevallen door ozon	laagste schatting <sup>3</sup>	hoogste schatting <sup>3</sup>	variantie $\sigma^2$	$\sigma$
2000	68	697	497	890	53	7,3
2001	76	777	555	992	66	8,1
2002	73	744	531	950	60	7,8
2003	90	919	656	1172	92	9,6
2004	75	769	549	982	65	8,0
2005	74	761	543	972	63	8,0
extra in 2001 tov 2000		80	64	96	66	8,1
extra in 2002 tov 2000		47	32	62	60	7,8
extra in 2003 tov 2000		222	198	246	145	12,1
extra in 2004 tov 2000		72	50	94	131	11,4
extra in 2005 tov 2000		64	42	86	124	11,1

<sup>1</sup> periode mei-september

<sup>2</sup> ruimtelijk gemiddelde in Vlaanderen van de 8-uursgemiddelde ozonconcentraties tussen 12 en 20 uur (Midden-Europese tijd) tijdens de maanden mei tot en met september

<sup>3</sup> grenzen van het 95 % betrouwbaarheidsinterval

Figuur 29 : Schatting van het aantal vroegtijdige sterfgevallen door ozon tegen de achtergrond van de gemiddelde ozonconcentratie tijdens de zomer (Vlaanderen, 2000-2005)



Bron: IRCEL

Ozon en hitte in de zomer van 2003

---

## De zomer van 2003....

- Er was in de zomer van 2003 dus niet alleen in Zuid-Europese landen sprake van oversterfte. Volgens het Wetenschappelijk Instituut Volksgezondheid (Sartor, 2004 in MIRA, 2006b) waren er in de zomerperiode 2003, 763 extra sterfgevallen (bovenop het normale aantal van 21869) in Vlaanderen.
  - Voor 2003 kan ongeveer 30 % (222 van 763) van deze extra sterfgevallen toegewezen worden aan luchtverontreiniging door ozon. 70 % van de extra sterfgevallen in dat jaar zou toe te schrijven zijn aan andere verontreiniging (o.m. fijn stof) en/of de hitte.
-

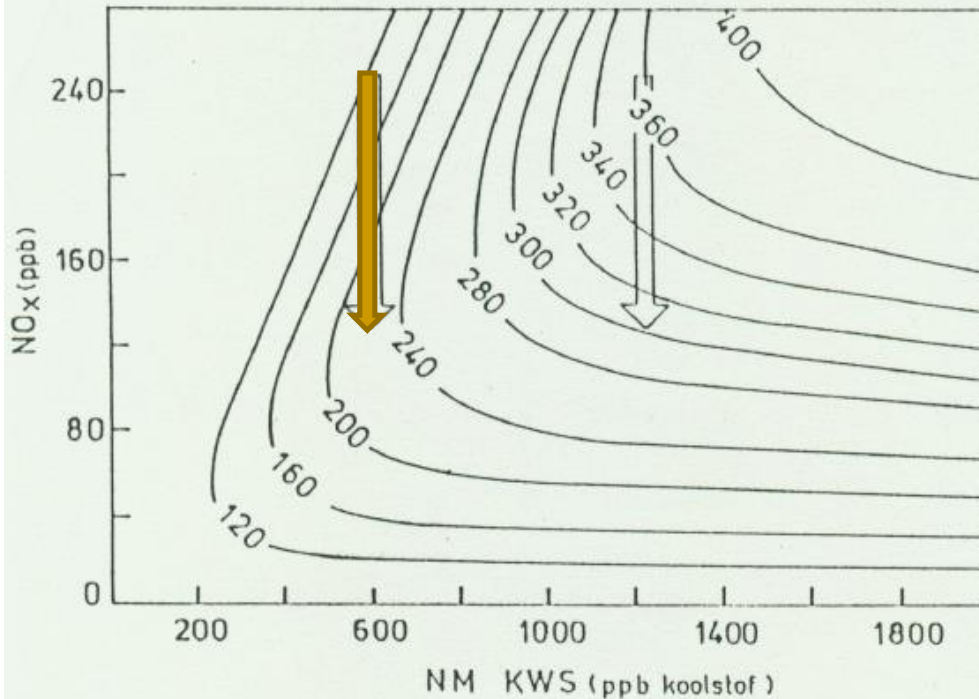
## De zomer van 2019...

- In de 3 warmteperioden 2019 samen zijn in ons land 716 mensen meer gestorven dan normaal verwacht mag worden. Tijdens en vlak na drie hittegolven kwamen meer mensen om, onder wie vooral 65-plussers.
- In en vlak na de **1<sup>ste</sup> warmteperiode (21 juni - 2 juli)** : **matige oversterfte (+ 4% of 128 extra overlijdens bovenop de 2885 verwachte overlijdens)** in alle leeftijdsgroepen van de bevolking, maar vooral in de groep 65 tot 84-plussers.
- In en vlak na de **2de warmteperiode (19 - 27 juli)** : **uitgesproken oversterfte** in alle leeftijdsgroepen **(+17% of 400 extra overlijdens bovenop de 2296 verwachte overlijdens)**, maar vooral in de groep van 85-plussers.  
*(Tijdens de 2de hitteperiode was de oversterfte vooral in Brussel zeer hoog (tot bijna 35%). Een mogelijke verklaring hiervoor zou een stedelijk **hitte-eiland effect** kunnen zijn. In steden kan het namelijk veel warmer worden dan in de omliggende gebieden, door blokkering van wind en het vasthouden van warmte in beton, asfalt en stenen. Daardoor kunnen ook de nachttemperaturen er hoger blijven, terwijl het op het platteland wel koeler wordt")*
- In en vlak na de **3de warmteperiode (23 - 29 augustus)** : **duidelijke oversterfte (+10% of 188 overlijdens bovenop de 1795 verwachte overlijdens)**, hoofdzakelijk in de groep van 65-plussers.

# Zomersmog voorkomen ?

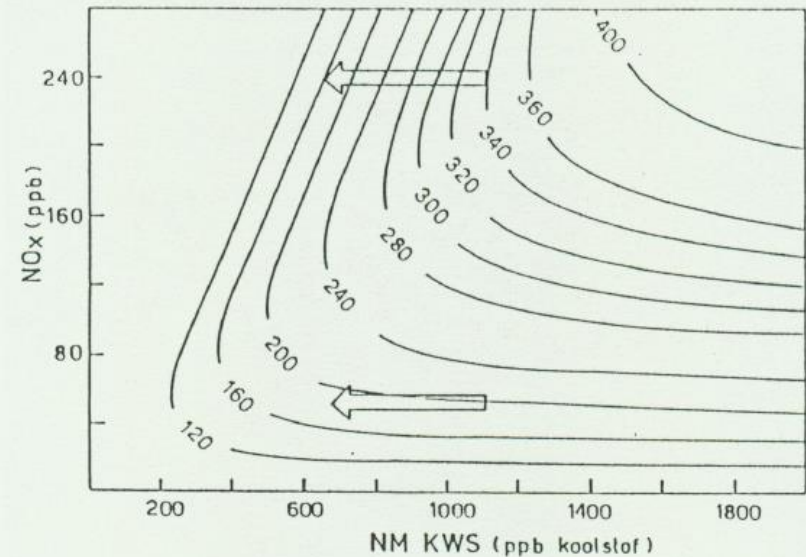
Effect van een reductie van  $\text{NO}_x$  concentratie op het ozon gehalte.

MAXIMUM OZON CONCENTRATIE (ppb)



Het verminderen van de  $\text{NO}_x$  concentratie bij gelijke VOS, kan een **stijging** van ozonconcentraties veroorzaken !

MAXIMUM OZON CONCENTRATIE (ppb)



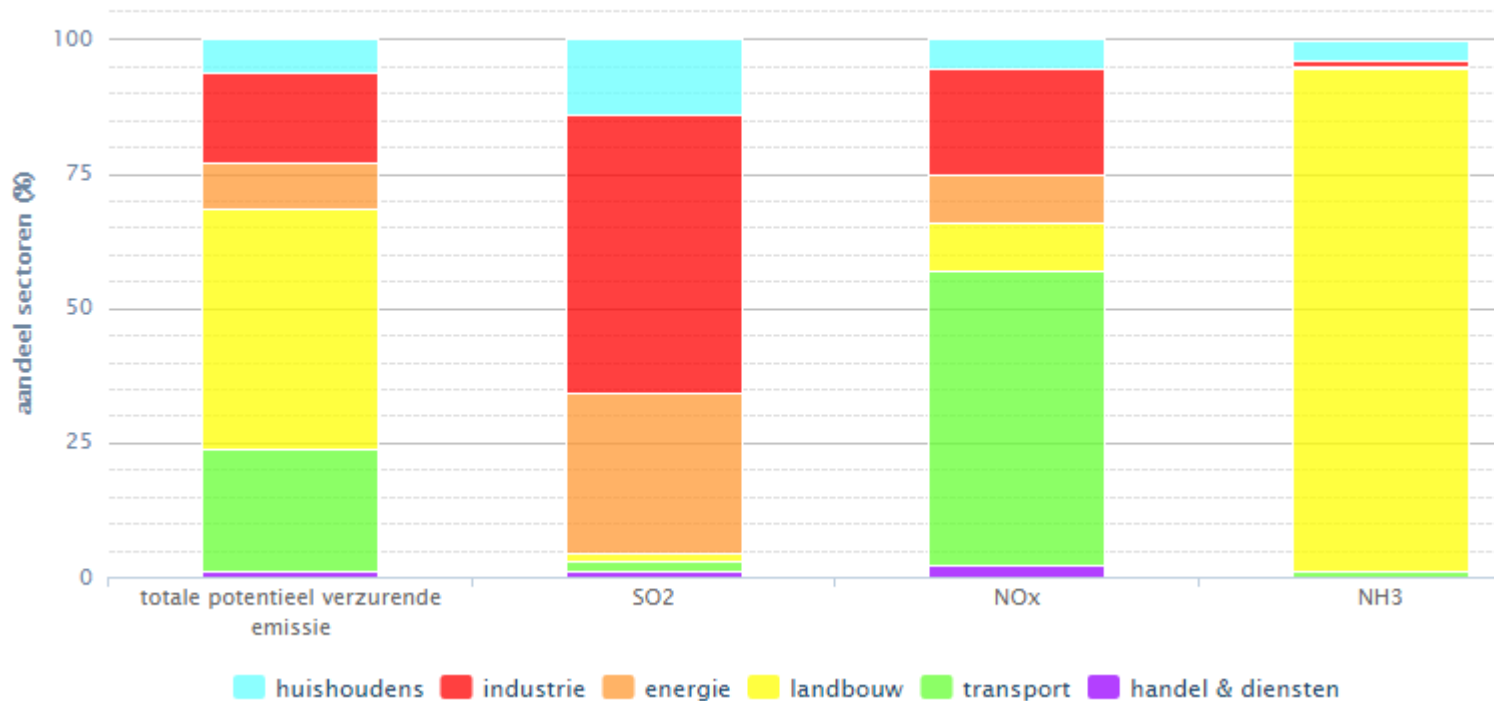
**Conclusie:** Het apart verminderen van  $\text{NO}_x$  of van de VOS concentraties kan leiden tot een stijging van het ozongehalte. Een gelijktijdige vermindering van de beide pollutanten is noodzakelijk.

---

# Verzuring als continentaal probleem wordt door 3 gassen veroorzaakt:

- **1. SO<sub>2</sub> (zwaveldioxide) (dalende trend)**  
Vooral industrieel: ca 82 %  
(gebouwenverwarming 13 % en verkeer 5 %)
  - **2. NO<sub>x</sub> (stikstofoxiden) (stijgende trend)**  
Vooral wegverkeer/transport: ca 60 %
  - **3. NH<sub>3</sub> (ammoniak) (stijgend aandeel)**  
Vooral landbouw (95 %)
-

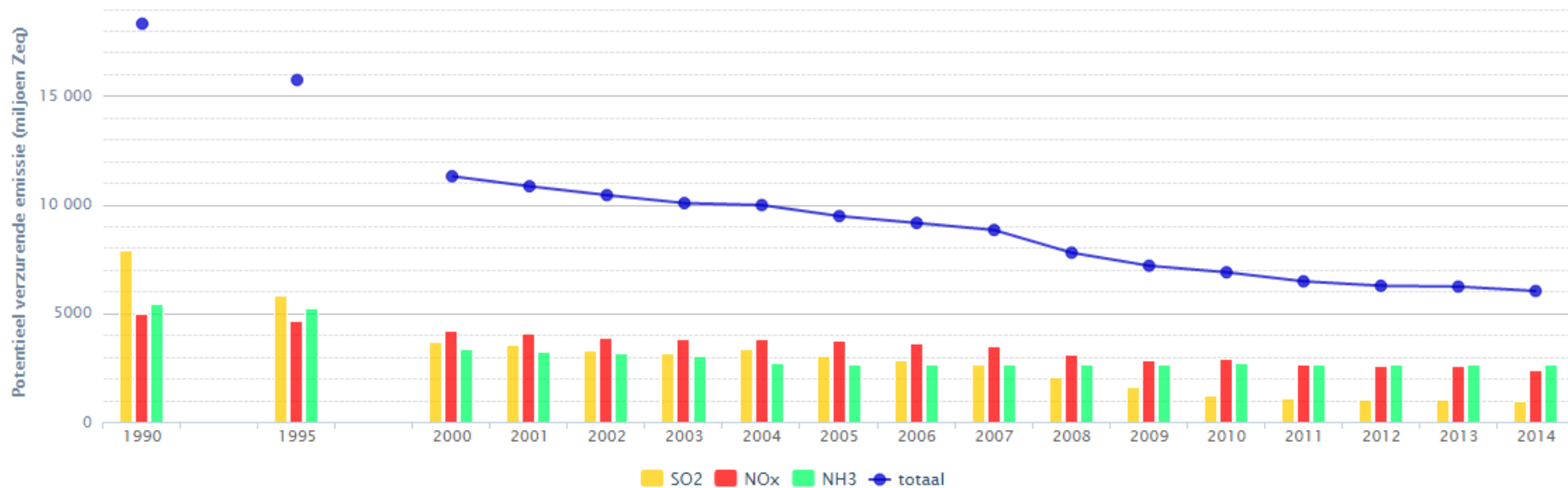
## Aandeel sectoren in de potentieel verzurende emissie (2014)



totale potentieel verzurende emissie  
huishoudens: 6,1  
industrie: 17  
energie: 8,3  
landbouw: 44,8  
transport: 22,7  
handel & diensten: 1,1

Uit deze gegevens blijkt dat ook de landbouw (44,8%) zeer dringend verdere reducties dient te realiseren (afbouwen intensieve veehouderij)

Potentieel verzurende emissie (Vlaanderen, 1990, 1995, 2000–2014)



Omdat de verschillende verzurende stoffen een verschillend potentieel zuurvormend vermogen hebben, wordt de totale potentieel verzurende emissie uitgedrukt in zuurequivalenten (Zeq): één zuurequivalent komt overeen met 32 gram SO<sub>2</sub> met 46 gram NO<sub>2</sub> of met 17 gram NH<sub>3</sub>.

Tussen 1990 en 2014 daalde de verzurende emissie met 67 %. Dit is voor een groot deel te danken aan de aanzienlijke daling van de SO<sub>2</sub>-emissie (-88 %). De NH<sub>3</sub>- en NO<sub>x</sub>-emissies daalden in deze periode allebei met 52 %. **De landbouw is veruit de belangrijkste bron van verzurende emissie** (45 % in 2014), gevolgd door transport (23 %) en industrie (17 %).



---

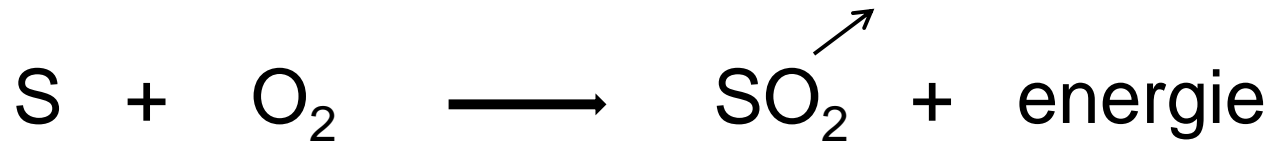
# 1. SO<sub>2</sub> (zwaveldioxide) (dalende trend)

- Hoe goedkoper fossiele brandstof (steenkool, aardolie,...) hoe meer S-verontreiniging.
- Laatste decennia is de SO<sub>2</sub>-emissie ongeveer gehalveerd (nog ca 250000 ton / jaar), mede door omschakeling naar kernenergie.
- experiment: zwavel verbranden.

pH zakt snel van ca 7 naar ca 4  
dat is 1000 keer zuurder.

---

## Verzuringreacties bij het verbranden van Zwavel (-rijke brandstof)



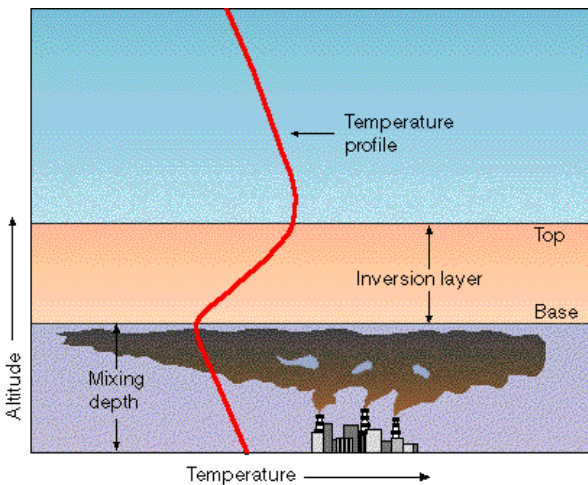
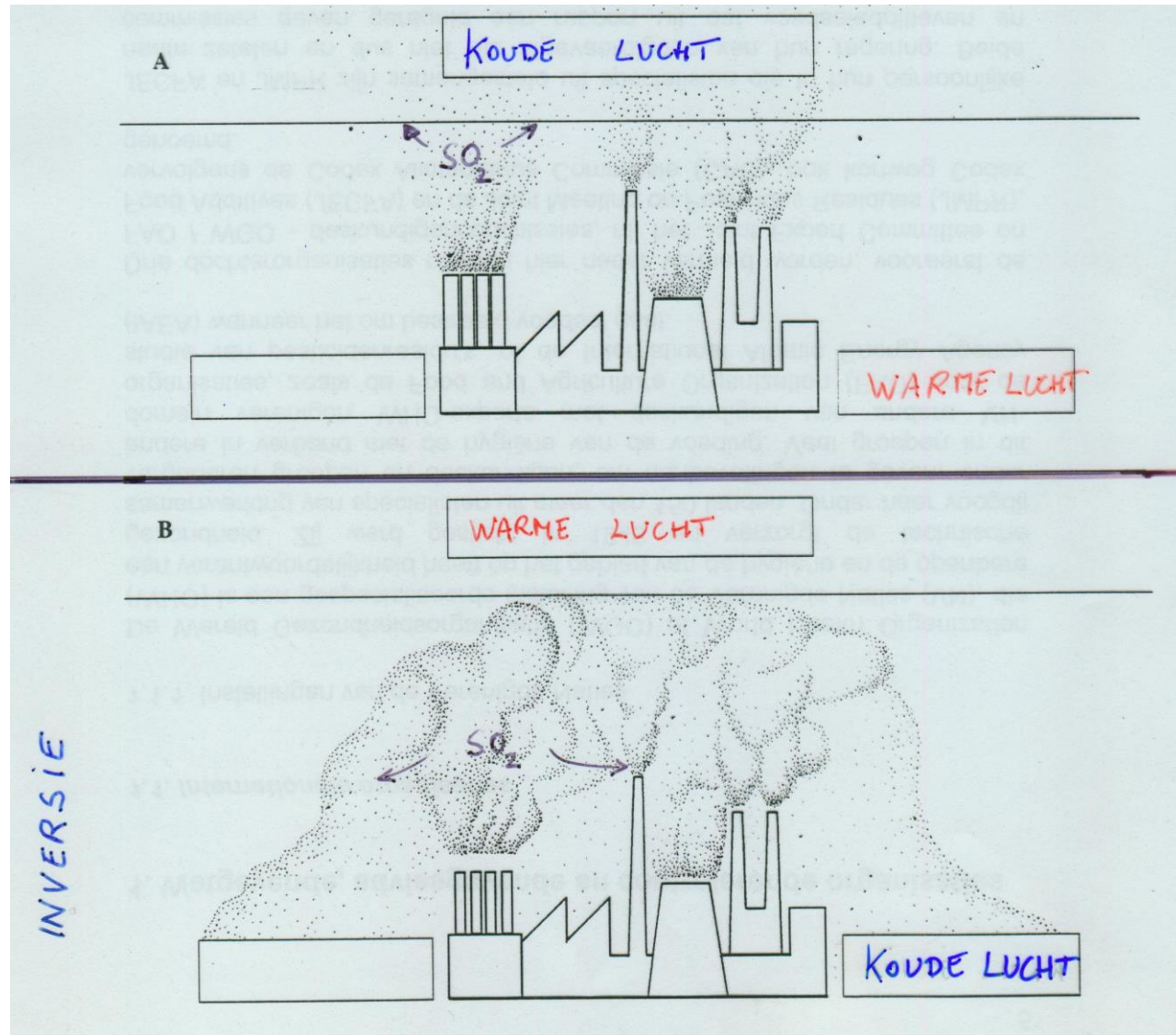
reactie in wolken, regen,...

Sterk zuur : splitst in ionen



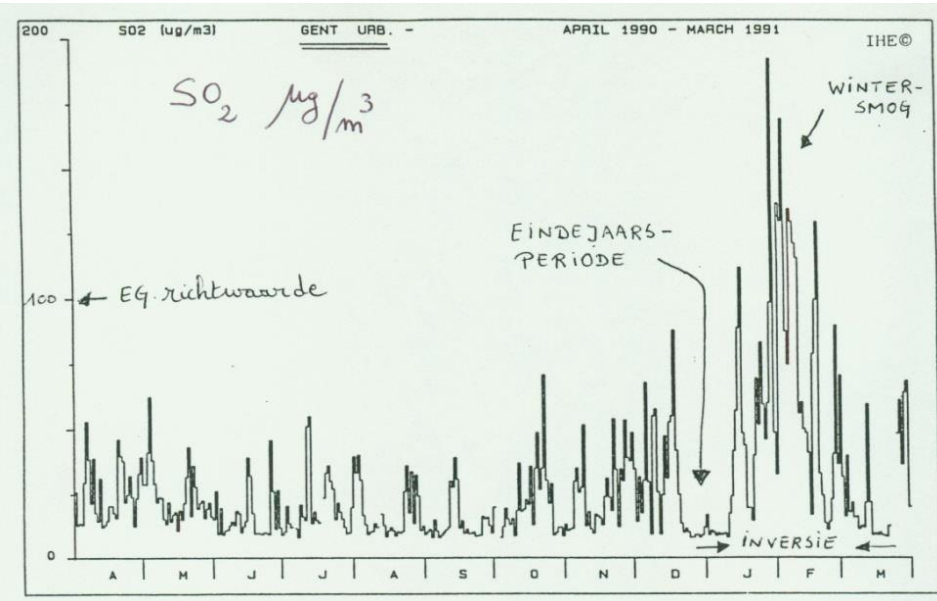
(SO<sub>3</sub> en H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> zijn ook stabiel en worden ook gevormd)

# Invloed van atmosferische inversie op het ontstaan van WINTERSMOG.

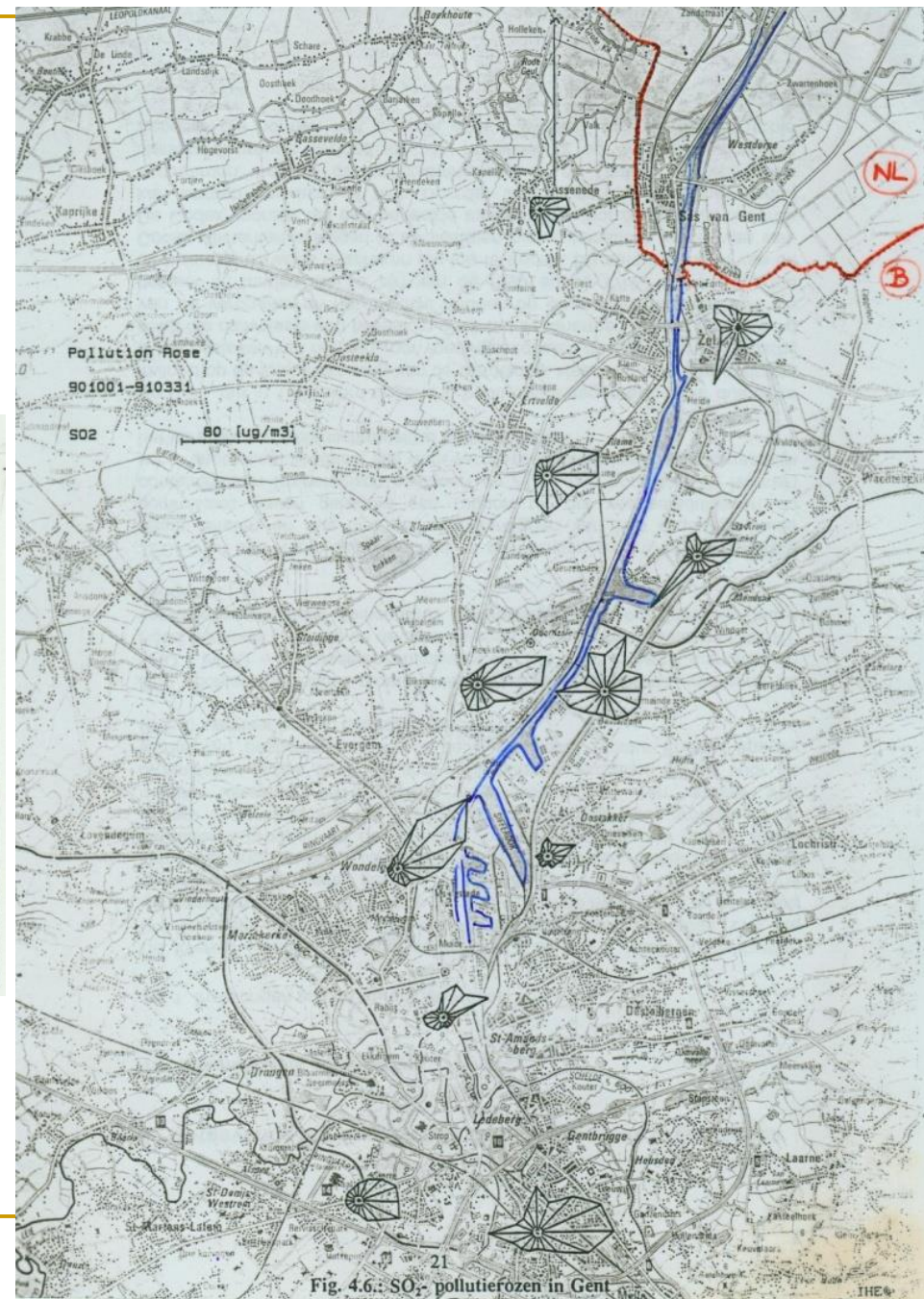


Bij inversieperiodes in de winter is de normale temperatuurverdeling (beneden warmer en hogerop kouder), **omgekeerd**. Daardoor blijft de vervuiling van  $SO_2$  ter plaatse en levert wintersmog op.

# Het Gentse snuffelpalen netwerk. Resultaten voor SO<sub>2</sub>



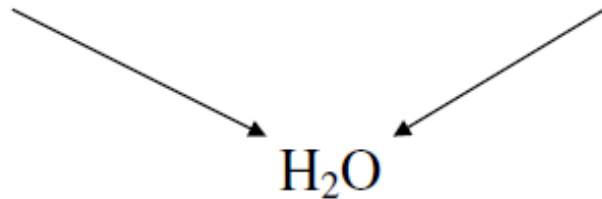
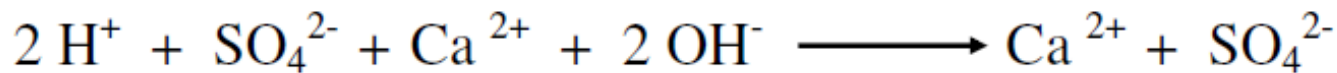
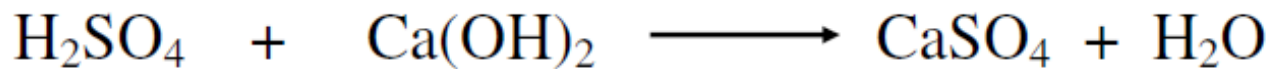
SO<sub>2</sub> verzuurt de slijmvliezen waardoor een acute hoestprikkel ontstaat.





Is het bekalken van zure meren en rivieren een oplossing ?

*Zuur + hydroxide → zout + water*



gips: oplosbaar  
troebelt water

Dit is een neutralisatiereactie, de pH is terug 7.

Maar de  $\text{SO}_4^{2-}$  is niet verminderd en blijft toxisch

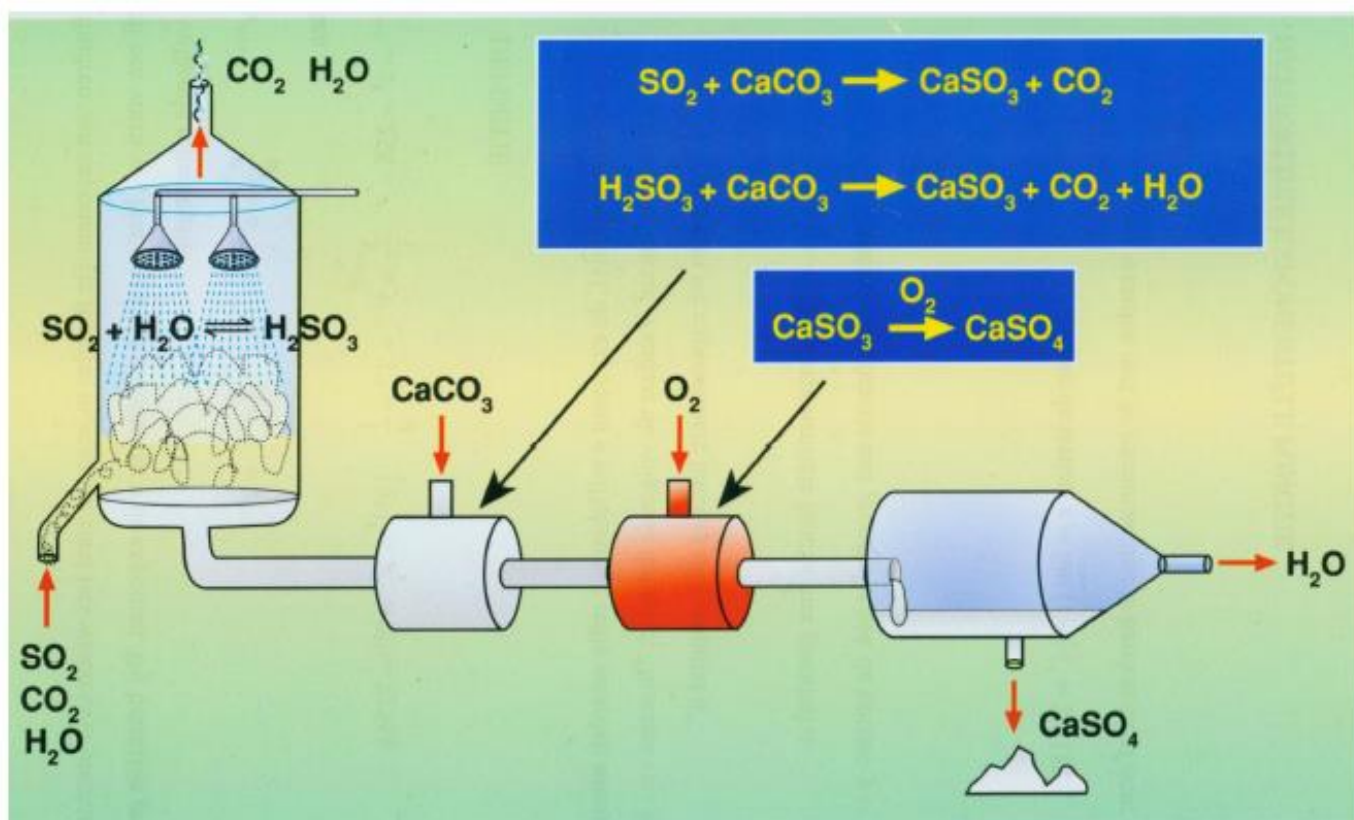
*↳ deze zwavel is dus nog steeds dezelfde die eerst in de brandstof aanwezig was*

---

Bekalken van verzuurde situaties is dus  
symptoombestrijding (end-of-the-pipe).

De enige oplossing is dus een brongerichte aanpak  
via aanwending van duurzame energiebronnen  
(zon, wind, water, biogas en warmte-kracht-  
koppeling) in plaats van de fossiele brandstoffen.

---



RO-gips: productie van gips door ontzwallen van Rookgassen

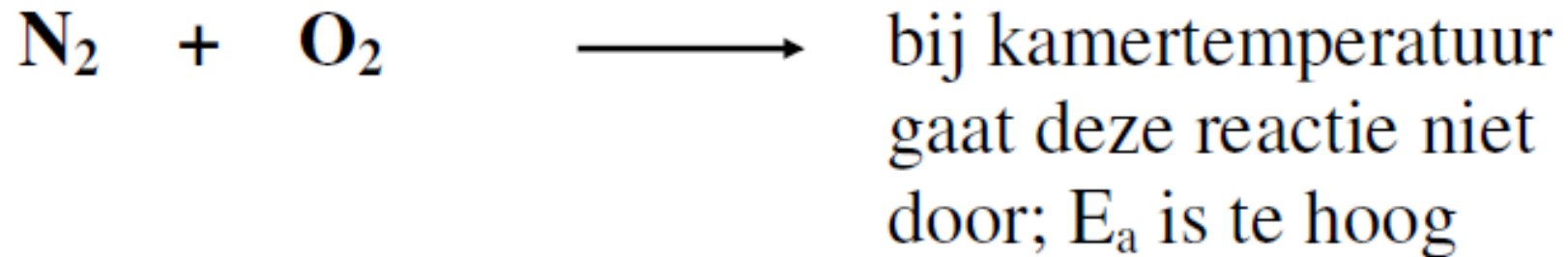
AGFA

Met  $\text{SO}_2$  vervuilde rookgassen kunnen worden gewassen met water. Door het ontstane zwaveligzuur te laten reageren met kalksteen ontstaat er gips ( $\text{CaSO}_4$ ). Dat zogenaamd sulfogips of ook RO-gips genaamd, kan als vervangproduct worden gebruikt in plaats van fosfogips (dat erg radioactief kan zijn) of van natuurgips (dat bij de winning veel landschappelijke schade kan opleveren) onder meer voor het maken van gipsplaten. Door de rook te wassen is de  $\text{SO}_2$  eruit en kan verzuurde neerslag worden voorkomen.

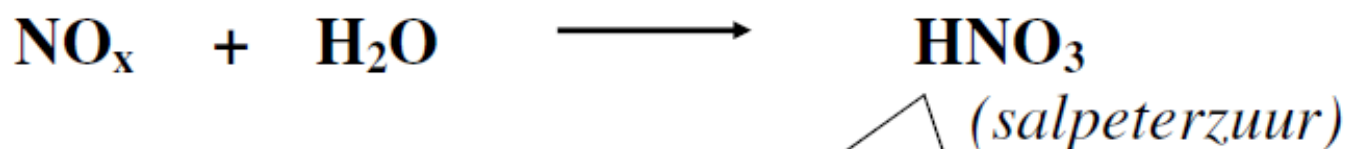
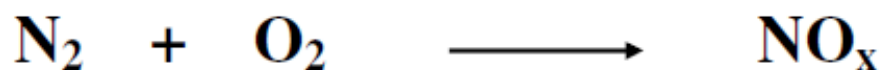


## 2. $\text{NO}_x$ (stikstofoxiden) (stijgende trend)

- diverse  $\text{NO}_x$  :  $\text{NO}$ ,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}_5$
- ca 180000 ton / j. ; stijgt met toename autoverkeer
- reacties:  $\text{N}_2$  gas neemt 4/5 in van de lucht:



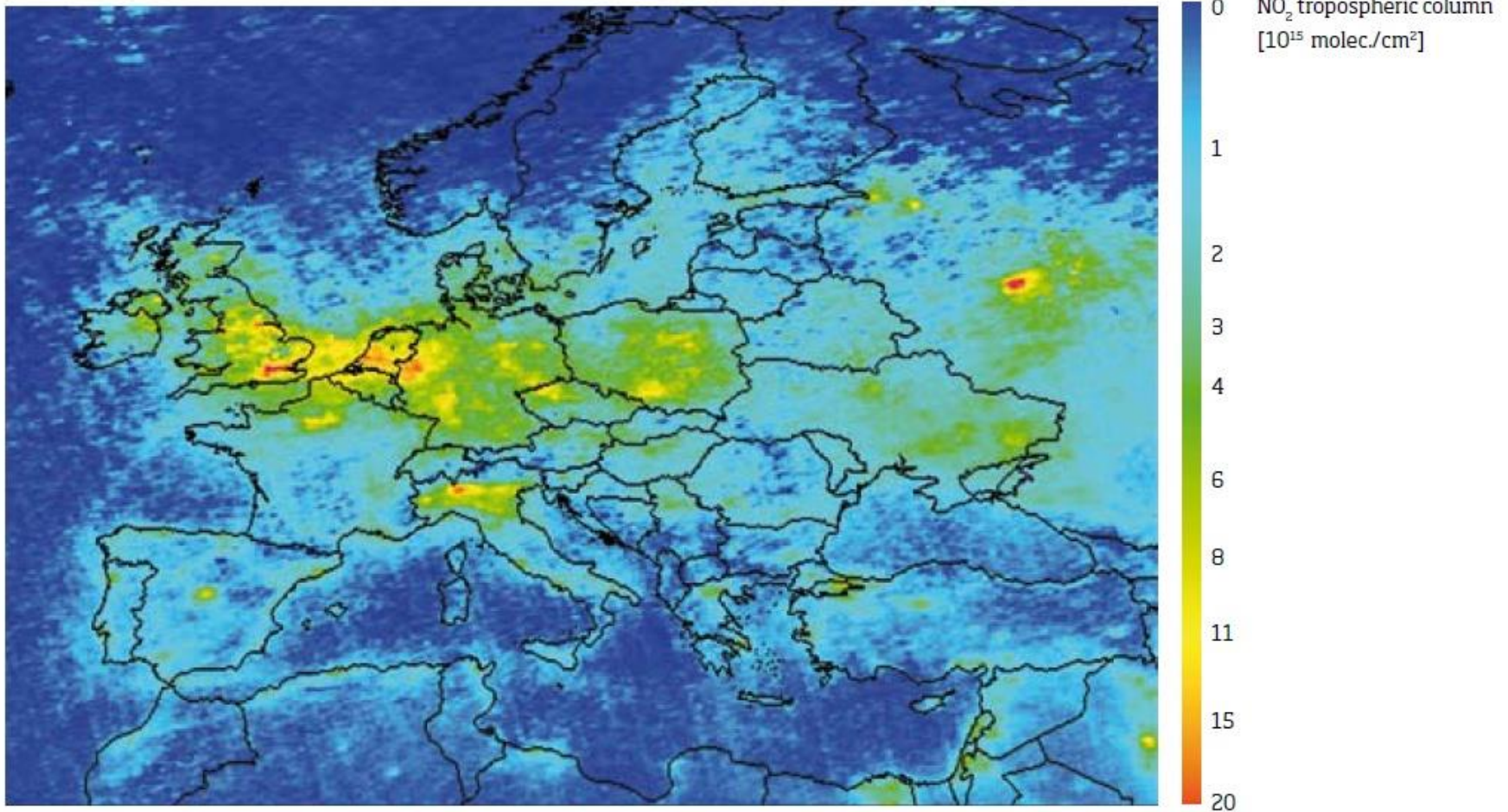
Wanneer de  $t^{\circ}\text{C} > 1100^{\circ}\text{C}$  gaat de reactie wel door en worden  $\text{NO}_x$  gevormd. B.v. in verbrandingsmotoren.



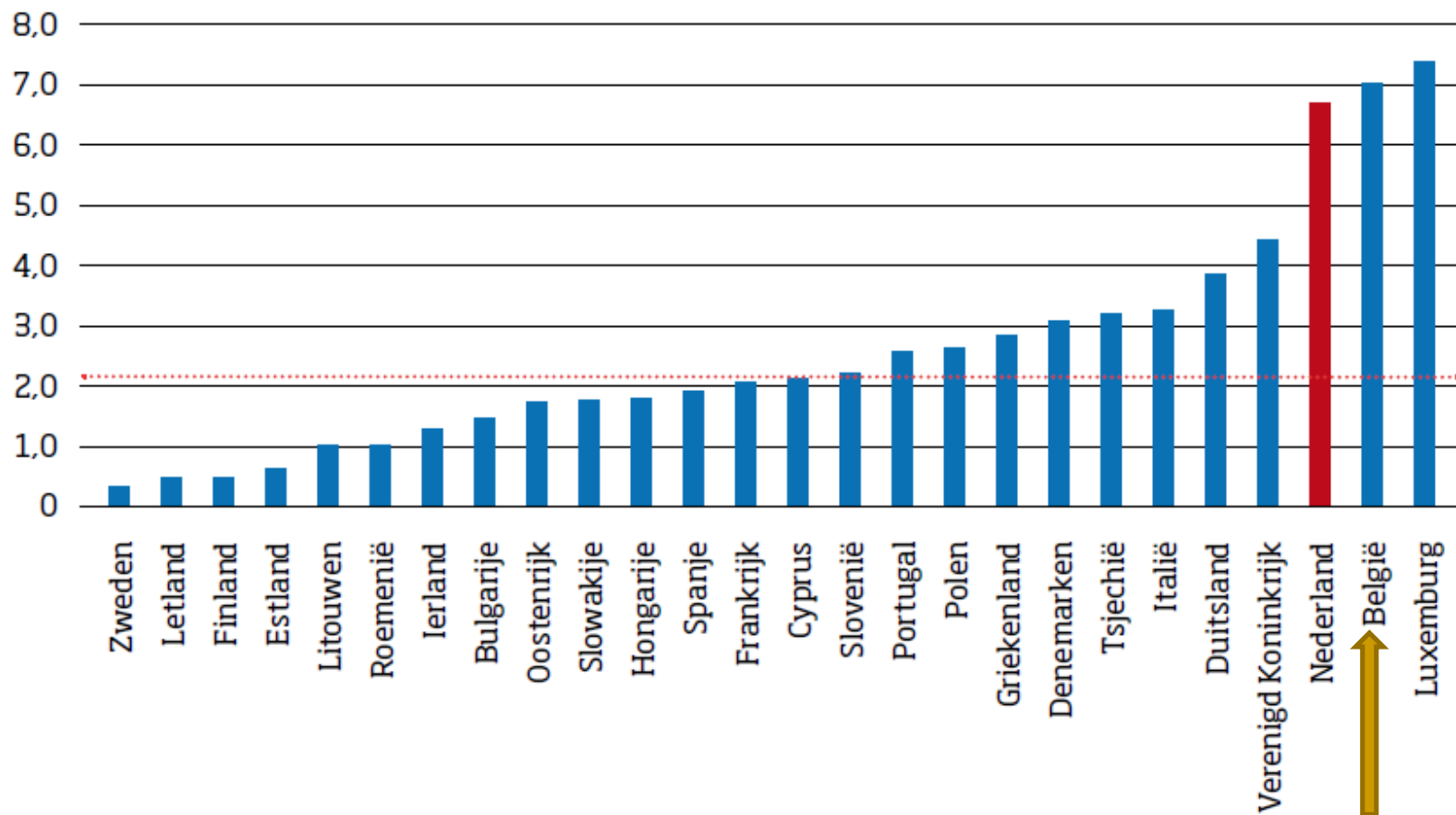
$\text{HNO}_3$  is een sterk zuur:  $\text{H}^+$  en  $\text{NO}_3^-$

De vorming van stikstofoxiden hangt dus samen met de gekozen verbrandingstechnologie

**Figuur 2: Satellietmeting van gemiddelde Europese concentraties NO<sub>2</sub> over september 2010**



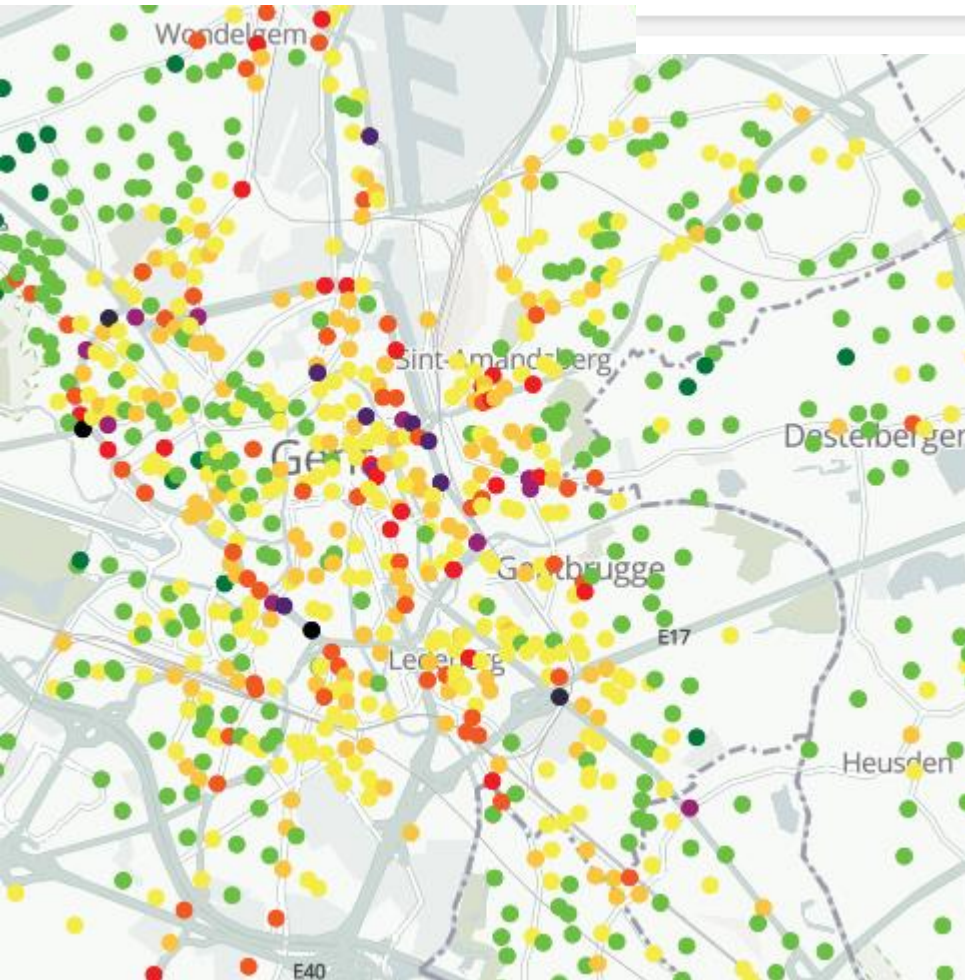
**Figuur 3: Gemiddelde NO<sub>x</sub>-uitstoot in ton per km<sup>2</sup> in Europese lidstaten over het jaar 2009 (NO<sub>x</sub> = NO<sub>2</sub> en NO). De rode lijn geeft het gemiddelde voor de EU weer.**



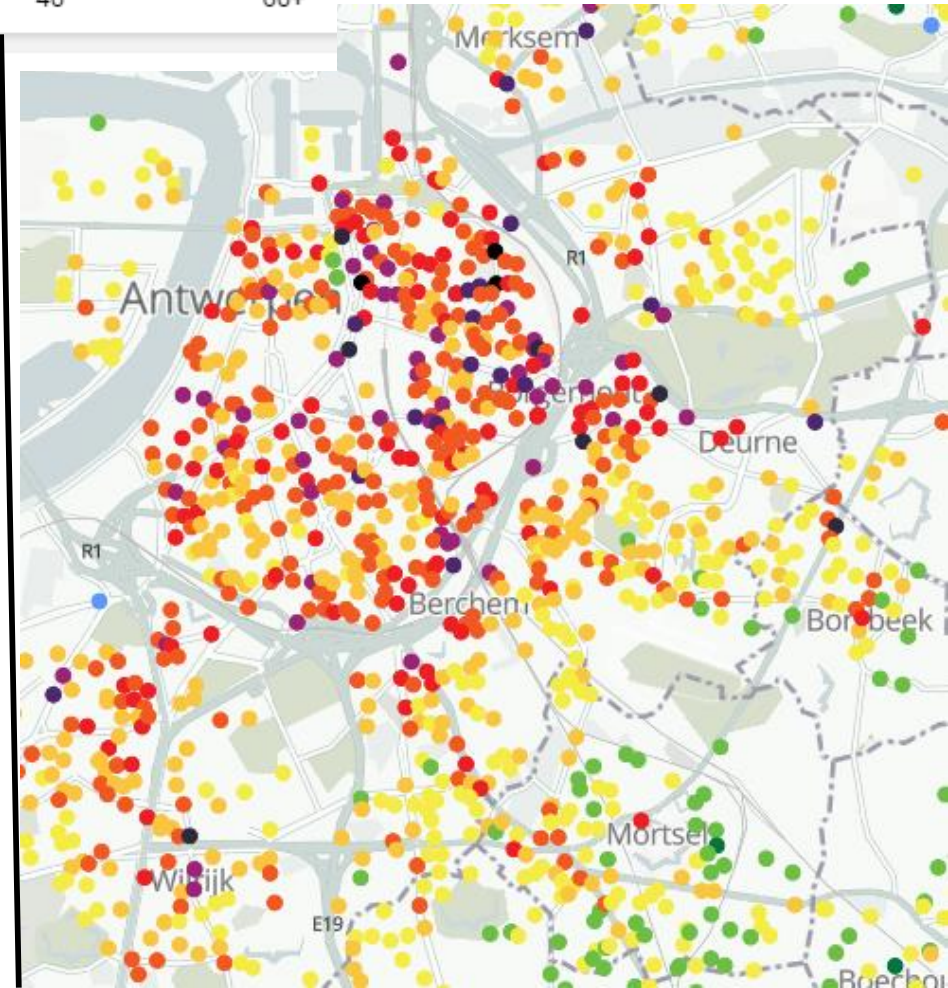
Bron: EEA 2011

<http://www.standaard.be/curieuzeneuzen/map/#8.55/51.07/4.3>

NO<sub>2</sub> - CONCENTRATIE (µg/m<sup>3</sup>)



GENT



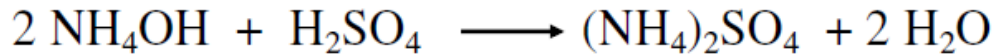
ANTWERPEN

### 3. NH<sub>3</sub> (ammoniak) (stijgende trend)

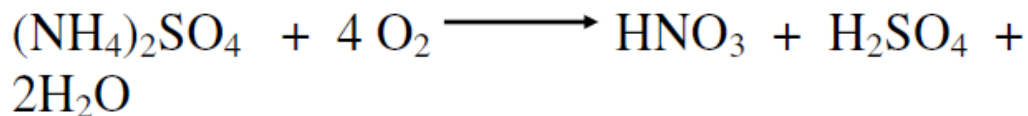
- 95% door landbouw: Oorzaak: Intensieve veehouderij
- Op eerste zicht niet verzurend, maar een alkalische stof:



Dit ammoniumhydroxide kan zelfs de verzuring met H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en HNO<sub>3</sub> neutraliseren:



- Maar dit zout komt opgelost in regenwater in de bodem terecht waar het door aërobe nitrificerende Bacteria wordt omgezet in verzurende stoffen:



# Forse reductie van de zure depositie is snel noodzakelijk...

1 mol  $\text{H}_2\text{SO}_4$  levert na splitsing 2 mol  $\text{H}^+$  op

1 mol  $\text{HNO}_3$  levert na splitsing 1 mol  $\text{H}^+$  op

*Definitie: 1 mol  $\text{H}^+$  / ha , jaar = 1 zuurequivalent*

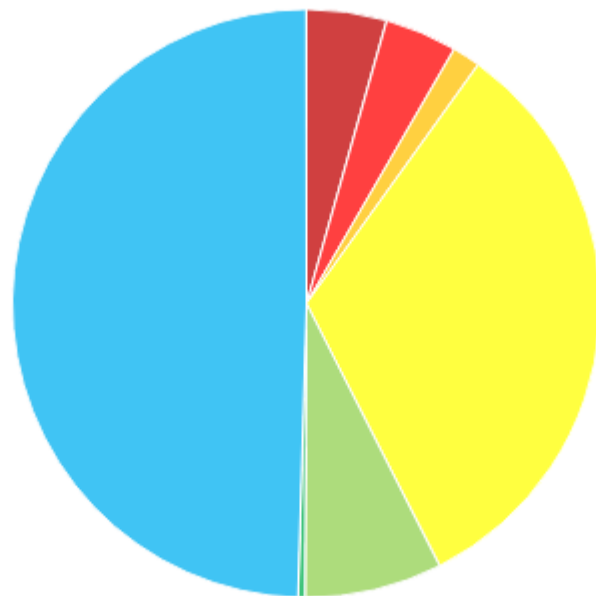
verzurende emissie (miljoen Zeq)	2000	2003	2006	2009	2010*	2011*
$\text{NH}_3$	3 374	3 041	2 635	2 447	2 482	2 504
$\text{SO}_2$	3 722	3 214	2 946	1 706	1 330	1 188
$\text{NO}_x$	4 470	4 060	3 699	2 961	3 172	3 006
<i>totaal</i>	<i>11 566</i>	<i>10 315</i>	<i>9 279</i>	<i>7 113</i>	<i>6 984</i>	<i>6 699</i>

Om schade aan de natuur te voorkomen gelden volgende maxima (RIVM):

- 700 mol  $\text{H}^+$  / ha . jaar: voor kalkarme vennen
- 1400 mol  $\text{H}^+$  / ha . jaar: naaldbossen en heide in Kempen
- 1800 mol  $\text{H}^+$  / ha . jaar: loofbossen op arme zandgronden
- 2400 mol  $\text{H}^+$  / ha . jaar: loofbossen op kalkrijkere gronden

Lange termijndoelstelling is 1400 mol  $\text{H}^+$  / ha . jaar tegen 2030.

## Aandeel sectoren en import tot de verzurende depositie (2013)



■ huishoudens ■ industrie ■ energie ■ landbouw ■ transport ■ handel & diensten ■ import

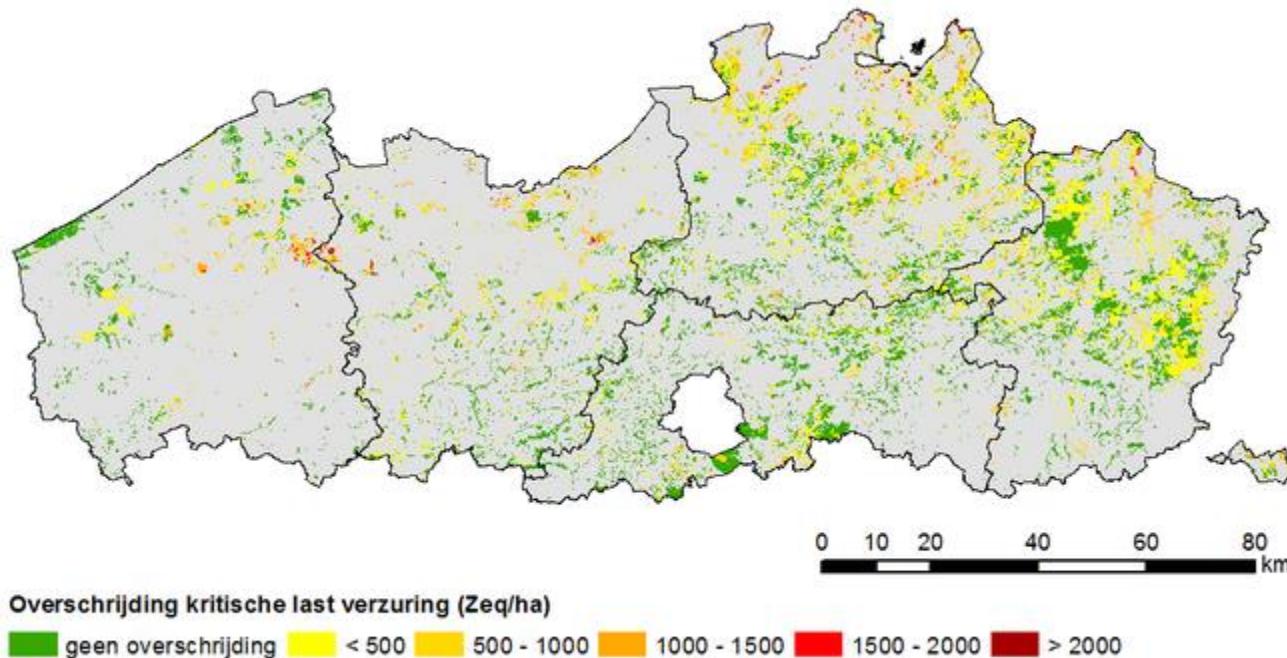
Verzuring is voor een groot deel het gevolg van grensoverschrijdende luchtverontreiniging. In 2013 was de helft van de totale verzurende depositie in Vlaanderen het gevolg van import. Daarom wordt de discussie over maatregelen voor emissiereductie eveneens in internationale context gevoerd. Binnen Vlaanderen valt het grootste deel van de verzurende depositie toe te schrijven aan de sector landbouw (33 %). Transport draagt voor 8 % bij, industrie en huishoudens voor 4 %.



# Belasting van de natuur in Vlaanderen door verzuring.

Bron: VMM-MIRA

Spreiding overschrijding kritische last verzuring in bos, heide en soortenrijk grasland (Vlaanderen, 2011)



<http://www.milieurapport.be/nl/feitencijfers/milieuthemas/verzuring/gevolgen-van-verzuring/oppervlakte-natuur-met-overschrijding-van-de-kritische-last-verzuring/>

Deze kaart maakt duidelijk dat de verzuring nog steeds hard toeslaat, vooral in natuurgebieden op de weinig gebufferde zandgronden in Vlaanderen en de Kempen.