



**KLUGER Transfer**

Klima – Umwelt – Gesundheit – Transfer

**MAX PLANCK INSTITUTE**  
FOR CHEMISTRY



# Ozonbildung in der Troposphäre

Kluger Transfer – 09.11.2023

**Dr. Clara Nussbaumer**

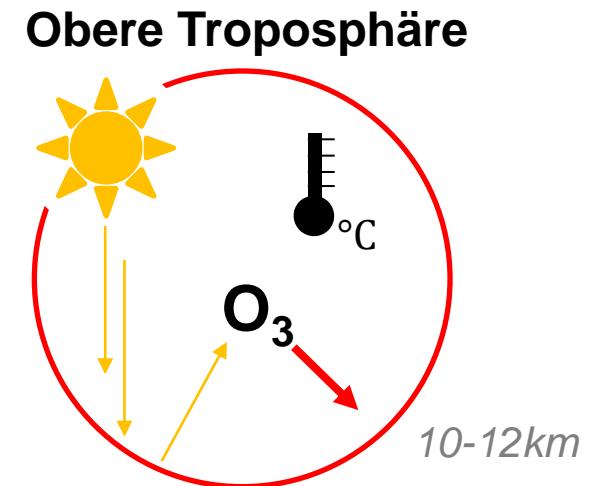
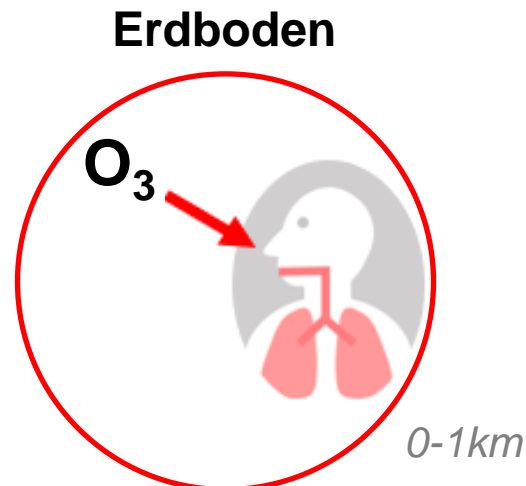
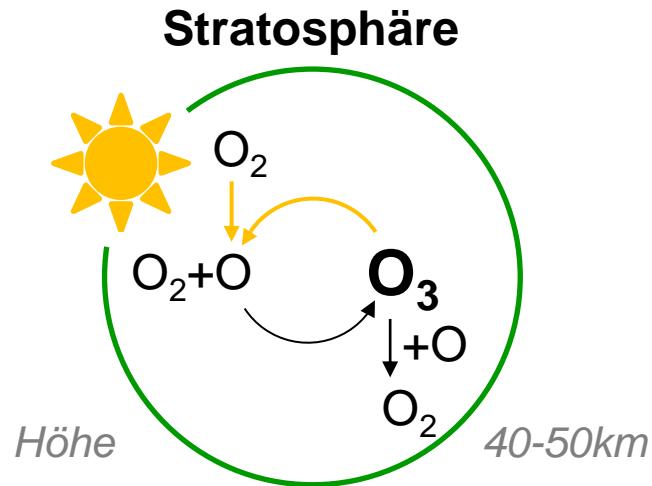
# Ozon in der Troposphäre hat negative Auswirkungen

**Lebenswichtig** für das Leben auf der Erde beim Vorkommen in der Stratosphäre (Ozonschicht)

Negative Effekte in der Troposphäre (Boden – ca. 12 km Höhe):

**Gesundheit:** Erkrankungen der Atemwege und des kardiovaskulären Systems

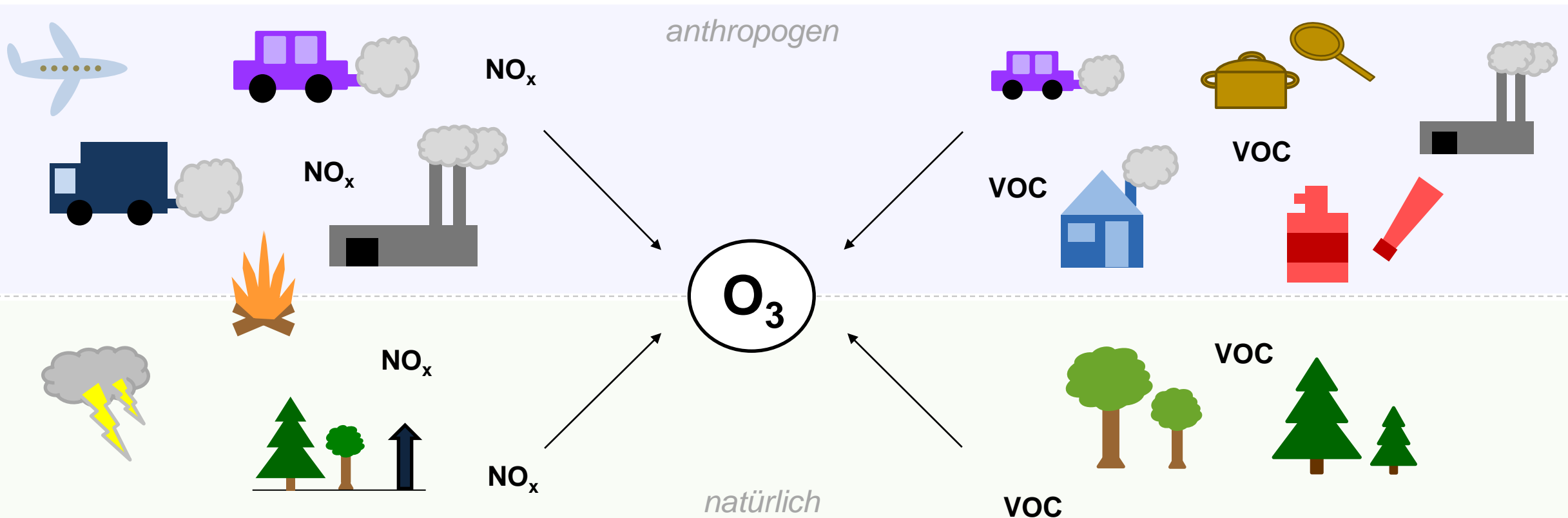
**Klimawandel:** 3. wichtigstes Treibhausgas (nach CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub>)



# Die Quellen der Ozon-Vorläufer $\text{NO}_x$ und VOCs sind vielseitig

Stickoxide  $\text{NO}_x$  ( $\equiv \text{NO} + \text{NO}_2$ )

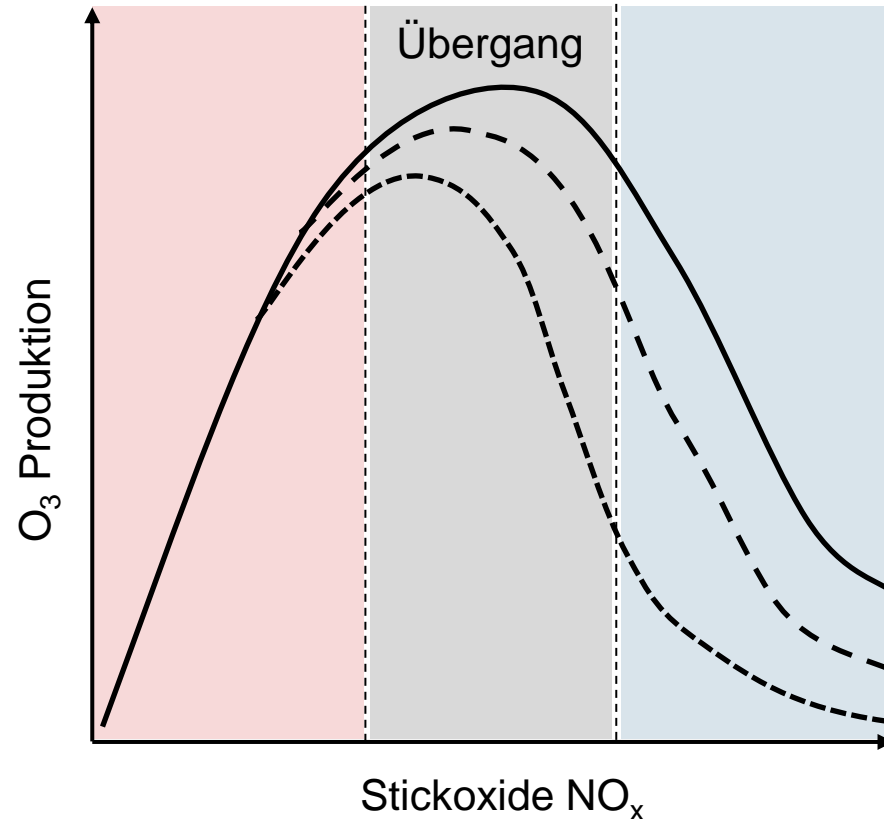
Flüchtige organische Substanzen **VOC**



# Änderungen in $\text{NO}_x$ können unterschiedliche Auswirkungen auf die Ozonbildung haben

## **$\text{NO}_x$ sensitiv**

- $\text{NO}_x$  niedrig
- VOC hoch



## **VOC sensitiv**

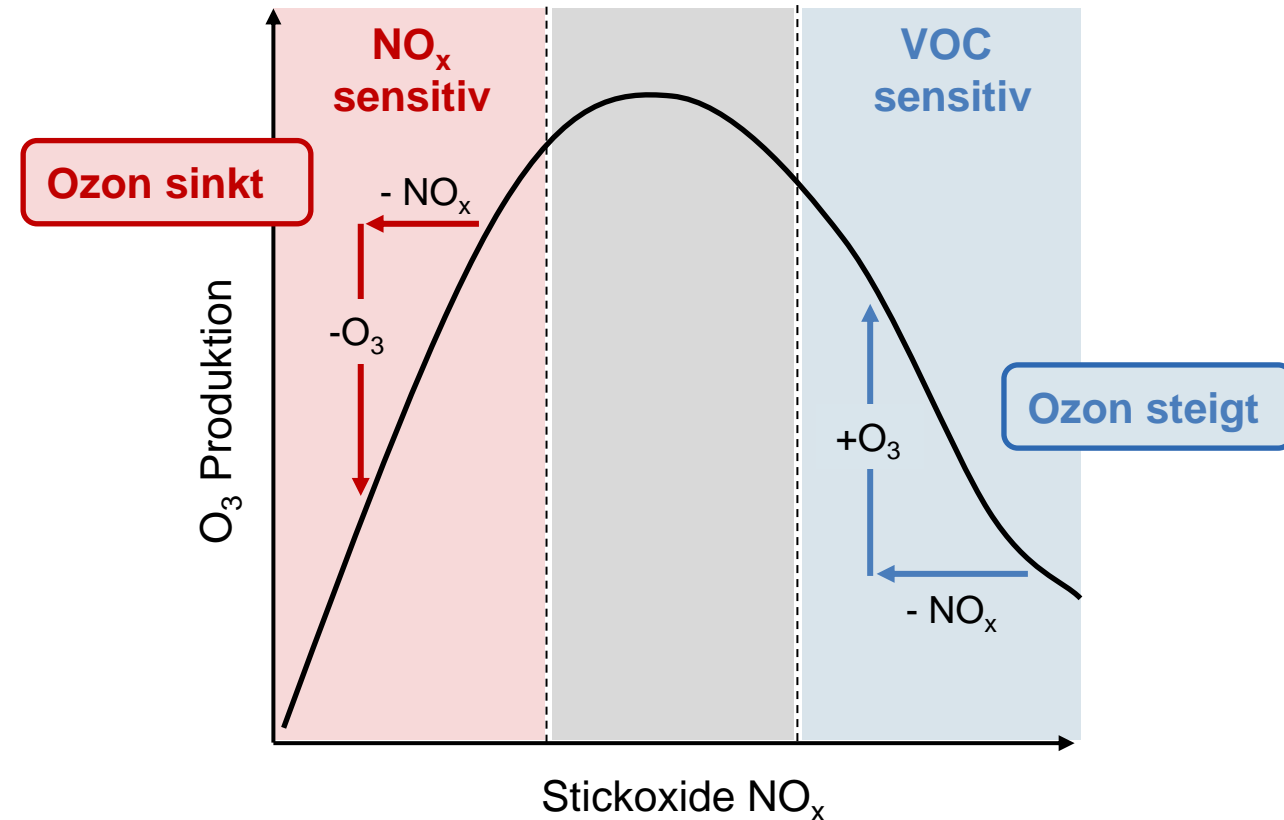
- $\text{NO}_x$  hoch
- VOC niedrig

# Mit dem Wochenend-Effekt lässt sich die O<sub>3</sub> Sensitivität bestimmen

- NO<sub>x</sub> Werte sinken am Wochenende wegen verringertem Verkehr (insbesondere Lastwagen)



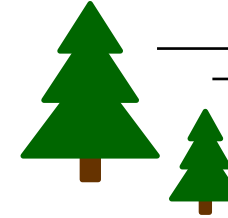
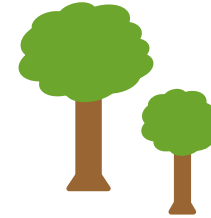
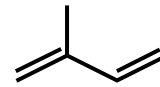
- Reaktion der Ozonwerte auf diese Veränderung zeigt die Sensitivität an



Adapted from Nussbaumer et al. (2023), doi:10.25358/openscience-9272

## Welche Rolle spielen Bäume bei der Ozonbildung?

- Bäume emittieren VOCs, z. B. Isopren ( $C_5H_8$ )  
oder Monoterpene ( $C_{10}H_{16}$ )
- Menge an VOCs ist abhängig von der Baumart



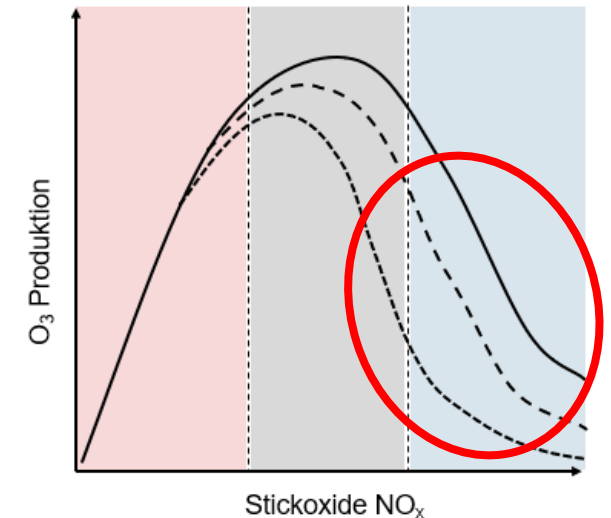
VOC  
VOC  
VOC

+ Linde (~24% in deutschen Städten\*), Ahorn (~15%\*), Kastanie (~4%\*)

- Platane (~6%\*), Eiche (~9%\*), Pappel

\*<https://www.sdw.de/ueber-den-wald/waldwissen/baeume-in-der-stadt/>

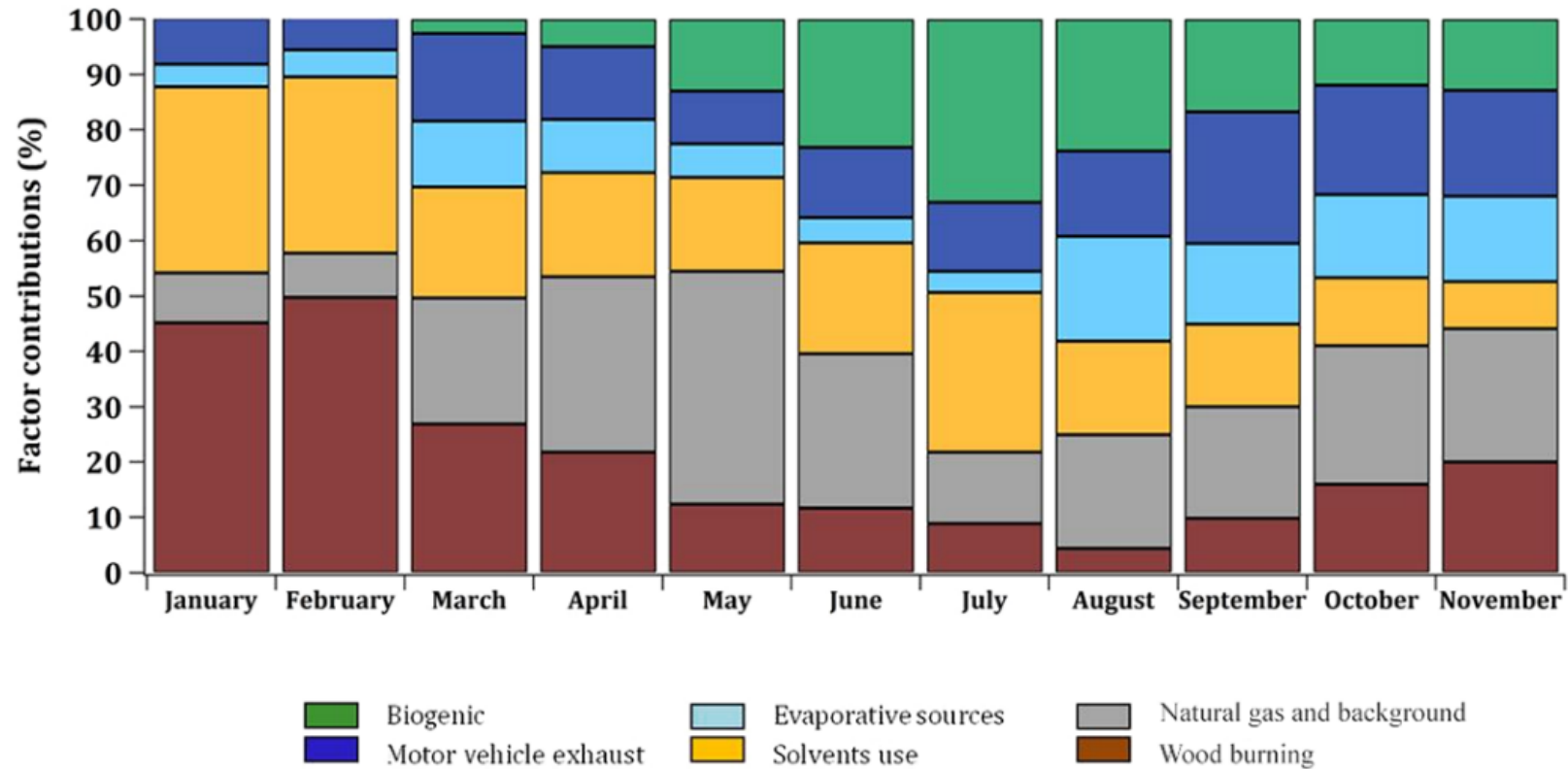
- Wichtig: Einfluss auf die Ozonbildung nur bei VOC sensitiver Ozonchemie (bei hoher Verschmutzung durch  $NO_x$ )



Adapted from Nussbaumer et al. (2023),  
doi:10.25358/openscience-9272

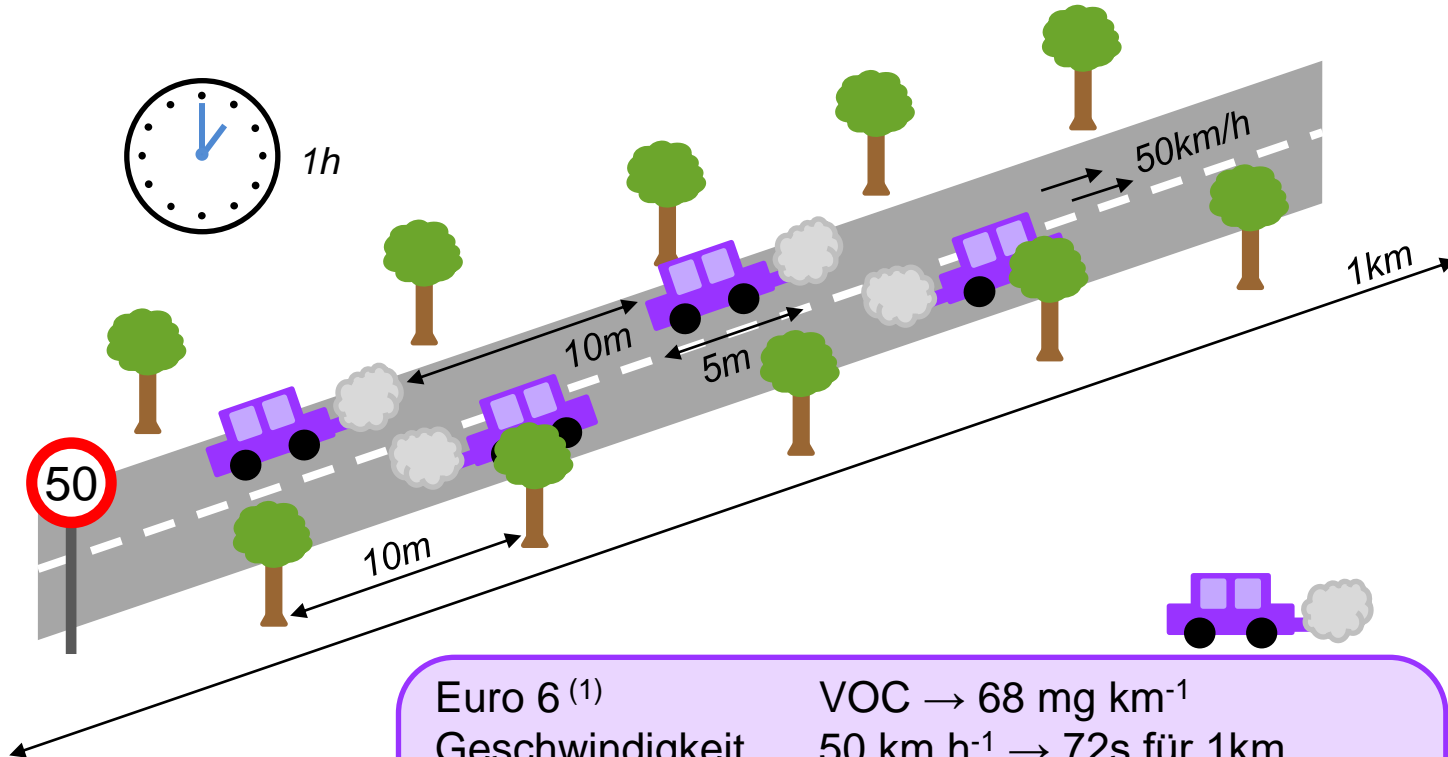
# Nur ein kleiner Anteil der VOCs wird von Bäumen emittiert

Beispiel Paris



Adapted from Baudic et al. (2016), doi:10.5194/acp-16-11961-2016

# Fallbeispiel: Straße durch Baumallee



Euro 6 <sup>(1)</sup>      VOC → 68 mg km<sup>-1</sup>  
 Geschwindigkeit    50 km h<sup>-1</sup> → 72s für 1km  
 Sicherheitsabstand 10 m → ~130 Autos gleichzeitig\*  
 Zeit                    1 h → 6500 Autos  


---

 m(VOC) = 68 mg x 6500 = **442 g**

Abstand Bäume      10 m  
 Anzahl Bäume        200 (1000 m / 10 m x 2)  
 Zeit                    1 h  
  
Beispiel 1: Eiche <sup>(2),(3)</sup>  
 max. Emission(VOC) = 60 mg kg<sup>-1</sup> (h<sup>-1</sup>)  
 ρ(Blatt) = 0.32 kg m<sup>-2</sup>  
 A(Blatt) = 50 cm<sup>2</sup> = 0.005 m<sup>2</sup>  
 #(Blätter) = 20.000  
 m(Blätter) = 32 kg  
 m(VOC)<sub>1Baum</sub> = 60 mg kg<sup>-1</sup> x 32 kg = 1.9 g  


---

 m(VOC)<sub>gesamt</sub> = 1.9 g x 200 = **380 g**  
  
Beispiel 2: Ahorn <sup>(2),(4)</sup>  
 max. Emission(VOC) = 3 mg kg<sup>-1</sup> (h<sup>-1</sup>)  
 m(Blätter) = 32 kg  
 m(VOC)<sub>1Baum</sub> = 3 mg kg<sup>-1</sup> x 32 kg = 0.1 g  


---

 m(VOC)<sub>gesamt</sub> = 0.1 g x 200 = **20 g**

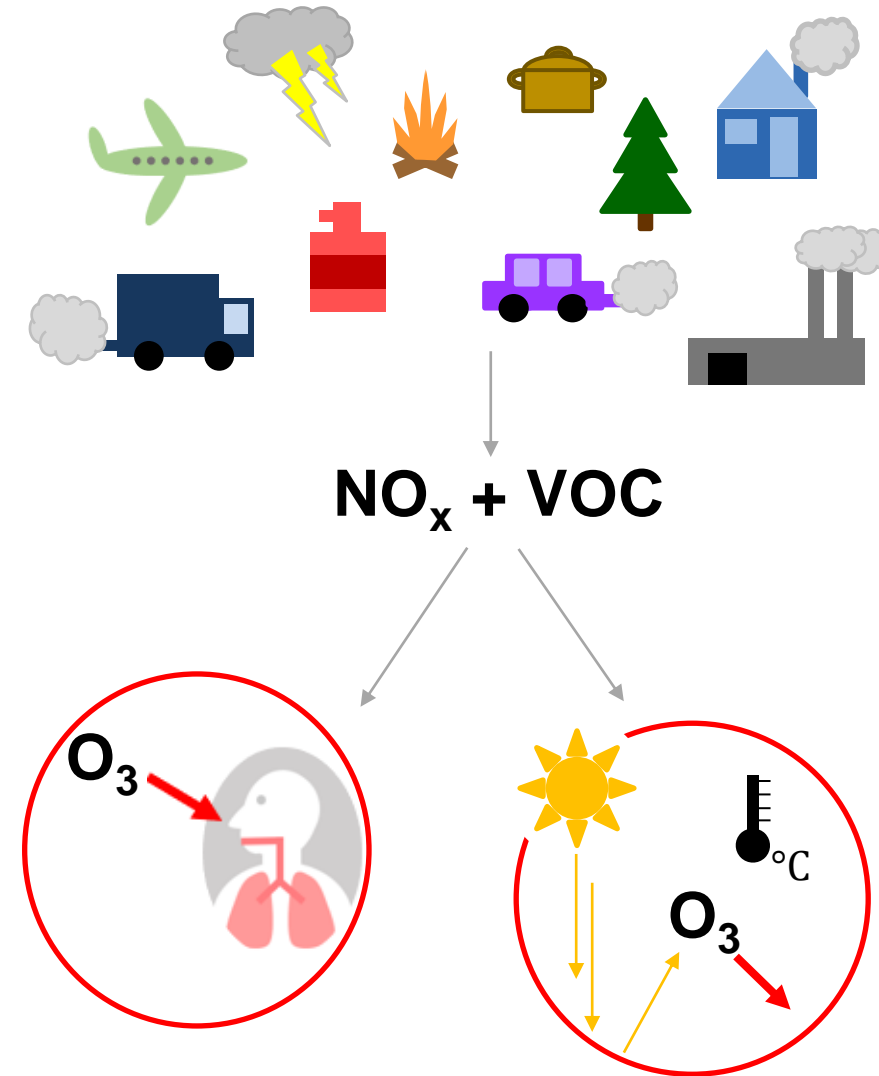
<sup>(1)</sup> Umweltbundesamt, 2016  
<sup>(2)</sup> D. Simpson et al., JGR, 104 (D7), 8113–8152, 1999  
<sup>(3)</sup> SWD Bundesverband, Die Eichen  
<sup>(4)</sup> SWD Bundesverband, Der Bergahorn

\*beide Richtungen, 5m Autolänge



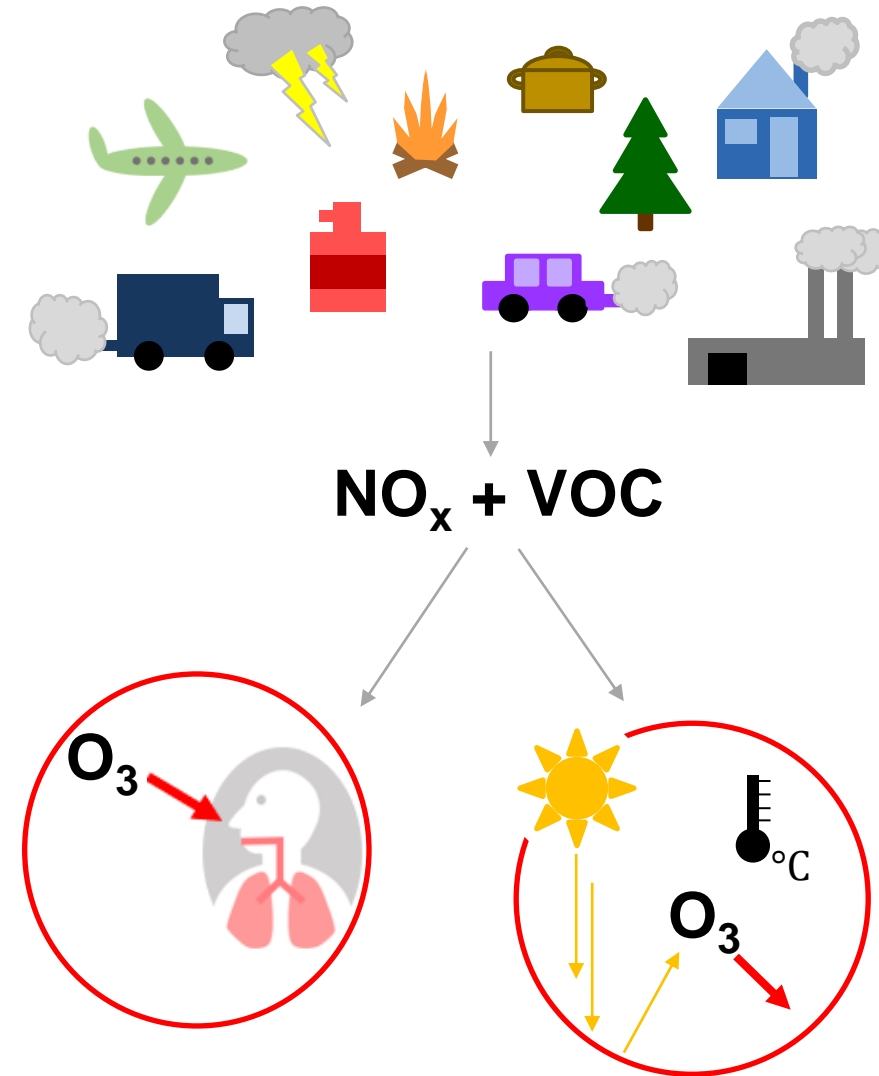
## Fazit

- 1 Bodennahes Ozon ist gesundheitsschädlich und beschleunigt den Klimawandel.
- 2 Ozon wird von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) und flüchtigen organische Substanzen (VOCs) gebildet.
- 3 Ozon kann in Städten sowohl steigen als auch sinken, wenn die Konzentration von Stickoxiden abnimmt.
- 4 VOCs haben nur in stark verschmutzten Städten einen Einfluss auf die Ozonbildung.
- 5 Bäume haben in deutschen Städten vermutlich nur eine sehr geringe Auswirkung auf Ozon.
- 6 Der beste Langzeiteffekt ist die Senkung von  $\text{NO}_x$  Emissionen.



## Vielen Dank

- 1 Bodennahes Ozon ist gesundheitsschädlich und beschleunigt den Klimawandel.
- 2 Ozon wird von Stickoxiden ( $\text{NO}_x$ ) und flüchtigen organische Substanzen (VOCs) gebildet.
- 3 Ozon kann in Städten sowohl steigen als auch sinken, wenn die Konzentration von Stickoxiden abnimmt.
- 4 VOCs haben nur in stark verschmutzten Städten einen Einfluss auf die Ozonbildung.
- 5 Bäume haben in deutschen Städten vermutlich nur eine sehr geringe Auswirkung auf Ozon.
- 6 Der beste Langzeiteffekt ist die Senkung von  $\text{NO}_x$  Emissionen.





## Quellen

- A. J. Curtis et al., Biogenic volatile organic compound emissions from nine tree species used in an urban tree-planting program, *Atmospheric Environment*, 95, 634-643, **2014**, doi: 10.1016/j.atmosenv.2014.06.035
- D. Simpson et al., Inventorying emissions from nature in Europe, *Journal of Geophysical Research*, 104 (D7), 8113–8152, **1999**, doi: 10.1029/98JD02747
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald Bundesverband e. V., Bäume in der Stadt, **2023**, <https://www.sdw.de/ueber-den-wald/waldwissen/baeume-in-der-stadt/>
- C. M. Nussbaumer und R. C. Cohen, The Role of Temperature and NO<sub>x</sub> in Ozone Trends in the Los Angeles Basin, *Environmental Science & Technology*, 54, 652–15 659, **2020**, doi: 10.1021/acs.est.0c04910
- C. M. Nussbaumer, Nitrogen oxides and their involvement in photochemical processes throughout the troposphere, **2023**, doi:10.25358/openscience-9272
- Baudic, A. et al., Seasonal variability and source apportionment of volatile organic compounds (VOCs) in the Paris megacity (France), *Atmos. Chem. Phys.*, 16, 11961–11989, **2016**, doi: 10.5194/acp-16-11961-2016
- Umweltbundesamt, Grenzwerte für Schadstoffemissionen von PKW, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/dateien/tabelle\\_grenzwerte\\_fuer\\_schadstoffemissionen\\_von\\_pkw.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/bilder/dateien/tabelle_grenzwerte_fuer_schadstoffemissionen_von_pkw.pdf), **2016**
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald Bundesverband e. V., Die Eichen, [https://www.sdw.de/fileadmin/Bundesverband/01\\_Dateien/Infobl%C3%A4tter/Faltblatt\\_Eiche.pdf](https://www.sdw.de/fileadmin/Bundesverband/01_Dateien/Infobl%C3%A4tter/Faltblatt_Eiche.pdf)
- Schutzgemeinschaft Deutscher Wald Bundesverband e. V., Der Bergahorn, [https://www.sdw.de/fileadmin/Bundesverband/01\\_Dateien/Infobl%C3%A4tter/Faltblatt\\_Bergahorn.pdf](https://www.sdw.de/fileadmin/Bundesverband/01_Dateien/Infobl%C3%A4tter/Faltblatt_Bergahorn.pdf)