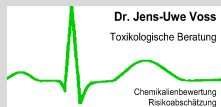


Gesundheitsgefährdung durch Stickoxide

Dr. Jens-Uwe Voss
Toxikologische Beratung
Müllheim

Voss@Toxikologische-Beratung.de

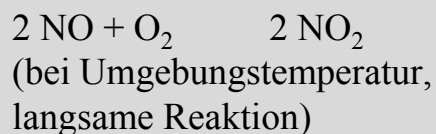
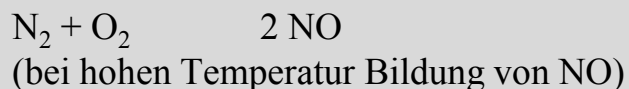


Stickstoffdioxid

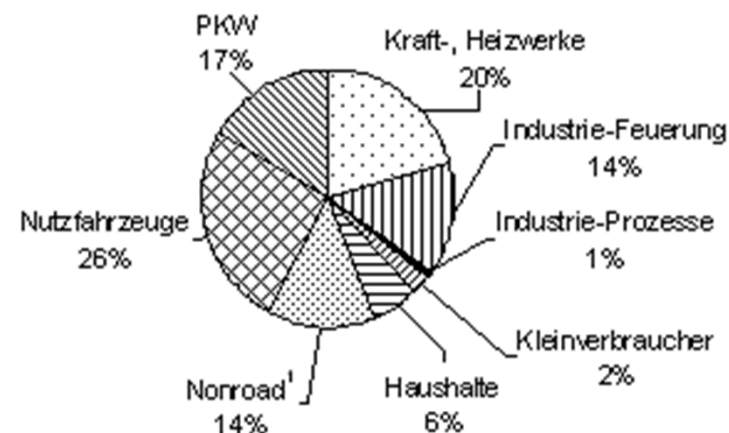
Quellen der Außenluftbelastung

- natürliche Quellen: Gewitter
- anthropogene Quellen:

Verbrennungsprozesse

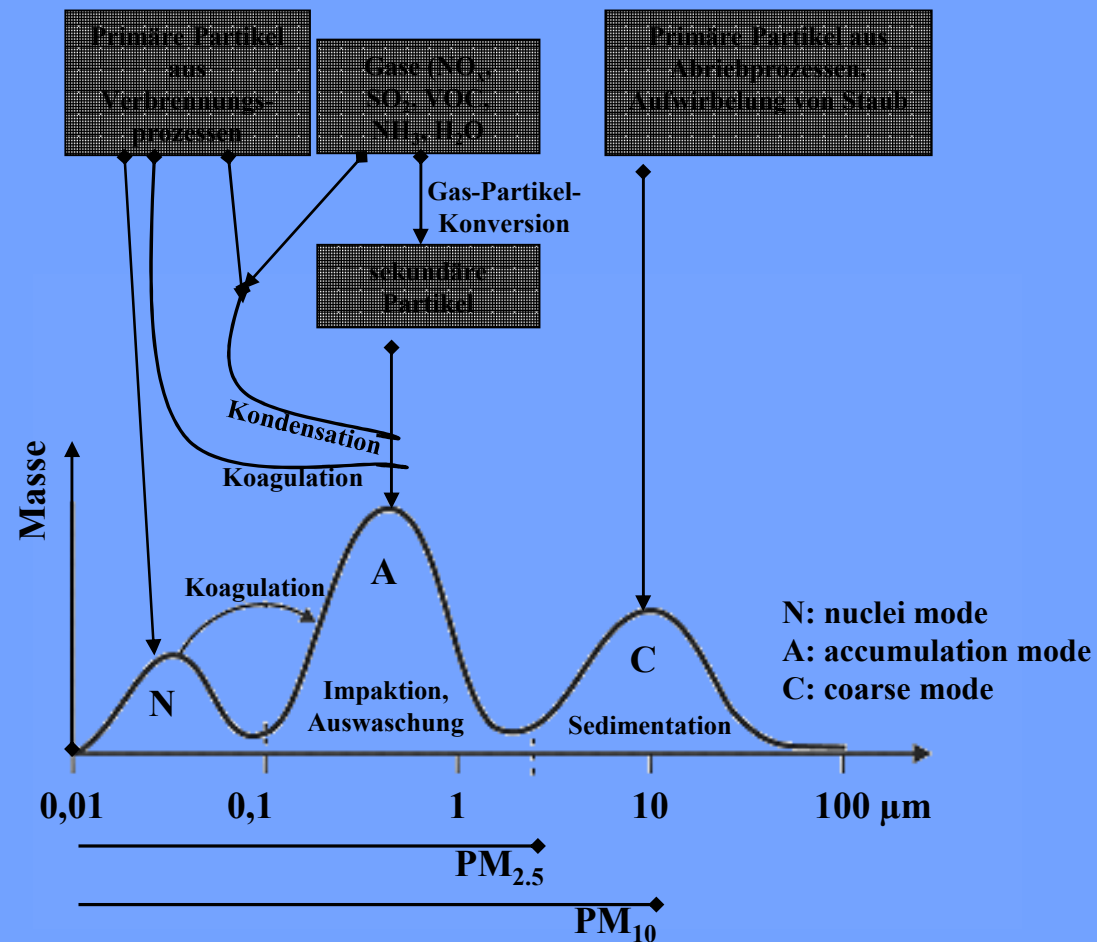


- stets im Gemisch mit Partikeln und anderen Substanzen



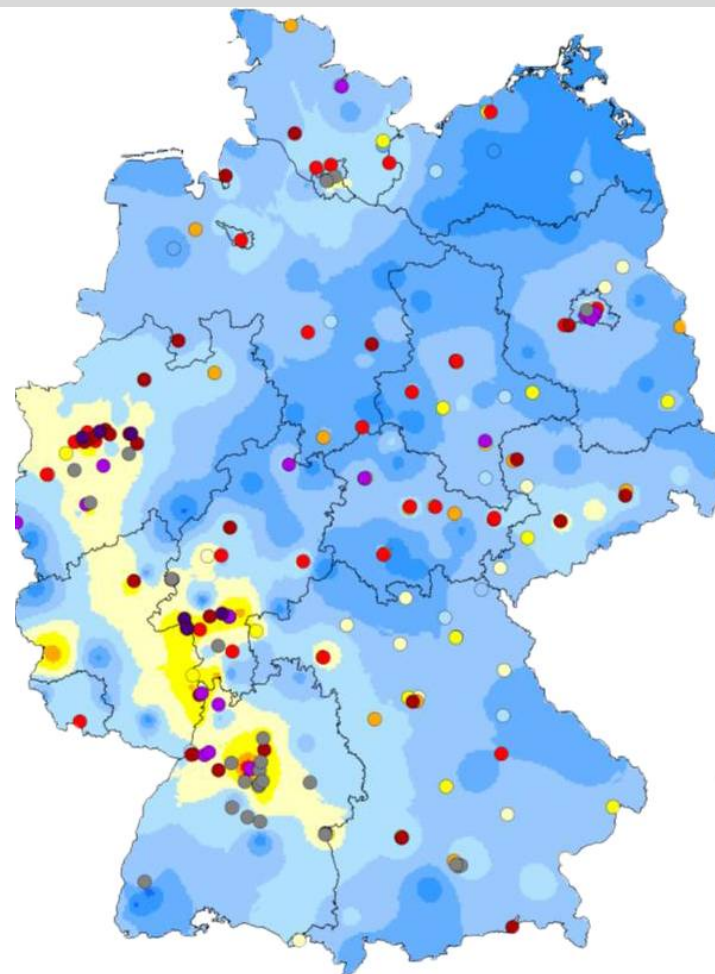
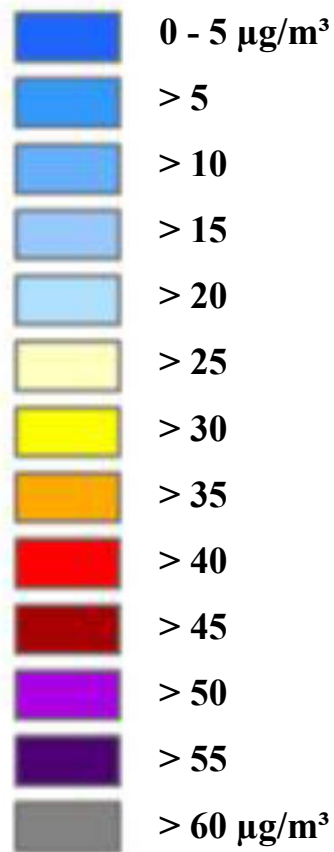
¹ Schienen-, Flug-, Schiffs-Verkehr, Landwirtschaft, Baumaschinen etc.

Schadstoffe in der Außenluftstaub: Herkünfte und Prozesse



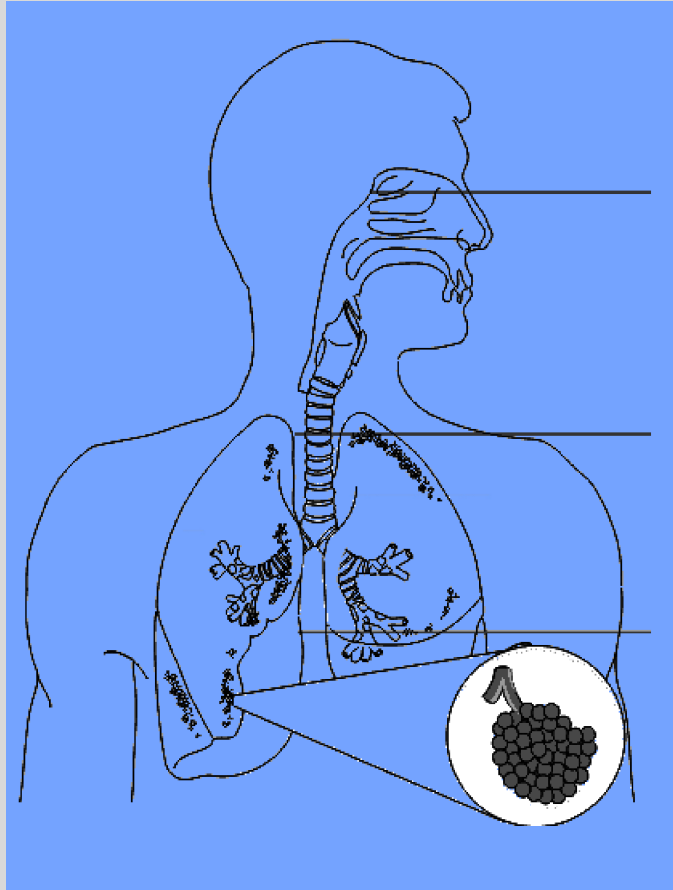
NO₂-Konzentration in der BRD: Jahresmittelwerte 2011

**Grenzwert seit
1. Januar 2010:
40 µg/m³**



(Quelle: Erstellt vom
Umweltbundesamt mit Daten der
Messnetze der Länder und des
Bundes,
www.env-it.de/luftdaten)

Stickstoffdioxid im Atemtrakt



Mäßig wasserlösliches Gas

**Geruch: stechend, an Ozon und Chlor
erinnernd, Geruchschwelle ca. 200 – 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

**Aufnahme und Effekte
überwiegend in tieferen Regionen:**

terminale Bronchiolen und Lungenbläschen

Gesundheitliche Wirkungen: Studientypen

- **Toxikologische Studien**
(Mensch, Versuchstier, Zellkultur):
 - **Einzelsubstanz NO₂**
kontrollierte Exposition (Zeit, Konzentration)
im Labor

- **Epidemiologische Studien (Mensch):**
 - **Gemische** von NO₂ mit
anderen Luftschadstoffen (PM, Dieselruß, Kohlenmonoxid)
reale Umweltbedingungen

Toxikologische Untersuchungen

Toxische Wirkungen von Stickstoffdioxid

- Atemwege:
 - Reizung, bei hohen Konzentrationen: Lungenödem, Latenzzeit!
 - Beeinträchtigung der Lungenfunktion
 - Gewebeschädigung
 - Genotoxische Effekte, insbesondere bei Erschöpfung schützender Mechanismen
 - Schädigung von Abwehrzellen in der Lunge
 - Auslösen von Entzündungsreaktionen
- Im Körper: indirekt als Folge der lokalen Wirkung in den Atemwegen

Toxikologische Untersuchungen

Humanexperimentelle Untersuchungen (NO₂ als Einzelstoff)

- an gesunden Probanden und Personen mit leichten Ausprägungen von Asthma oder COPD
- kurzfristige Exposition (< 3 h)
- Gesunde: kein Effekt bei 1 – 2 mg/m³ (1000 – 2000 µg/m³)
- Vorerkrankte: Verstärkung der NO₂-Wirkung durch andere Reize (Allergene, Kaltluft, Histamin)
- leichte Effekte noch im Bereich von 375– 565 µg/m³ (LOAEC)
- **200 µg/m³ ohne eindeutige Effekte (NOAEC)**

Stickstoffdioxid – Ableitung des Grenzwerts

EU-Kommission, Vorschlag aus dem Jahr 1997:

- „New limit values ... based on ...
revised Air Quality Guidelines (AQG) for Europe
adopted by the World Health Organisation (WHO)

WHO Air Quality Guidelines for Europe,

„Summary of the Guidelines“ (WHO, 2000)

- **Kurzfristig tolerabel:** 200 µg/m³ (1-h-Wert)
- **Langfristig tolerabel:** kein Schwellenwert ableitbar,
“Expertenabschätzung”: 40 µg/m³ (Jahresmittel)

Epidemiologische Untersuchungen

Daten zur Immissionsbelastung der Außenluft im Untersuchungsbereich, aus Messprogrammen oder Modellierungen

Daten zur gesundheitlichen Situation in der untersuchten Bevölkerungsgruppe (Sterblichkeit, Erkrankungshäufigkeit etc.)

Zusammenhang?
Wenn ja, Ermittlung quantitativer Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen

Zeitreihenstudien

- **Kurzzeiteffekte**

Untersuchung kurzzeitiger Veränderungen der Immission (meist von Tag zu Tag) und damit verbundenen Schwankungen der

- **Zahl an Sterbefällen,**
- **Aufnahmen in Krankenhäuser,**
- **Verschlechterung von Asthma,**
- **Verschlechterung von Lungenfunktionswerten,**
- **klinische Veränderungen,**
- **...**

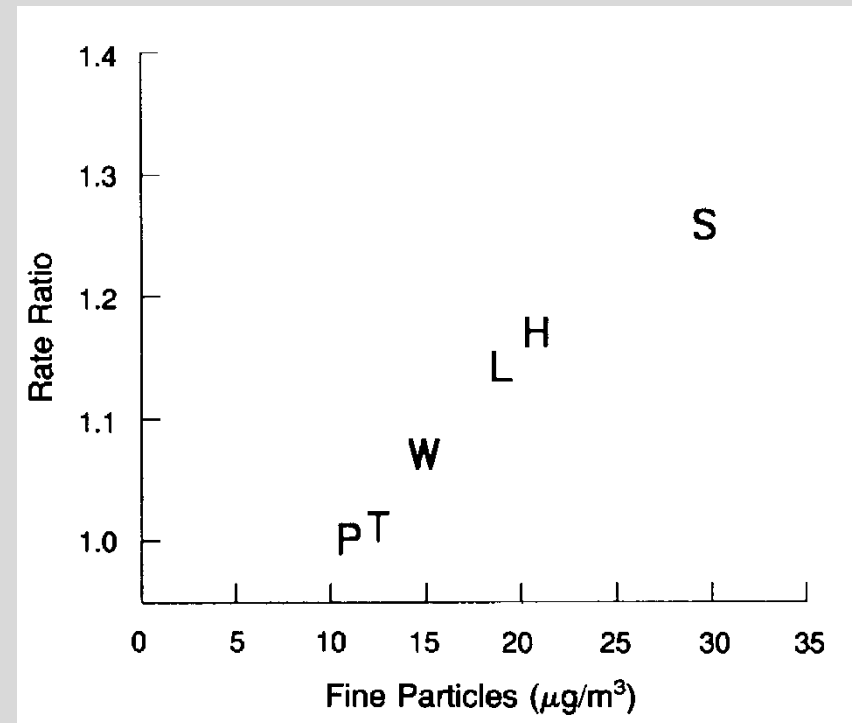
- **Langfristige Folgen werden nicht erfasst!**

Kohortenstudien

- **Langfristige Beobachtung großer Bevölkerungsgruppen über Jahre bis Jahrzehnte,**
- **Vergleich von möglichst vielen Gebieten mit möglichst unterschiedlich hoher Immissionsbelastung,**
- **Berücksichtigung weiterer Faktoren verbessert Aussagekraft (z.B. Rauchen, BMI, Alter, Bildung, Sozialstatus),**
- **aufwendige Studien, lange Dauer, kostenintensiv,**
- **zunächst vor allem Zusammenhänge mit Feinstaubbelastung, inzwischen aber mehr und mehr auch zu Stickstoffdioxid.**

Beispiel einer Kohortenstudie: Partikelbelastung und Mortalität

- „Harvard Six City Study“
 - Kohortenstudie
 - ca. 8000 Erwachsene (25 – 74 Jahre alt)
 - 6 US-Städte
 - 14 – 16 Jahre
- Mortalität in Zusammenhang mit der Höhe der Schadstoffbelastung
 - RR: 1,26 (= 26 %) pro Anstieg von PM_{2,5} um 18,6 µg/m³



Quelle: Dockery et al., 1993

Stickstoffdioxid

Epidemiologische Studien – Übersicht

- NO₂ als Leitsubstanz der Immissionsbelastung, stets im Gemisch mit anderen Luftschadstoffen, Konzentrationen meist stark korreliert
- Zusammenhänge aber auch nach Berücksichtigung anderer Außenluft-Schadstoffe (v.a. PM_{2,5}, Ruß) nachweisbar
- **Kurzzeiteffekte (ca. 150 Studien)**
 - zunehmende Zahl an Sterbefällen (alle natürlichen Ursachen, Herz-Kreislauf, Atemwege)
 - zunehmende Zahl an Krankenhausaufnahmen und Aufsuchen von Notfallambulanzen (Herz-Kreislauf)
 - Verschlimmerung von Asthma bei Kindern, verschlechterte Lungenfunktionswerte bei Erwachsenen (?)
- **Langzeiteffekte (ca. 150 Studien)**
 - Erhöhte Zahl an Sterbefällen (alle natürlichen Ursachen, Herz-Kreislauf, Atemwege inkl. Lungenkrebs), Zusammenhänge ähnlich ausgeprägt wie bei PM_{2,5}
 - Verzögerte Lungenfunktionsentwicklung bei Kindern
 - Häufigeres Auftreten von Asthma und von Bronchitissymptomen bei Kindern

Epidemiologische Studien - Zusammenfassung

- **Mehrere hundert Studien (weltweit, auch in Deutschland)**
 - **NO₂ als Leitsubstanz der Immissionsbelastung durch Straßenverkehr**
 - **Kurzzeit und Langzeiteffekte auf Mortalität und Morbidität**
 - **Immissionen im Bereich heutiger Belastungen,**
 - **lineare Konzentrations-Wirkungs-Beziehung,**
 - **kein Schwellenwert ableitbar!**

Epidemiologische Untersuchungen

Daten zur Immissionsbelastung
der Außenluft im
Untersuchungsbereich,
aus Messprogrammen oder
Modellierungen

Daten zur gesundheitlichen
Situation in der untersuchten
Bevölkerungsgruppe
(Sterblichkeit, Erkrankungshäufigkeit etc.)

Zusammenhang? Wenn ja,
**Ermittlung quantitativer
Konzentrations-Wirkungs-Beziehungen**

Kurzzeiteffekte Feinstaub und NO₂ – quantifizierbare Risiken*

Gesundheitliche Größe
(Angaben zu Studiengebieten)

Leit-
substanz

Zunahme bei Anstieg der
Konzentration

Mortalität (alle natürlichen Ursachen, ohne Unfälle; Städte in Europa)	PM2.5	1,23 %/ 10 µg/m ³ (1-h-Tagesmaximum)
Mortalität (alle natürlichen Ursachen, ohne Unfälle; Städte in Europa)	NO ₂	0,27 %/ 10 µg/m ³ (1-h-Tagesmaximum)
Krankenhausaufnahmen infolge Herz-Kreislauf-Erkrankungen (Städte, weltweit)	PM2.5	0,9 %/ 10 µg/m ³ (24-h-Mittel)
Krankenhausaufnahmen infolge Atemwegserkrankungen (Städte, weltweit)	NO ₂	0,15 %/ 10 µg/m ³ (1-h-Tagesmaximum)
Krankenhausaufnahmen infolge Atemwegserkrankungen (Städte, weltweit)	NO ₂	1,80 %/ 10 µg/m ³ (24-h-Mittel)
Asthmasymptome bei asthmakranken Kindern (5-19 a) (Metaanalyse von 36 Studien)	PM10	2,8 % / 10 µg/m ³ (24-h-Mittel)

* Quellen: 1. WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting Report, Bonn, Germany, 2014. 2. WHO: Health Risks of air pollution in Europe – HRAPIE Project, Copenhagen, Denmark, 2013

Langzeiteffekte Feinstaub und NO₂ – quantifizierbare Risiken*

Gesundheitliche Größe
(Angaben zu Studiengebieten)

Leit-
substanz

Zunahme bei Anstieg der
Konzentration (Jahresmittel)

Mortalität (alle natürlichen Ursachen, ohne Unfälle; Metaanalyse, 19 Studien, Europa, Nordamerika)	PM2.5	7 %/ 10 µg/m ³
Mortalität (Herz-Kreislauf-Erkrankungen; Metaanalyse, 14 Studien, Europa, Nordamerika)	PM2.5	10 %/ 10 µg/m ³
Mortalität (Lungenkrebs; Metaanalyse, 8 Studien, Europa, Nordamerika)	PM2.5	9 %/ 10 µg/m ³
Mortalität (alle natürlichen Ursachen, ohne Unfälle; Metaanalyse, 11 Studien, Europa, Nordamerika)	NO ₂	5,5 %/ 10 µg/m ³
Mortalität (alle natürlichen Ursachen, ohne Unfälle; Metaanalyse, 12 Studien mit Daten zu PM und NO ₂)	NO ₂ PM2.5	4 %/ 10 µg/m ³ 5 %/ 10 µg/m ³
Bronchitissymptome bei Erwachsenen (2 Studien)	PM2.5	11,7 %/10 µg/m ³
Bronchitissymptome bei Kindern (1 Studie)	PM2.5	8 %/ 10 µg/m ³
Bronchitissymptome bei asthmakranken Kindern (5-19 a) (1 Studie)	NO ₂	20 %/ 10 µg/m ³

* Quellen: 1. WHO Expert Meeting: Methods and tools for assessing the health risks of air pollution at local, national and international level. Meeting Report, Bonn, Germany, 2014. 2. WHO: Health Risks of air pollution in Europe – HRAPIE Project, Copenhagen, Denmark, 2013

Gegenüberstellung von Mortalitätsrisiken

Mortalität	Fälle pro Million Einwohner/Jahr
Durch Verkehrsunfälle:	
BRD 2015	43
NRW 2015	29
Baden-Württemberg 2015	44
In Verbindung mit Außenluftschadstoffbelastung über Gesamtlebenszeit (pro 1 µg/m ³)	
PM2.5	
Differenzierung PM2.5/ NO ₂	ca. 70
PM2.5	ca. 50
NO ₂	ca. 40

Gesundheitliche Wirkungen von Außenluftschadstoffen



Ausblick

Umweltbundesamt-Projekt

„Krankheitslasten durch luftgetragene NO₂- Exposition in Deutschland“

- **Flächendeckende Erfassung der NO₂- Exposition der Bevölkerung in ganz Deutschland**
- **Quantifizierung der einhergehenden Krankheitslasten für relevante Gesundheitsendpunkte (Morbidität und Mortalität)**
- **Ergebnisse Anfang 2017?**

Vielen Dank für Ihr Interesse!