

# Luftreinhalteplanung

## Teil 1: Luftschadstoffe - Emissionsquellen



## **Gliederung:**

- 1. Emittenten**
- 2. Rechtliche Anforderungen**
- 3. Überwachung der Luftqualität**
- 4. Luftqualität in Bayern**
- 5. Maßnahmen**
- 6. Ausblick: Revision der EU-Luftqualitätsrichtlinie**

# 1. Grundlagen

## 1.1 Begriffe

**Luftverunreinigung** = Veränderung der natürlichen Zusammensetzung der Luft, insbesondere durch Rauch, Ruß, Staub, Gase, Aerosole, Dämpfe oder Geruchsstoffe

### 1.1.1 Definitionen:

***Emission*** = Schadstoff-Ausstoß;

***Immission*** = Schadstoffeinwirkung;

***Transmission*** = Schadstofftransport.

**Emission** = von einer Anlage oder sonstigen Emissionsquelle ausgehenden Luftverunreinigungen

**Transmission** = alle Vorgänge, in deren Verlauf sich **räumliche Lage, Verteilung und Konzentration** der luftverunreinigenden Stoffe in der Atmosphäre unter dem **Einfluss meteorologischer, physikalischer oder chemischer Vorgänge** ändern

Änderungen werden verursacht durch:

- Luftströmungen
- Stabilität der Atmosphäre
- Schwerkraft
- Koagulation
- Verdampfung
- Kondensation
- Sorption
- Oxidation
- Reduktion
- Assoziation
- Dissoziation

**Immission** = auf Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre, Kultur- und andere Sachgüter einwirkenden Luftverunreinigungen;

- Allgemein als Masse der Luftverunreinigung bezogen auf Luftvolumen in  $[\text{mg}/\text{m}^3]$
- Bei Gasen auch: Volumen Luftverunreinigung bezogen auf Volumen Luft als Volumenkonzentration in  $\text{cm}^3/\text{m}^3$  (ppm = parts per million)
- Bei Staubniederschlag: Masse niedergeschlagener Stäube bezogen auf Auffangfläche und Messzeit als zeitbezogene Massenbedeckung in  $\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

### **Schädliche Umwelteinwirkung:**

Immissionen, die nach Art, Ausmaß oder Dauer geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit oder Nachbarschaft herbeizuführen

## Einteilung luftverunreinigender Stoffe:

- Primäre luftverunreinigende Stoffe gelangen aus technischen Anlagen oder durch natürliche Vorgänge in die offene Atmosphäre, z.B.  $\text{SO}_2$  und CO



- Sekundäre luftverunreinigende Stoffe entstehen erst in der Atmosphäre aus den primären luftverunreinigenden Stoffen, z.B. Ozon

## 1.1.2 Einheiten

### Allgemeine Einheiten

#### Konzentrationseinheiten

bezogen auf 0° oder 20° C, 1013 mbar:

#### *Gewichtseinheiten:*

mg/m<sup>3</sup>, µg/m<sup>3</sup>, ng/m<sup>3</sup>, pg/m<sup>3</sup> erfordern Druck- und Volumenbezug

*Volumeneinheiten:* ppm (= cm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>), ppb (= cm<sup>3</sup>/1000m<sup>3</sup>), ppt (=cm<sup>3</sup>/1000.000 m<sup>3</sup>)

#### *Umrechnung:*

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg/m}^3 * \text{Molvolumen (22,4)}}{\text{Molekulargewicht}}$$

## Emissionseinheiten

### Emissionskonzentration:

Schadstoffkonzentration im Abgas z.B. in  $\text{mg}/\text{m}^3$

Emissionskonzentrationen sind auf trockenes oder feuchtes Abgas bezogen, ggf. auch auf einen bestimmten Sauerstoffgehalt

### Massenstrom:

emittierte Menge pro Zeiteinheit z.B.  $\text{kg}/\text{h}$

### Emissionsfaktoren:

emittierte Menge bezogen auf den Brennstoffeinsatz bei Feuerungsanlagen, das Produkt bei Industrieanlagen z.B.  $\text{g}/\text{t}$ , oder die Fahrstrecke bei Kfz)  $\text{g}/\text{km}$

# 1.2 Die Luft

## Zusammensetzung der Luft

<b>Bestandteil</b>	<b>chem.Symbol</b>	<b>Vol.%</b>	<b>Gew.%</b>
Stickstoff	N <sub>2</sub>	78,09	75,51
Sauerstoff	O <sub>2</sub>	20,95	23,16
Edelgase	He,Ne,Ar,Kr,Xe	0,93	1,28
Kohlendioxid	CO <sub>2</sub>	0,036	0,06
Wasserdampf	H <sub>2</sub> O	variabel (0,05 - 5 Vol-% absolute Feuchte)	
Methan	CH <sub>4</sub>	ca. 2 ppm, entspr.1 mg/m <sup>3</sup> )	
Ozon	O <sub>3</sub>	jahreszeitabhängig 5 – 100 ppb	
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	Spuren (wenige ppb)	

## 1.3 Emissionen

### 1.3.1 Natürliche Emissionen

Meer	Salzstaub, Halogenkohlenwasserstoffe
Bodenerosion	Mineralstaub
Vulkanismus	Staub, H <sub>2</sub> S, SO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , Hg
Nadelwälder	Pollen, Terpenpolymere
Waldbrände	Partikel, CO, NO <sub>x</sub>
Gewitter	NO <sub>x</sub> , O <sub>3</sub>
Sonneneinstrahlung	O <sub>3</sub> , Photooxidantien
Biologische Zersetzungs Vorgänge	CH <sub>4</sub> , NH <sub>3</sub> , H <sub>2</sub> S, N <sub>2</sub> O
Gas-Partikelumwandlung aus natürlichen Gasemissionen	Sulfate, Nitrate, Ammoniumverbindungen

## 1.3.2 Anthropogene Luftverunreinigungen – Leitschadstoffe - Quellen

Name	Abk.	Hauptquellen
Kohlenmonoxid	CO	unvollständige Verbrennung
Stickstoffoxide	NO <sub>x</sub>	Verbrennung bei hoher Temperatur
Schwefeldioxid	SO <sub>2</sub>	Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe
Schwefelwasserstoff	H <sub>2</sub> S	Viskose- und Zellstoffherstellung
Ammoniak	NH <sub>3</sub>	Landwirtschaft, Kfz mit G-Kat, Kraftwerke, Kühlanlagen
Fluorwasserstoff	HF	Keramik- und Aluminiumherstellung, Industrieprozesse
Distickstoffoxid	N <sub>2</sub> O	Verkehr, Landwirtschaft

## Leitschadstoffe anthropogener Luftverunreinigungen, Quellen

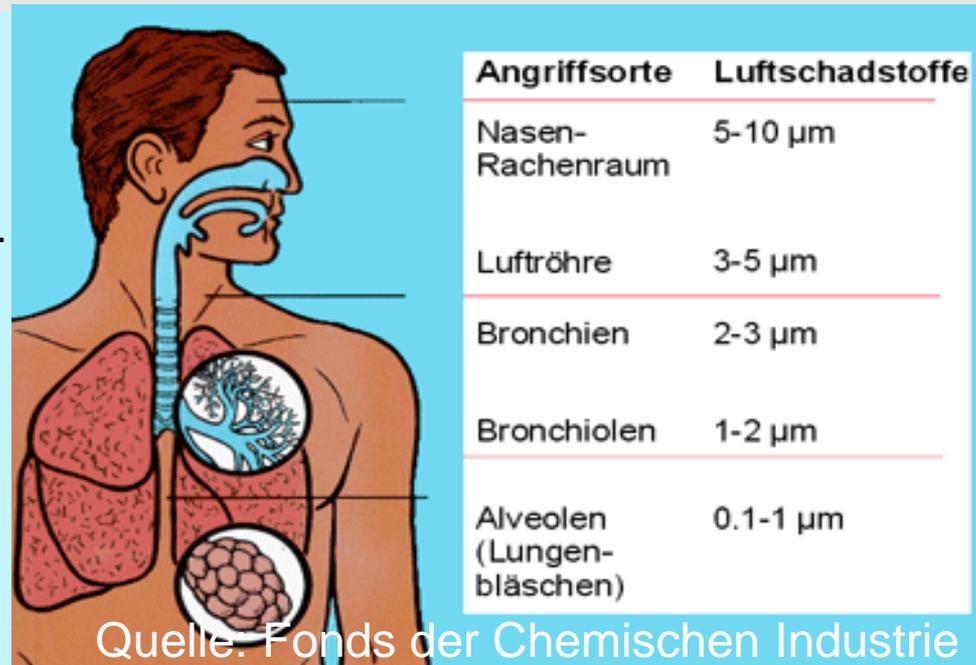
Name	Abk.	Hauptquellen
Organische. Verbindungen	HC	Verkehr, Industrielle Prozesse, Haushaltungen
Benzol	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	Verkehr, Kraftstoffumschlag, Industrie (Kokereien, Gießereien)
Halogen-Kohlenwasserstoffe	HKW	Industrie, Lösemittelanwendung
Fluorchlorkohlenwasserstoffe	<b>FCKW</b>	Kühl- und Klimaanlage, Kunststoffherstellung
Ozon	O <sub>3</sub>	photochemisch aus NO <sub>2</sub> und Kohlenwasserstoffen.

<b>Name</b>	<b>Abk.</b>	<b>Hauptquellen</b>
Staub, Aerosole	PM	Feuerungsanlagen, Verkehr, industrielle Prozesse, Baustellen
Fasern (z.B. Asbest)		Bauindustrie, (Verkehr), Mineralgewinnung
Arsen	As	Kohlefeuerungsanlagen, Glasindustrie
Blei	Pb	(Verkehr), Industrieprozesse, Kohlefeuerungsanlagen, Metallverhüttung
Cadmium	Cd	Farben, Kunststoffindustrie, Metallindustrie
Quecksilber	Hg	Chlorherstellung, Abfallverbrennung
Polyzyklische Aromaten	PAK	Verbrennungsprozesse,
Polychlorierte Dibenzodioxine und Furane	PCDD/F	Abfallverbrennung, Kunststoffbrände, Schrottschmelzen
Polychlorierte Biphenyle	PCB	Altlasten aus Schrottplätzen, Trafostationen, Hydrauliköl-Ablässen, Elektronikindustrie

# Staub – Schwebstaub - Feinstaub

Staub ist natürlicher und anthropogener Bestandteil der Luft; man unterscheidet in:

- Schwebstaub mit einem Partikeldurchmesser kleiner gleich 70 Mikrometer; er ist für das menschliche Auge in der Regel sichtbar
- Feinstaub mit einem Partikeldurchmesser kleiner gleich
  - 10 Mikrometer ( $PM_{10}$ )
  - 2,5 Mikrometer ( $PM_{2,5}$ )
- Ultrafeinstaub mit einem Partikeldurchmesser kleiner gleich 0,1 Mikrometer



**Wissenschaftliche Erkenntnis:**

**Feinstaub stellt ein gesundheitliches Risiko dar**

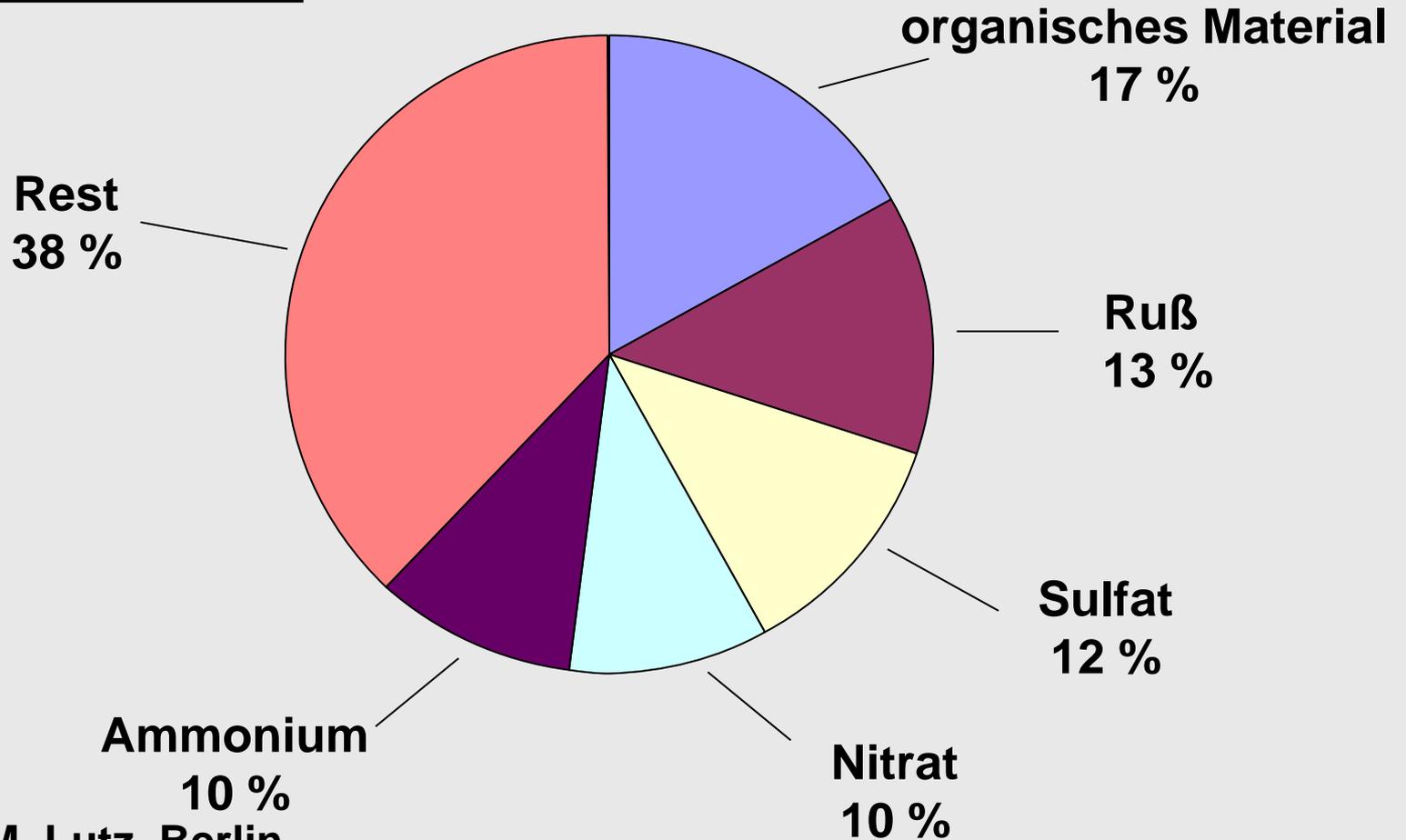
# Risiko Feinstaub

Gesundheitliches Risiko insbesondere für Kinder und ältere Menschen sowie für Menschen mit Atemwegserkrankungen

- Wirkungen: Husten, entzündliche Veränderungen im Atemtrakt, Herz-Kreislauf-Probleme
- Inhaltsstoffe des Feinstaubes (v. a. Ruß) von Bedeutung
- **es besteht keine Wirkungsschwelle**
- Studien (z. B. WHO): Verkürzung der Lebenserwartung in Europa um statistisch ca. 9 Monate

# Zusammensetzung des Feinstaubs

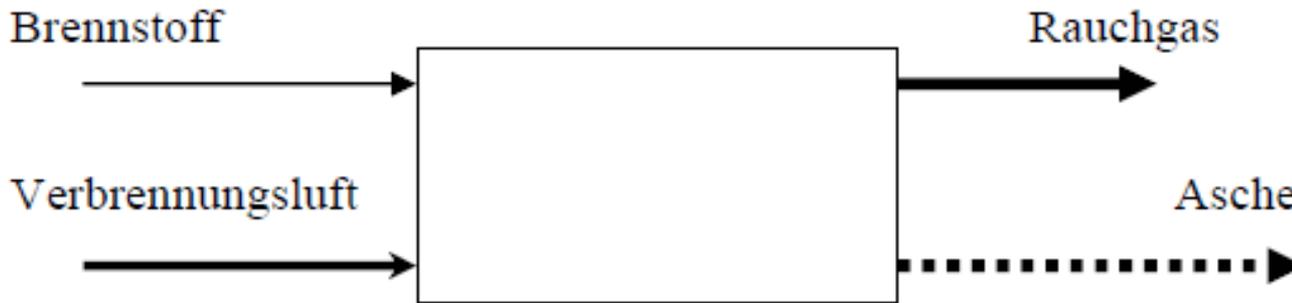
## Hauptverkehrsstraße



Quelle: M. Lutz, Berlin  
2004

# Emissionen aus der Verbrennung

Verbrennungsprozesse sind exotherme Prozesse infolge der **Oxidation von Brennstoffen**



- vollkommene Verbrennung := Das Rauchgas enthält keine brennbaren Gase mehr
- unvollkommene Verbrennung := Das Rauchgas enthält noch brennbare Gase (z. B. CO) oder / und unverbrannte Feststoffteilchen (Ruß oder noch brennfähige Ascheteile)
- **Ziel:** vollständige Verbrennung zur größtmöglichen Wärmeerzeugung in einer Wärmekraftmaschine und in Feuerungsanlagen







# Kfz-Emissionen

1. Krebserzeugende Stoffe: Benzol, Ruß (Dieselrußpartikel)
2. Neu gesundheitsrelevante Stoffe: Feinstaub-PM10 (Partikel)
3. Sommersmog-relevante Stoffe: Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenwasserstoffe (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>)
4. Weitere EU-geregelte Stoffe: Kohlenmonoxid (CO)
5. Klima-relevante Stoffe: Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
6. Sonstige: Z.B. Platin (Pt)

NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Kfz – zwei Prozesse führen zur NO<sub>2</sub>-Belastung:

- NO aus dem Abgas reagieren mit Ozon zu luftchemischem NO<sub>2</sub> = Sekundäres NO<sub>2</sub>
- Primäres NO<sub>2</sub> aus dem Abgas.

# Einflussfaktoren auf Kfz-Emissionen



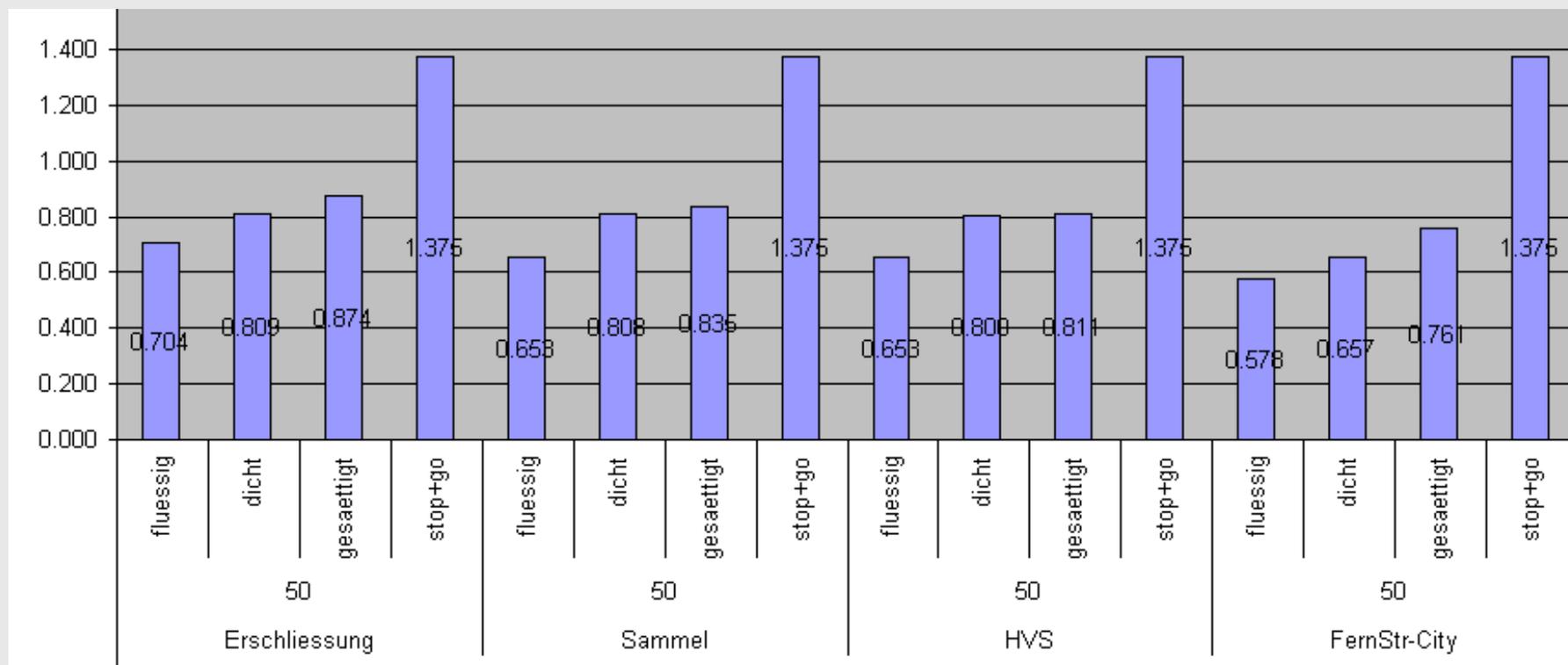
Fahrzeug	Kraftstoff	Fahrweise
<p><u>Kategorie</u>: z.B. Pkw, Lkw, Motorrad</p> <p><u>Antrieb</u>: Benzin, Diesel, Gas, Hybrid</p> <p><u>Schadstoffklasse</u>: Pkw: Euro1-6, Lkw: Euro I-VI</p>	<p>z.B. Benzin, Diesel, Gas</p>	<p>z.B. Innerortstraße, Landstraße, Autobahn, Steigung, Gefälle</p>

# Kfz-Emissionen: Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA)

- Das HBEFA ist eine Datenbank für Emissionsfaktoren von Fahrzeugen des motorisierten Straßenverkehrs.
- Liefert Emissionsfaktoren, differenziert nach Fahrzeugkategorien (Pkw, Lkw, Krafträder,...), Gewichts- bzw. Hubraumklassen, Emissionsklassen, Verkehrssituationen, Kraftstoffarten, Schadstoffminderungstechniken, Beladungszustand (für SNF), zum Flottenmix (relativer Anteil der Fahrzeugbestände pro Fahrzeugkonzept), zu den Fahrleistungsanteilen, zur Bestandsentwicklung
- Es existieren vier Einteilungsmöglichkeiten für Verkehrssituationen: Gebietstyp, Straßenkategorie, Höchstgeschwindigkeit, Verkehrsaufkommen

## Flottengewichtete Emissionsfaktoren NOx

(Pkw: 88%, LNfz: 5%, SNfz: 4%, RBus: 0.5, LBus: 1.5, MR: 1%)



Quelle: IVU GmbH; Diegmann, Lfu Fachtagung 2010

# Photochemische Oxidation

Bildung von oxidierend wirkender Stoffe wie Ozon und Peroxide unter dem Einfluss von Sonnenlicht aus Stickstoffoxiden, organischen Verbindungen und Sauerstoff

**Auftreten von hohen Immissionskonzentrationen dieser Sekundärprodukte = photochemischer Smog (“Los Angeles Smog”)**

**Leitkomponente = Ozon**

Auftreten in der unteren Luftschicht = Troposphäre: zwischen oberen = Stratosphäre und unteren Luftschicht nur ein begrenzter Luftaustausch

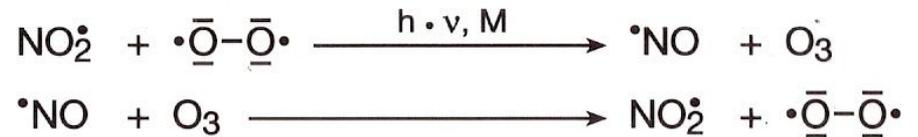
-> unter Lichteinwirkung Bildung reaktiver Stoffe = Photooxidantien -> Folgeprodukt = Ozon

Entstehung von Ozon nur in Tagesstunden

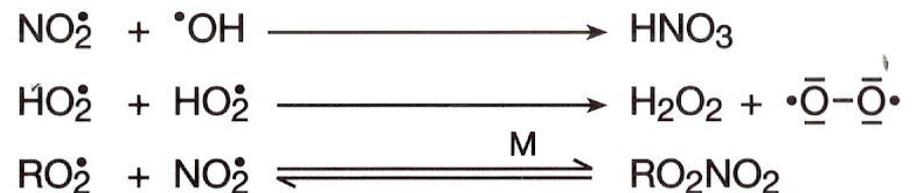
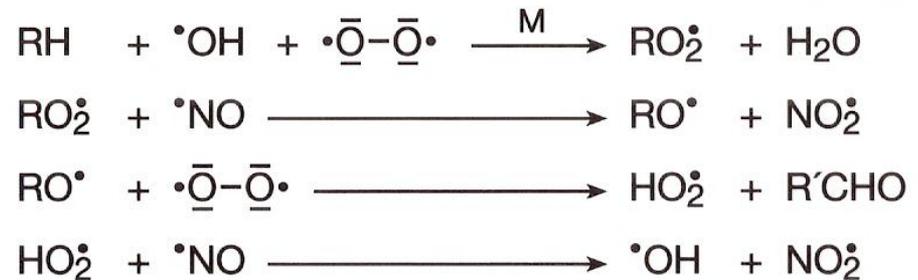
Abbau in den Nachtstunden durch Reaktion mit Luftschadstoffen insbesondere dort, wo höhere Luftschadstoffgehalte sind = Stadtgebiet

- Ozonproduktion untertags an sonnigen Sonnentagen am stärksten
- In der Regel erhöht im Zeitraum von 13.00 – 19.00 Uhr
- Ozonbildung verstärkt bei Verunreinigung der Luft mit Kohlenwasserstoffen und Stickstoffoxiden

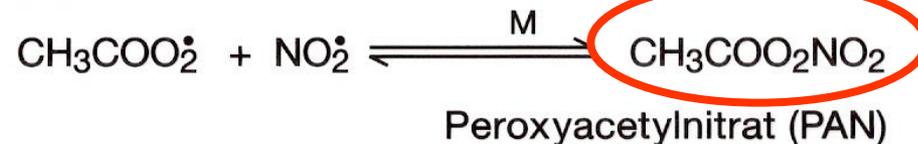
Mechanismen Los Angeles Smog



$$c(\text{O}_3) \sim \frac{c(\text{NO}_2)}{c(\cdot\text{NO})} \cdot h \cdot \nu$$



z. B.:



M = Stoßpartner

# Saurer Smog “London”

Smog = “smoke” (Rauch) + “fog” (Nebel)

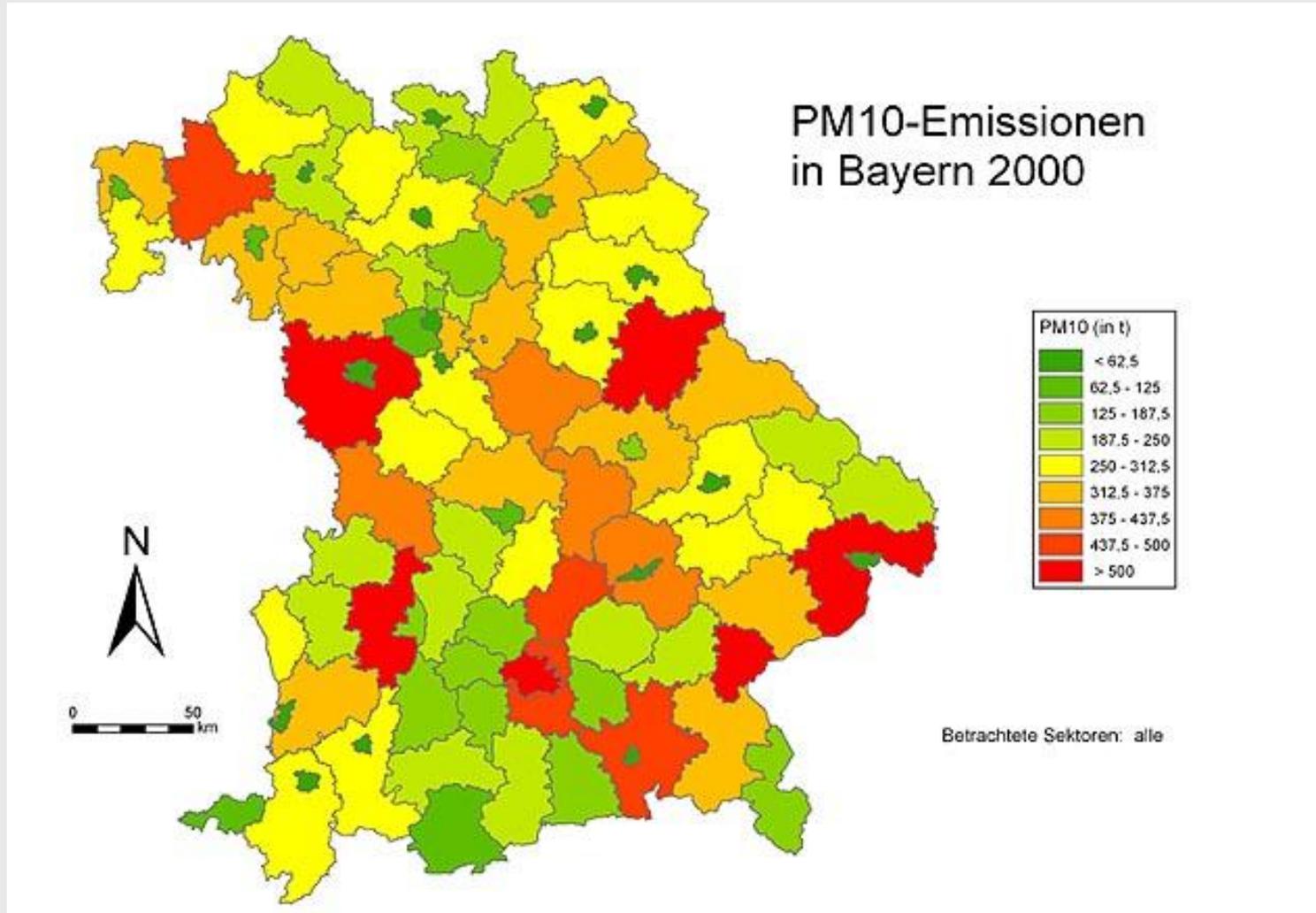
- Beobachtet in den Wintermonaten in London
- Ursache: Verwendung von stark schwefelhaltigen Brennstoffen + kalte Wetterlagen mit geringem Luftaustausch



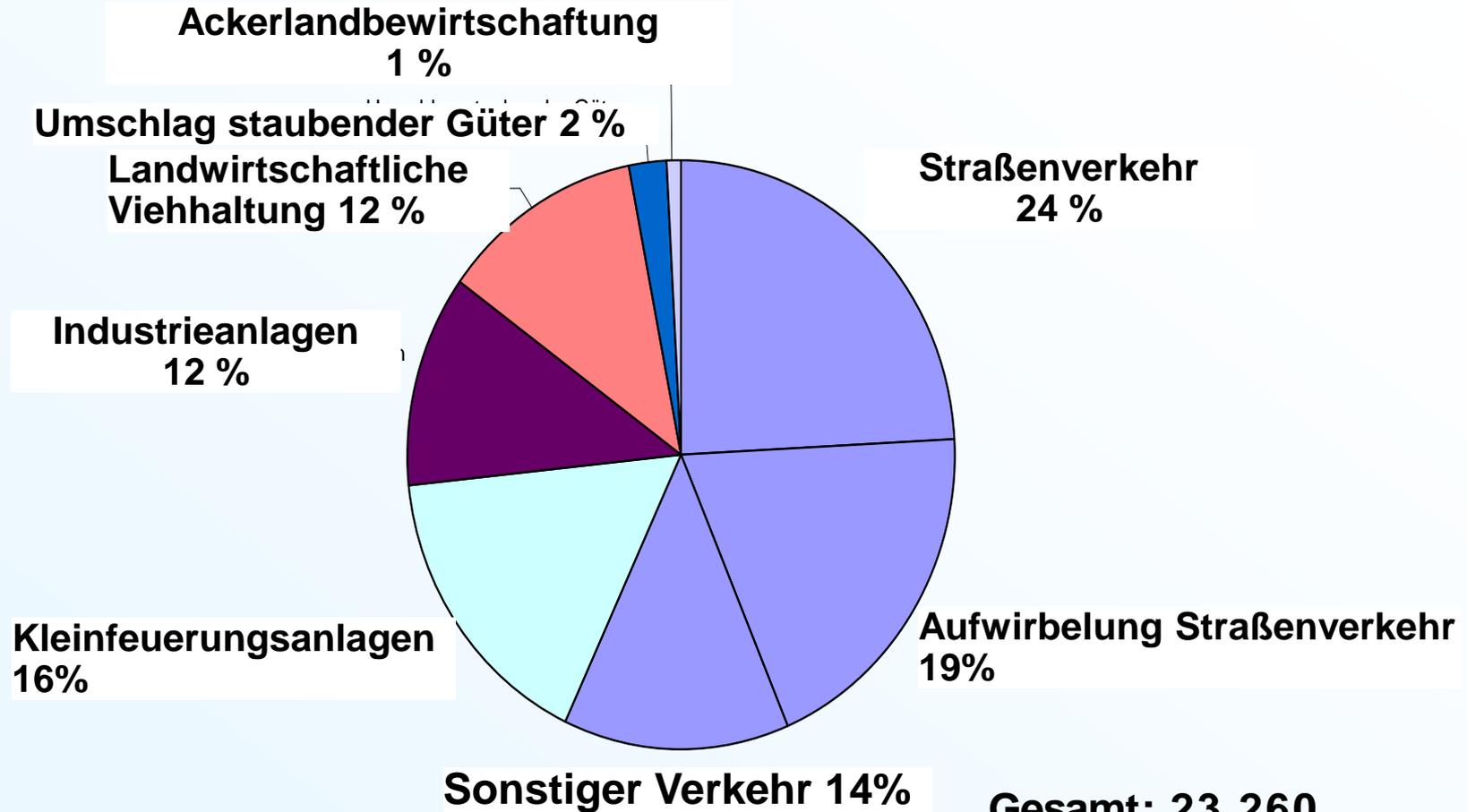
Der Nebel wird sauer.

- Hohe Konzentrationen an Schwefelsäureaerosol durch Rußpartikel, Oxidationen in wässriger Phase und möglicherweise katalytisch wirkende Schwermetallemissionen

# PM10 Emission Situation in Bayern (Emissionskataster LfU 2000 und 2004; <http://www.lfu.bayern.de/luft/fachinformationen/emissionskataster/index.htm>)



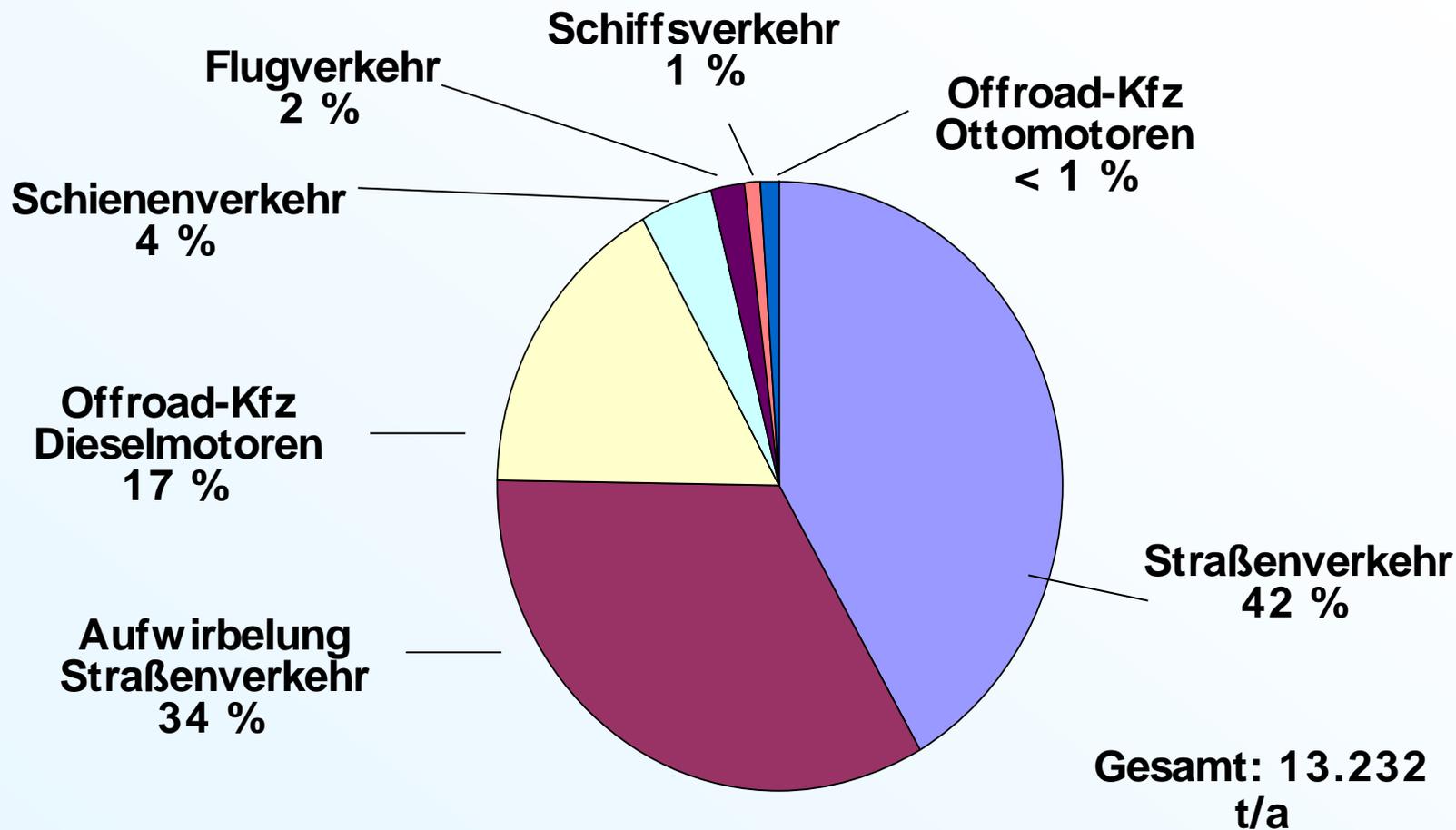
# Feinstaub: Verursacher der Emissionen in Bayern



**Gesamt: 23.260  
t/a**

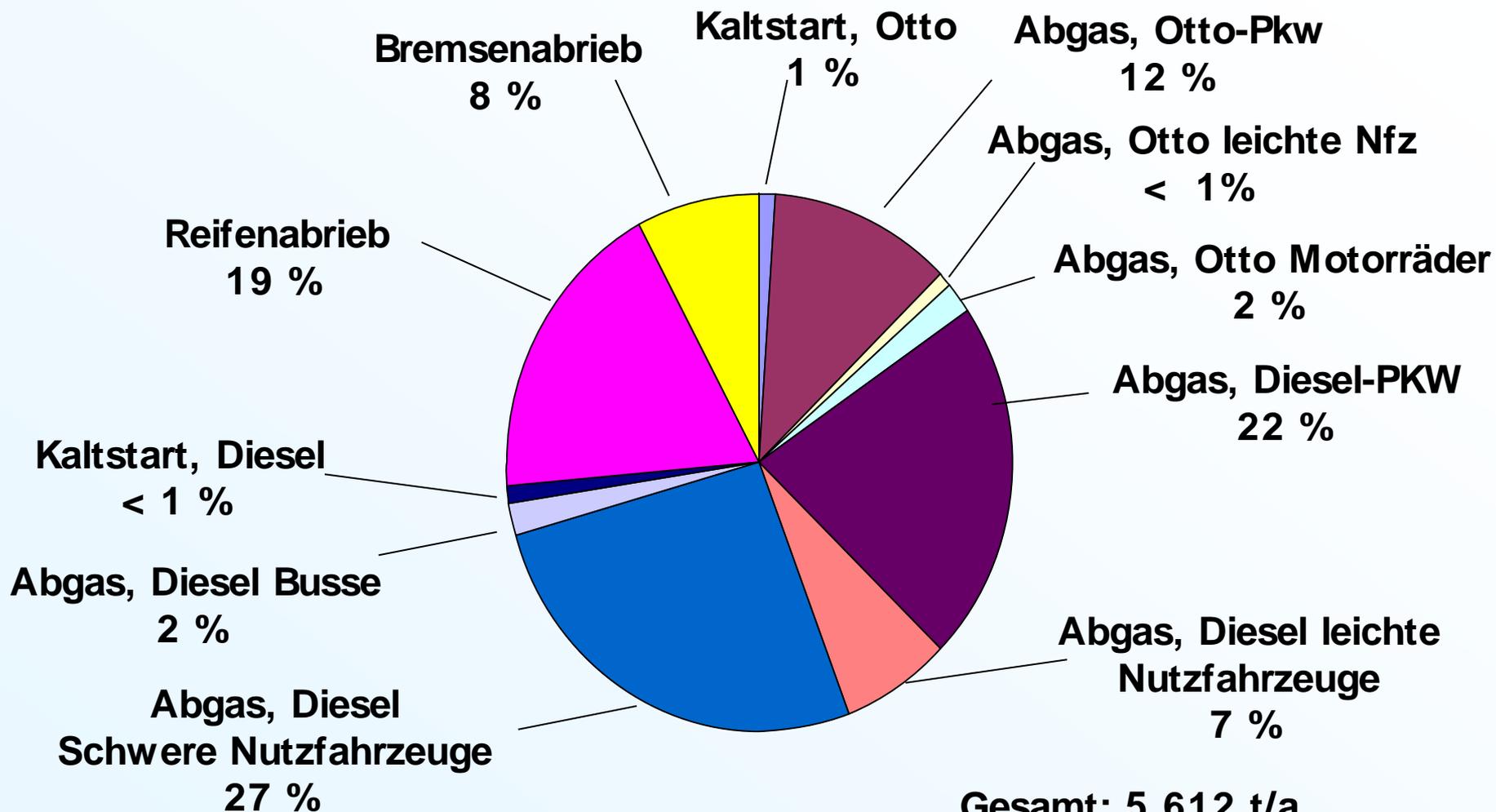
Quelle: Emissionskataster Bayern 2004, LfU 2009

# Feinstaub-Emissionen: Verkehrssektor



Quelle: Emissionskataster Bayern 2004, LfU 2009

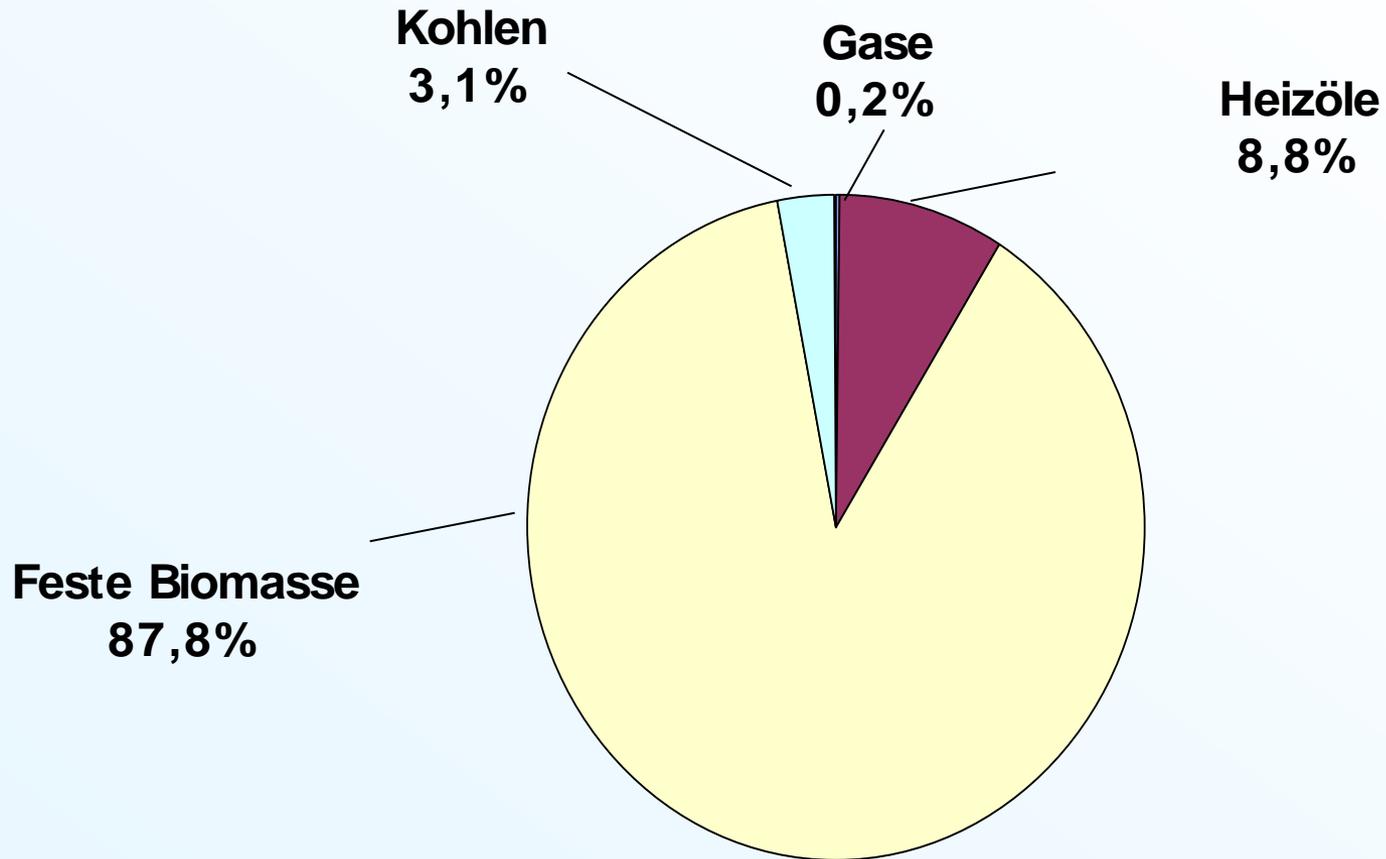
## Feinstaub-Emissionen: Straßenverkehrssektor



**Gesamt: 5.612 t/a**

Ohne Anteile von Straßenabrieb  
und Aufwirbelungen

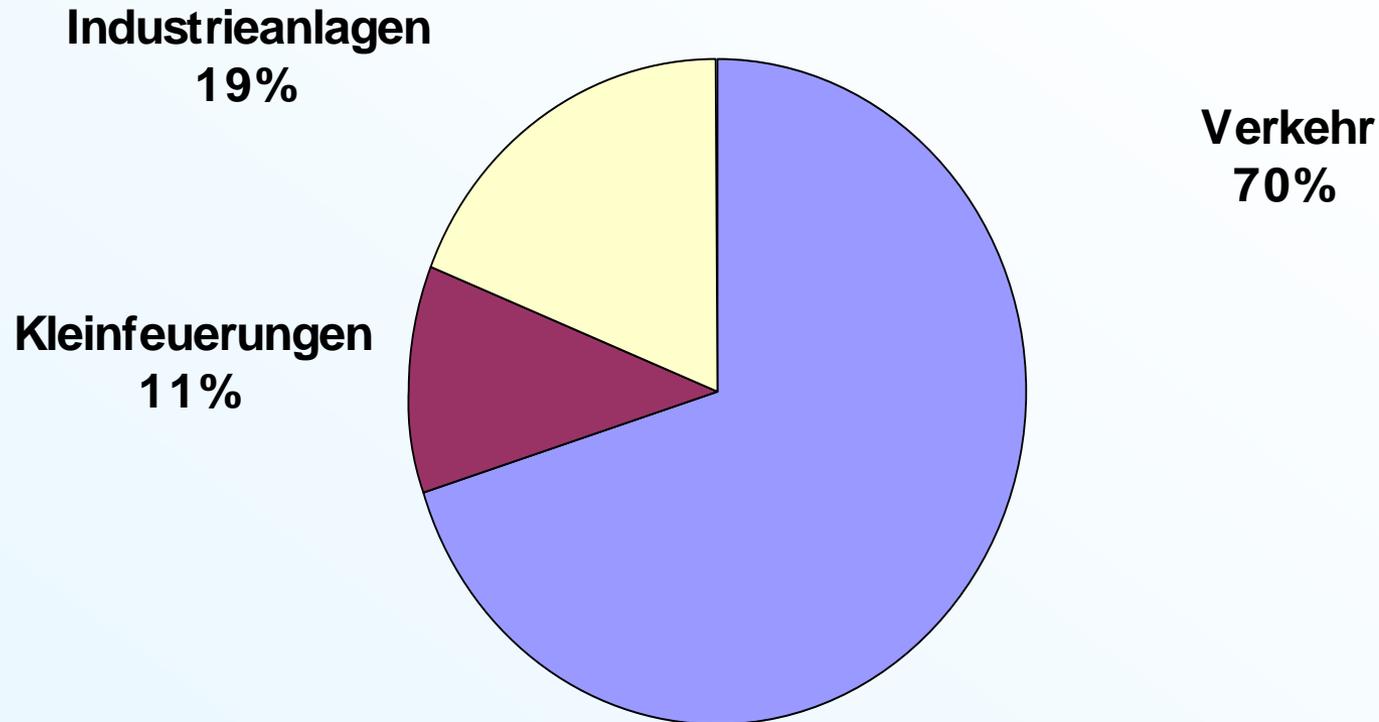
# Feinstaub-Emissionen: Nicht genehmigungsbedürftige Feuerungsanlagen (Hausfeuerungen)



Quelle: Emissionskataster Bayern 2004, LfU 2009

**Gesamt: 3.811 t/a**

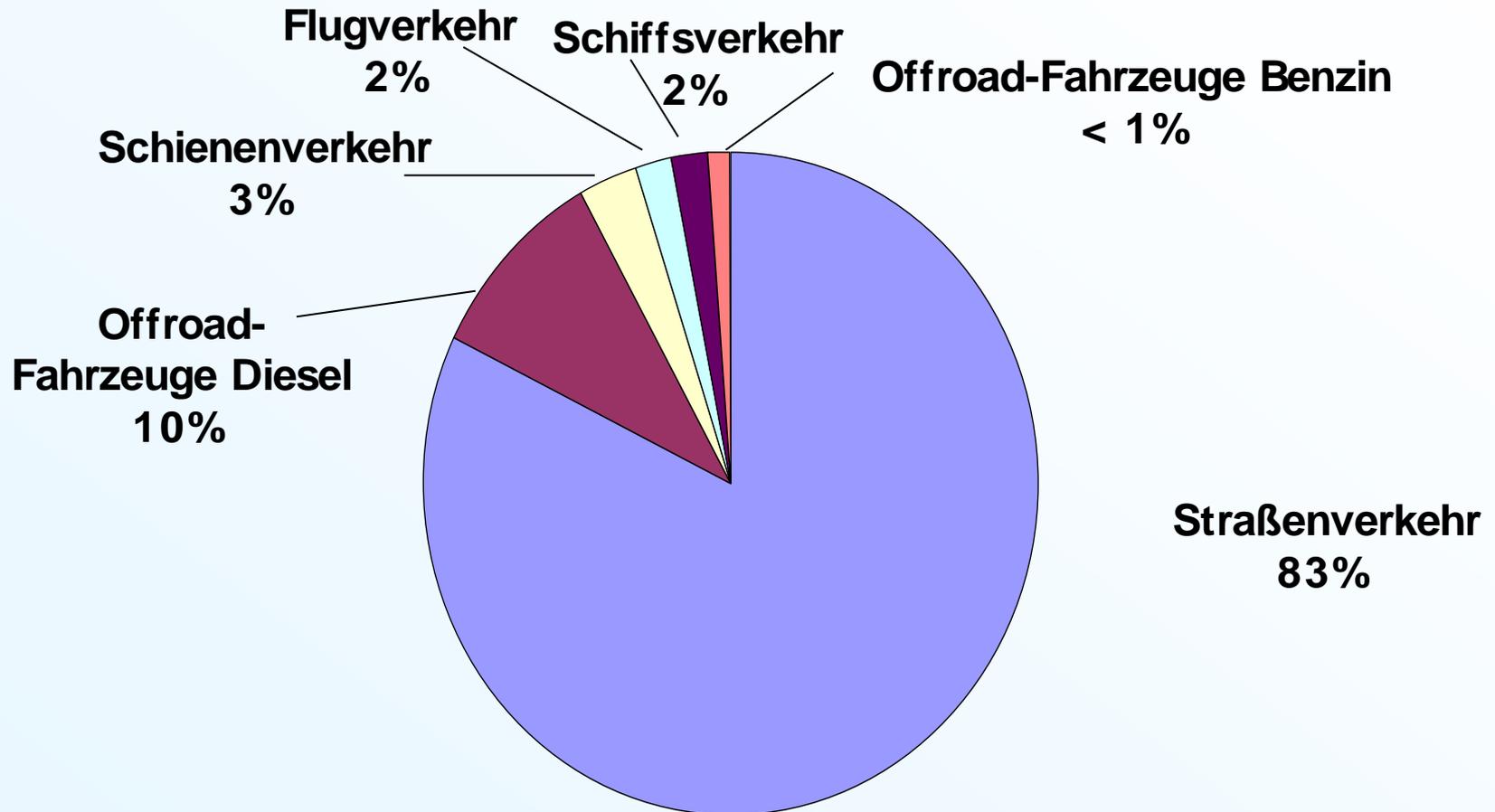
## Verursacher der NO<sub>2</sub>-Emissionen in Bayern



Quelle: Emissionskataster Bayern 2004, LfU 2009

Gesamt: 198.901 t/a

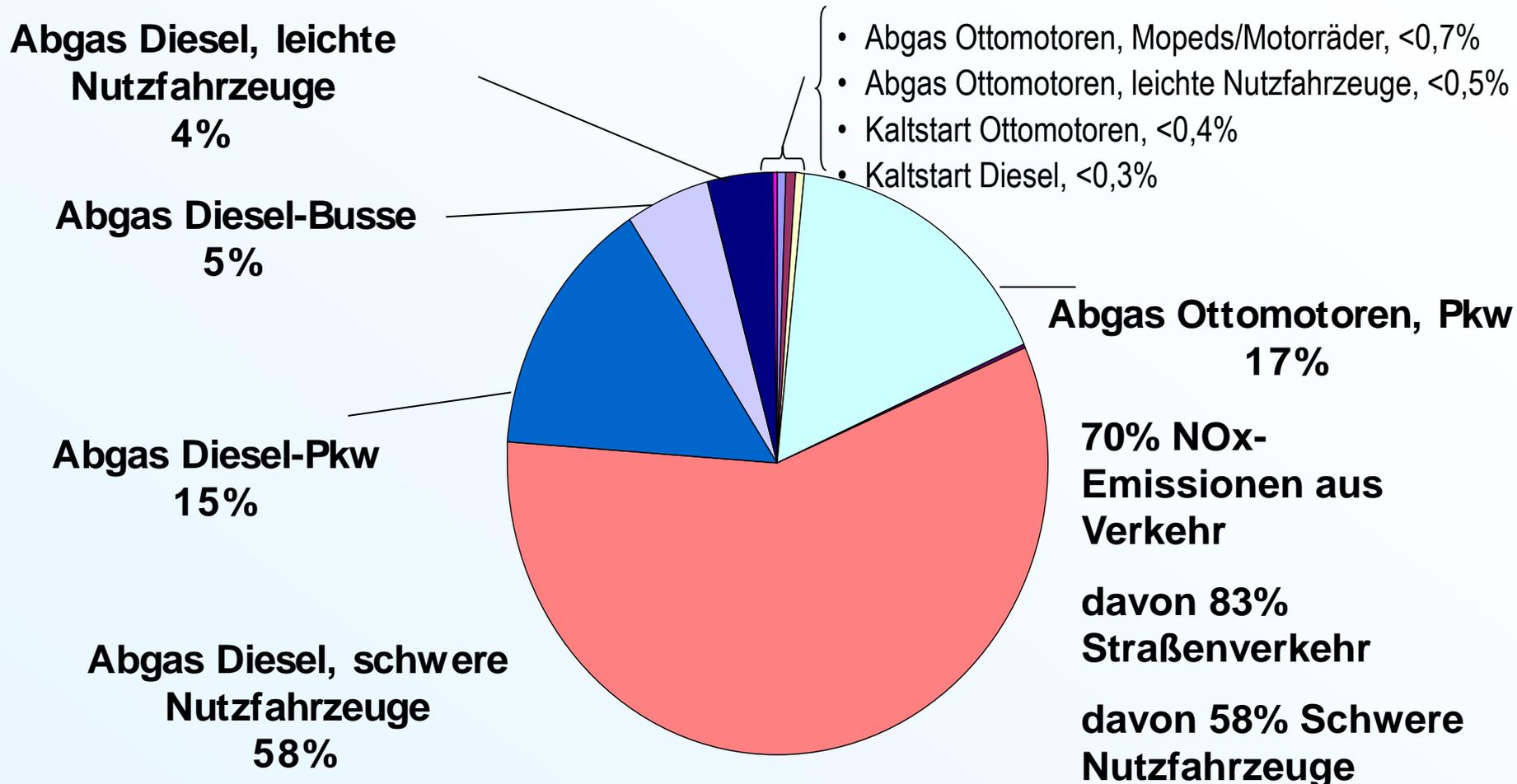
## Einzelne Beiträge aus dem Verkehr zu den NO<sub>2</sub>-Emissionen in Bayern



Quelle: Emissionskataster Bayern 2004, LfU 2009

Gesamt: 139.814 t/a

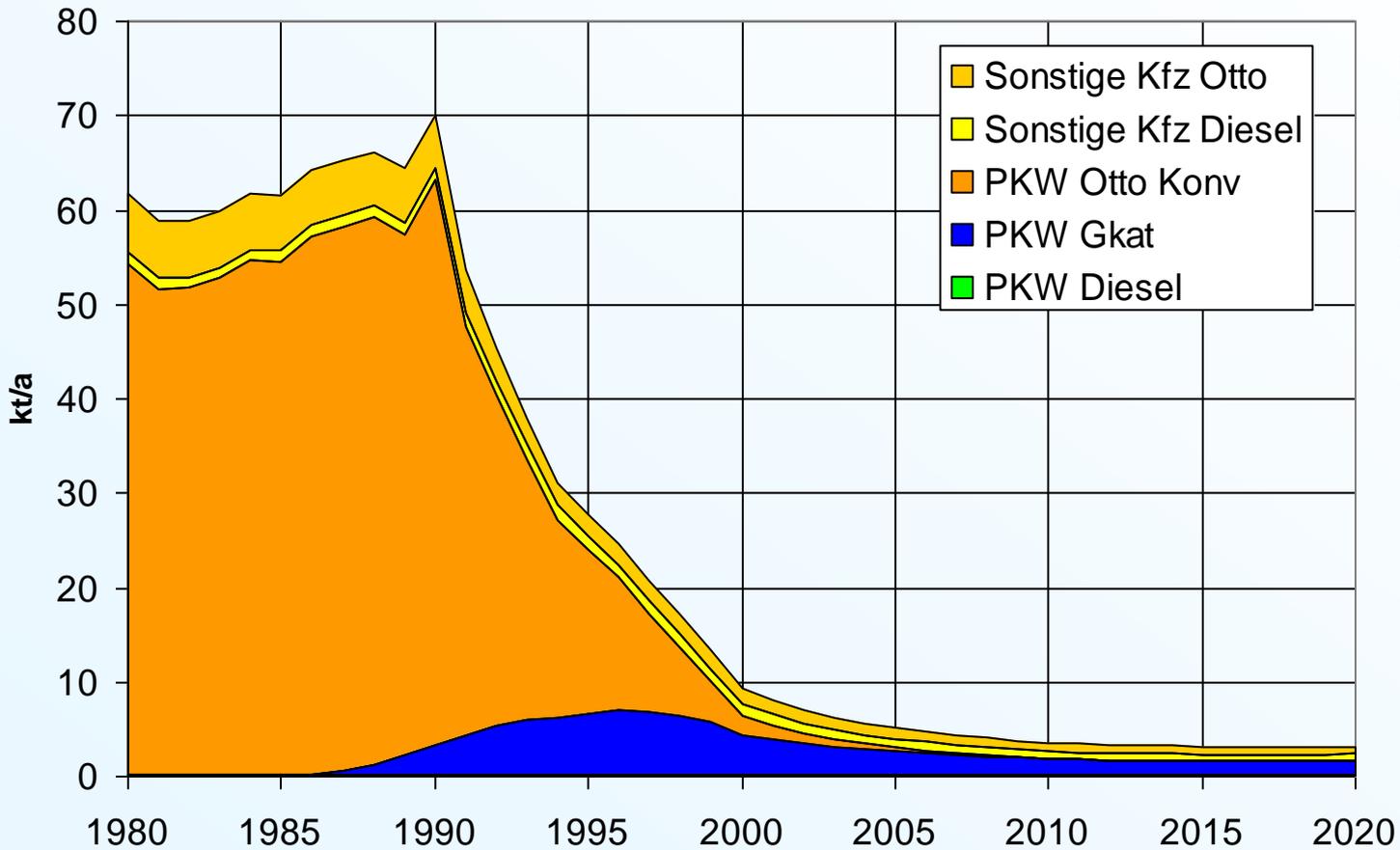
# Einzelne Beiträge aus dem Straßenverkehr zu den NO<sub>2</sub>-Emissionen in Bayern



Quelle: Emissionskataster Bayern 2004, LfU 2009

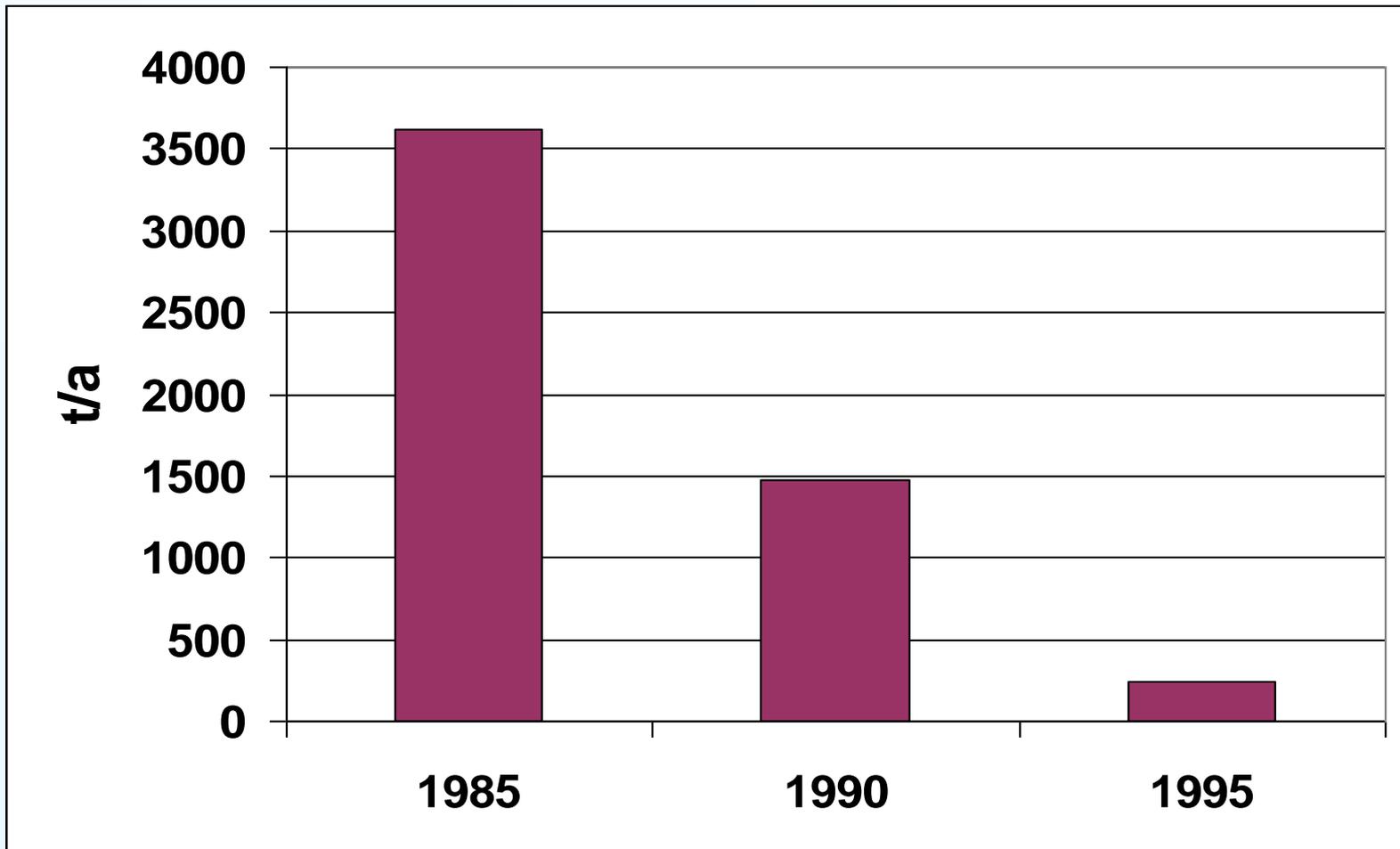
**Gesamt: 115.502 t/a**

# Benzol-Emissionen des Straßenverkehrs 1980 - 2020



**Straßenverkehr:**  
Verkehr auf öffentlichen Straßen im Inland, ohne Landwirtschaft und Militär  
Quelle: TREMOD (IFEU-Institut Heidelberg), Stand 10.2002

## Blei-Emissionen des Verkehrs 1985 - 1995



Angaben für 1995 geschätzt

Quelle: Umweltbundesamt, Stand 1998