

# Angewandte Thermofluiddynamik

Dr.-Ing. F. v. Issendorff

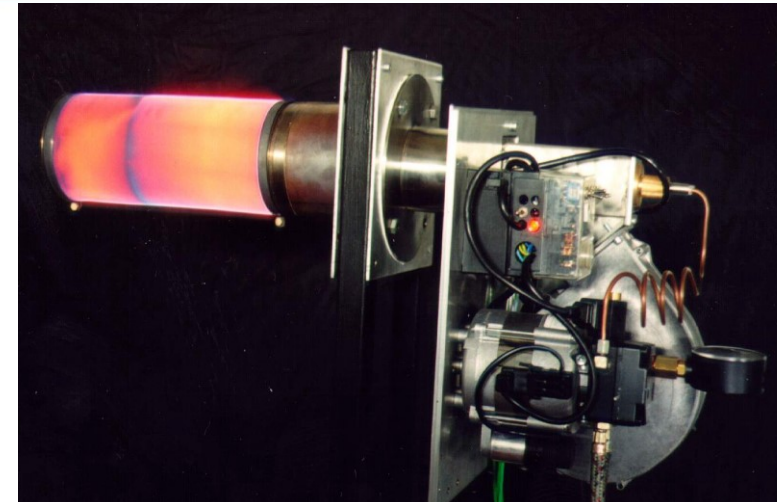
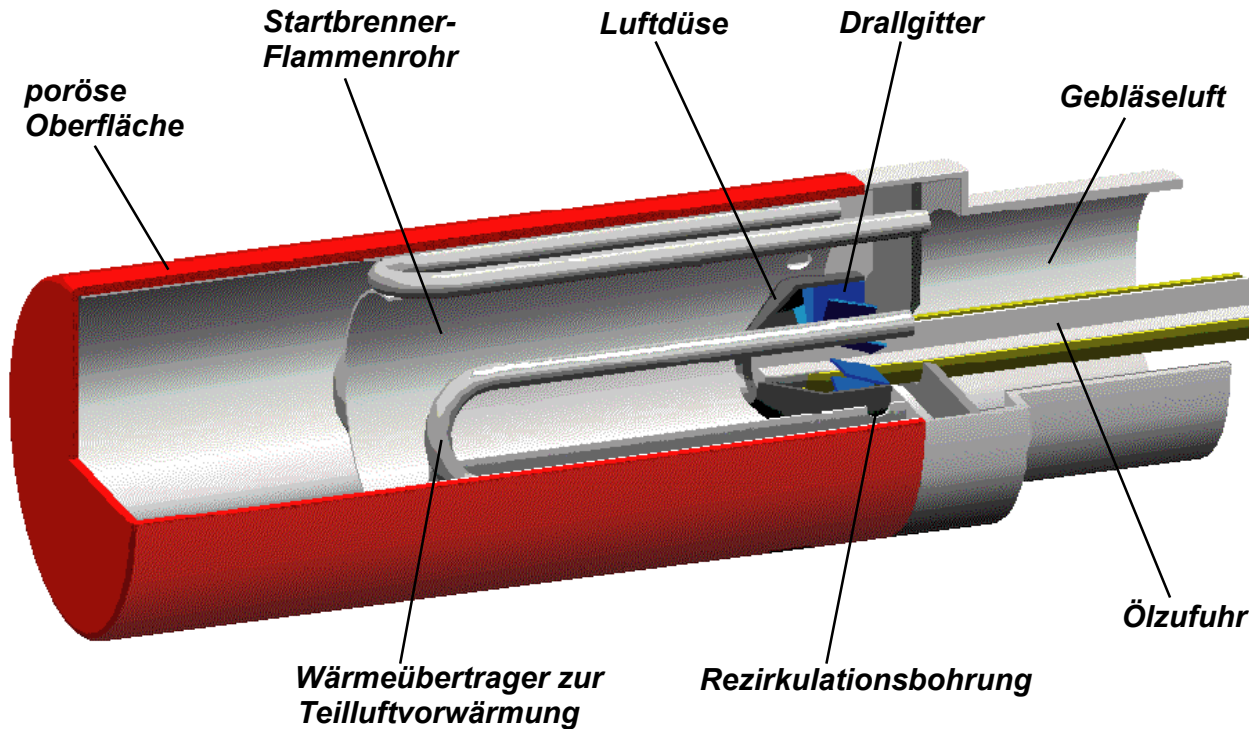
## Inhalt der Vorlesung

→ Praxisnahe Umsetzung/Anwendung der Inhalte der Vorlesungen

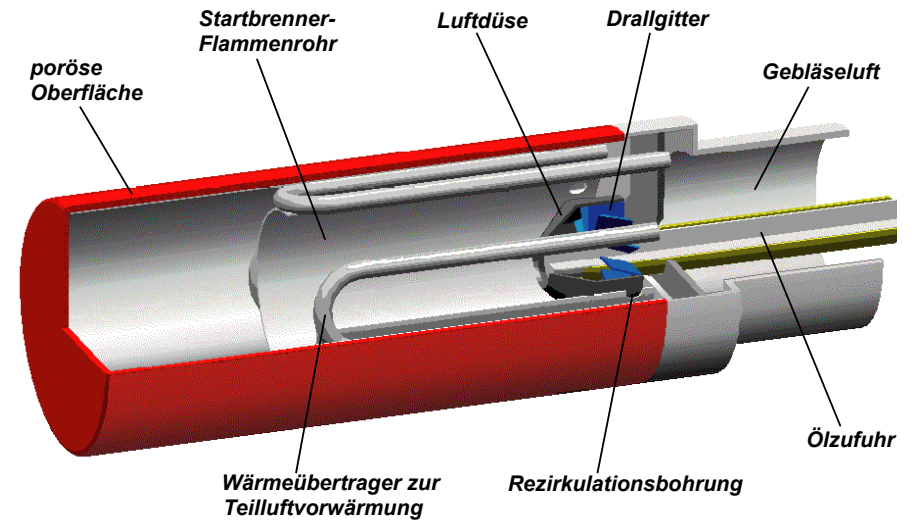
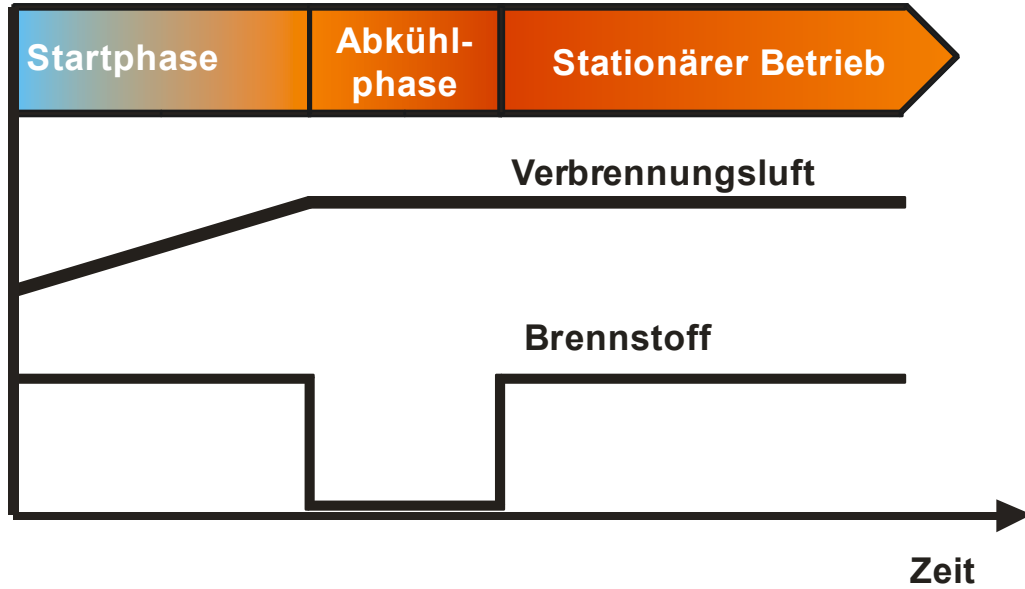
- Technische Thermodynamik
- Strömungsmechanik
- Wärme- und Stoffübertragung



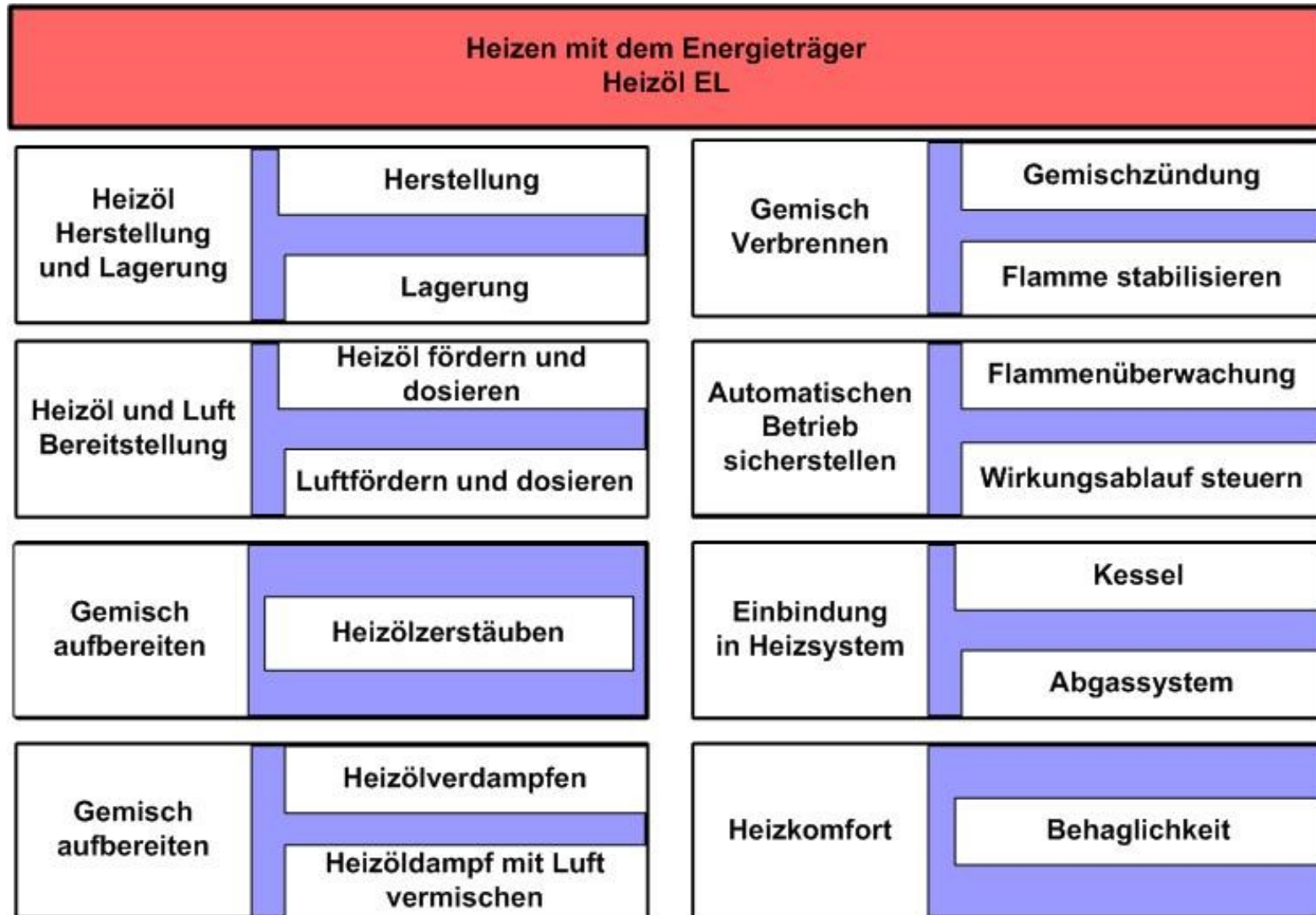
## Strahlungsbrenner für Heizöl EL

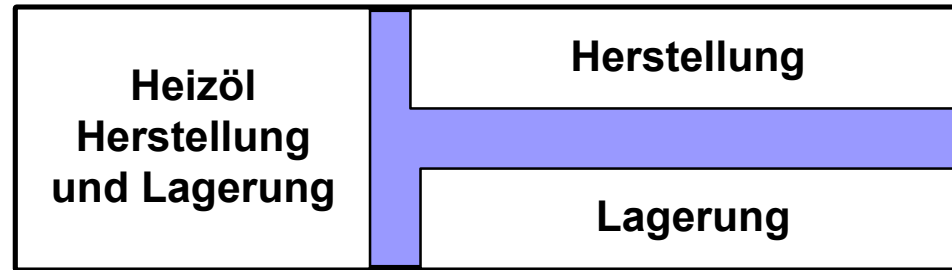


# Betriebsphasen des Strahlungsbrenners



# Inhalte der Vorlesungen





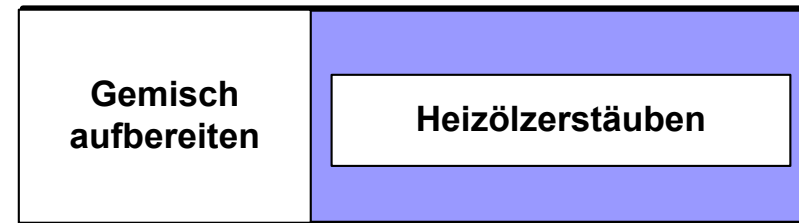
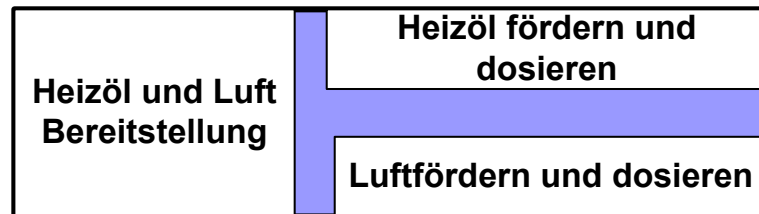
Brennstoffe für Haushaltsfeuerungen – Heizöle, Erdgas, Biomasse

## **Brennstoff Heizöl/Diesel**

- Herstellung, Zusammensetzung
- Physikalische und chemische Eigenschaften, Einsatz von Bioölen

## **Einführung der Verbrennungsgrößen**

- Mindestluftbedarf
- Abgaszusammensetzung, Mindestabgasmenge
- Heizwert, Brennwert
- Adiabate Flammentemperatur + Brenngeschwindigkeit



## Förderung von Luft und fl. Brennstoff

Einführung in Strömungsmaschinen

- Gebläsearten, Betriebsgrößen
- Pumpenarten, Betriebsgrößen
- Auswahl Gebläse, Pumpe

## Zerstäubungsarten

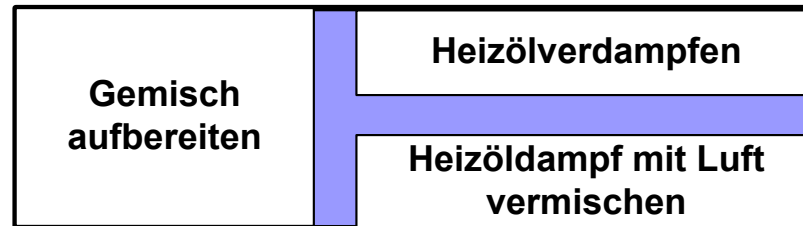
- Rotationszerstäuber,
- Ultraschallzerstäuber
- Druckzerstäuber
- Drallzerstäuber
- Zweistoffdüsen
- HDEV

Brenner Startbetrieb  
Blaubrenner

## Stabile Verbrennung

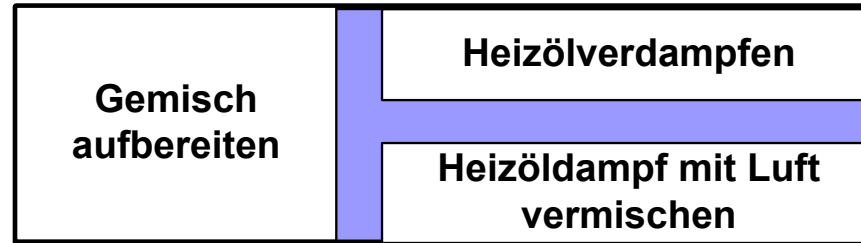
### Nicht vorgemischte Verbrennung

- Einführung
- Geschwindigkeitsstabilisierung
- Stauscheiben, Drall, Querschnittserweiterung,
- Stabilisierung durch interne Flammenrohrrezirkulation, externe Rezirkulation
- Beispiele teilvorgemischter Brenner (Gelbbrenner, Blaubrenner)

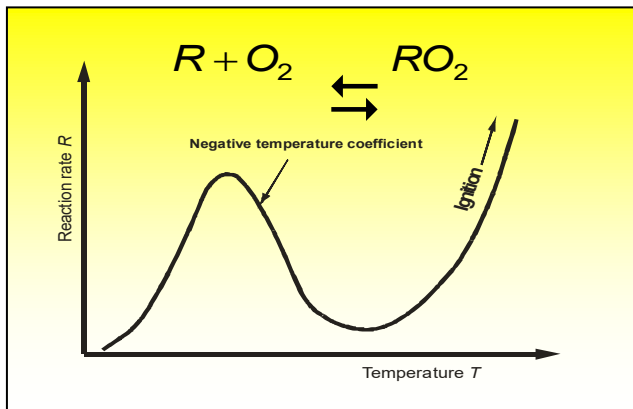


- **Vorgemischte Verbrennung**
- **Varianten der Vormischtechnik**
- **Unterschied Verdampfung – Verdunstung**
- **Arten der Verdampfung, Mehrkomponenten-Gemische**
- **D<sup>2</sup>-Gesetz**

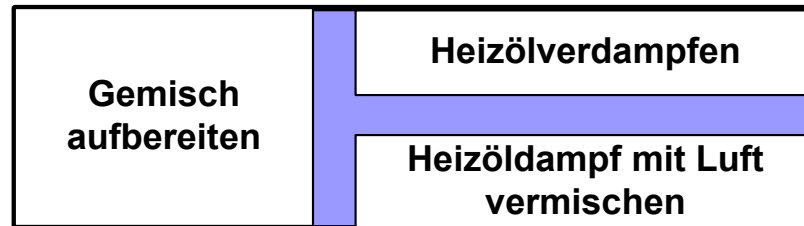
# Inhalte der Vorlesung (6)



- Zündverzug
- Niedertemperaturoxidation von Kohlenwasserstoffen
- langsame Verbrennung



# Inhalte der Vorlesung (7)

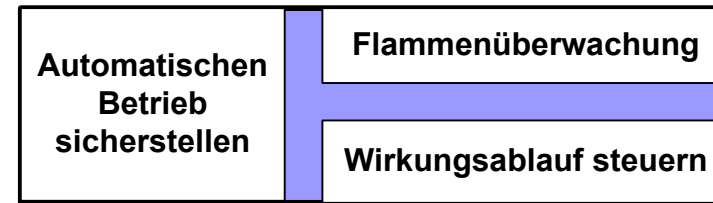
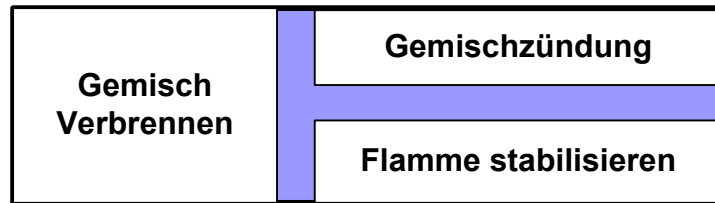


- **Kalte Flammen**
- **Wärmefreisetzung und Selbstzündung**



**Kalte Flamme  
Glasreaktor**

# Inhalte der Vorlesung (8)



**Einzelflammen**



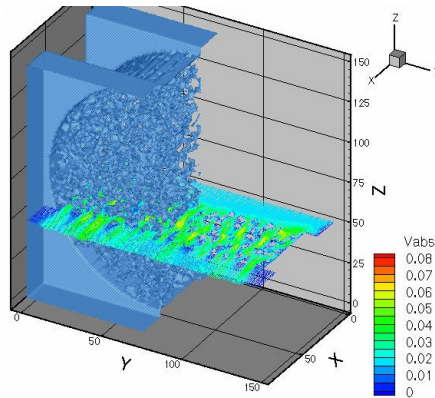
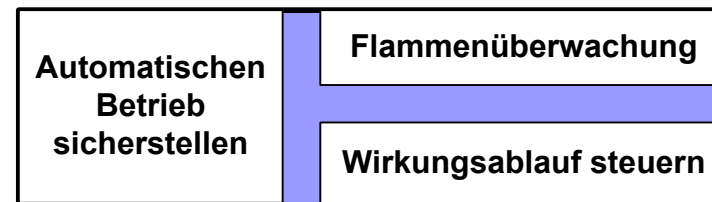
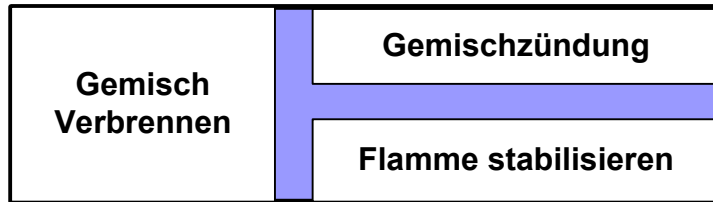
**Flammenteppich**



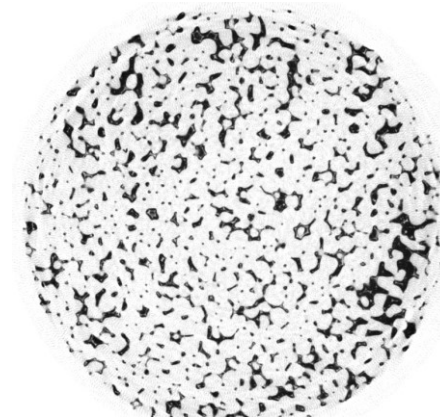
**Flamme in einem  
porösen Material**

- **Stabilisierung der Verbrennung an und in porösen Medien**

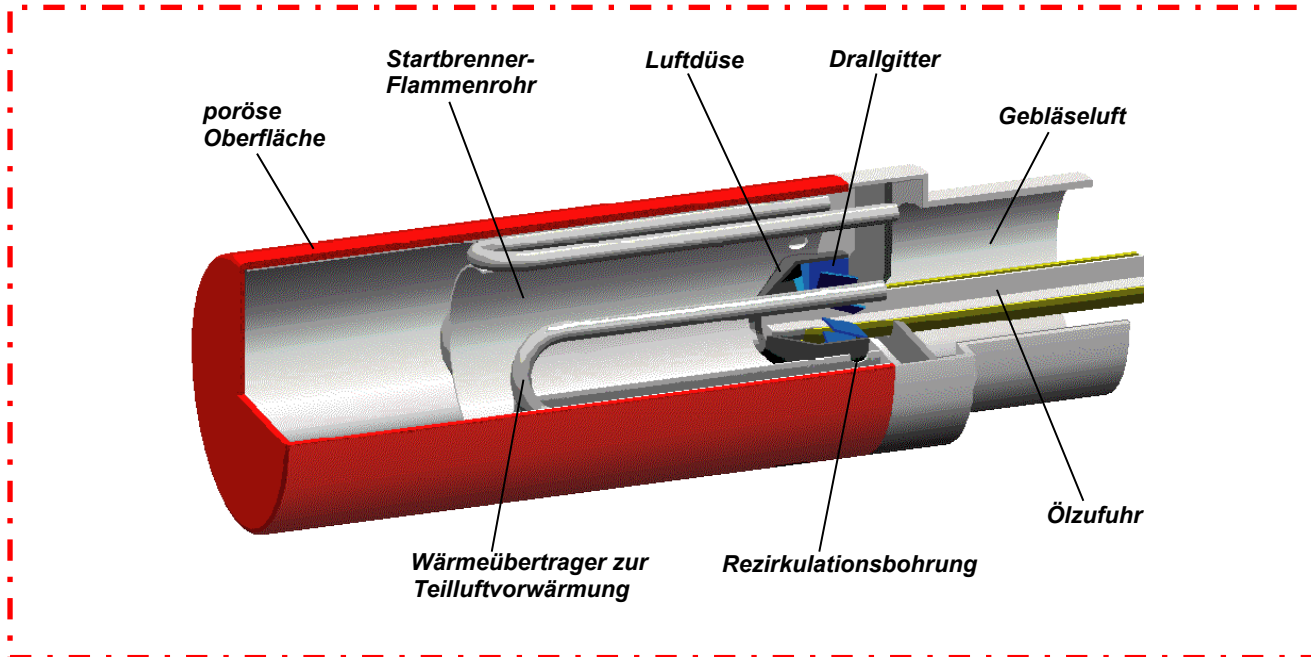
# Inhalte der Vorlesung (9)



**Strömung in einem  
porösen Material**

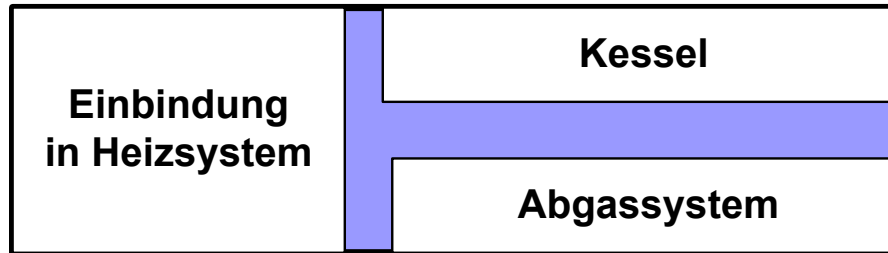


**Strömung in porösen Medien  
(Wärmetransport, Dispersion, Strahlung, Konvektion, etc.)**

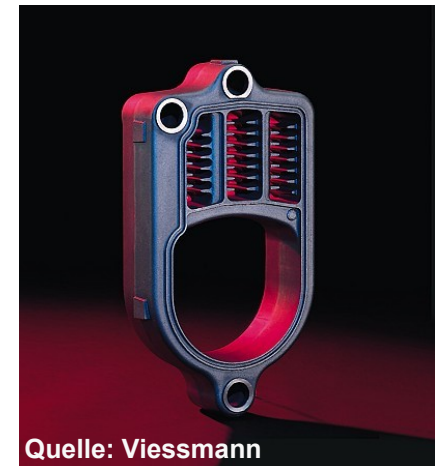
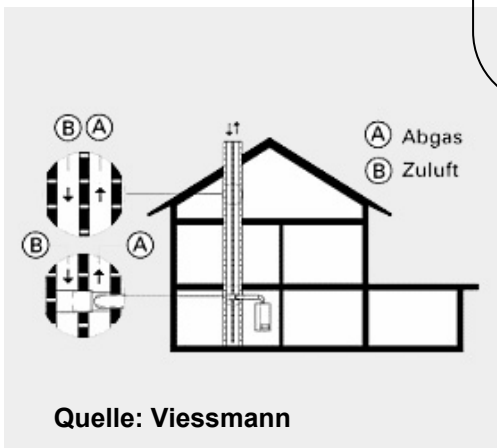
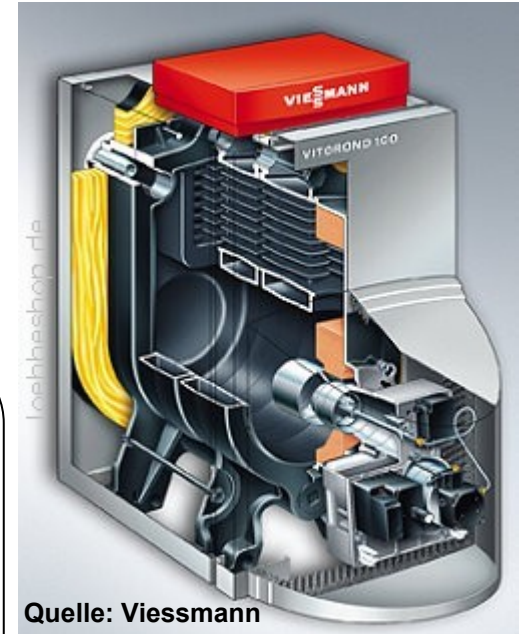


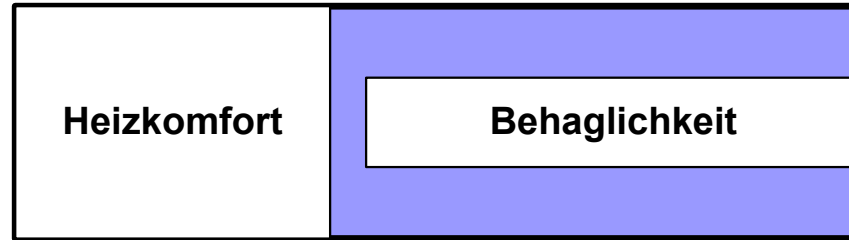
- **Thermodynamische Betrachtung des Strahlungsbrenners**
- **Erstellung von Teil- und Gesamtbilanzen**

# Inhalte der Vorlesung (11)



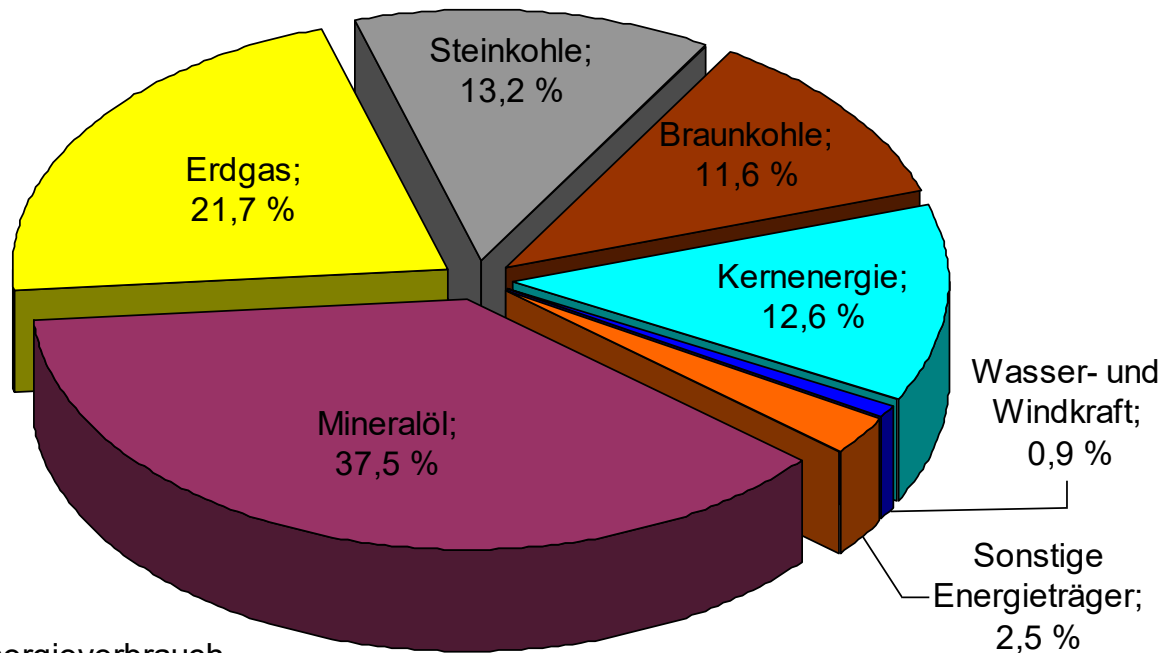
- **Kesselarten**
- **Abgassystem**
- **Gesamtwirkungsgrad**





- **Behaglichkeit**
- **Wärmebilanz des Menschen**
- **Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte, Strahlungswärme**

- **Steinkohle**
- **Braunkohle**
- **Erdöl**
- **Ölsande, Ölschiefer**
- **Erdgas**
- **Torf**



Gesamtprimärenergieverbrauch  
in Deutschland 2002:  
488,5 Mill. T. SKE (= 14.319 PJ)

Primärenergieverbrauch in Deutschland 2002; Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen



## Prozentuale Verteilung auf Verbrauchergruppen

Industrie	26 %
Verkehr	28 %
Haushalte	30 %
Handel, Gewerbe	16 %

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

## Energieverbrauch Haushalte Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten (Deutschland)

Energieverbrauch

81,2

98,3

96

93

89

Leichtes Heizöl

25,2

33,3

28

23

19

Naturgas  
und sonstige Gase

21,6

35,8

39

39,5

40

Kohle

12,4

1,7

1

0,5

Fernwärme

5,5

5,8

5

5

Strom

14,3

16,3

17

18

18

Erneuerbare Energien

2,2

5,4

6

7

7

1990

1998

2005

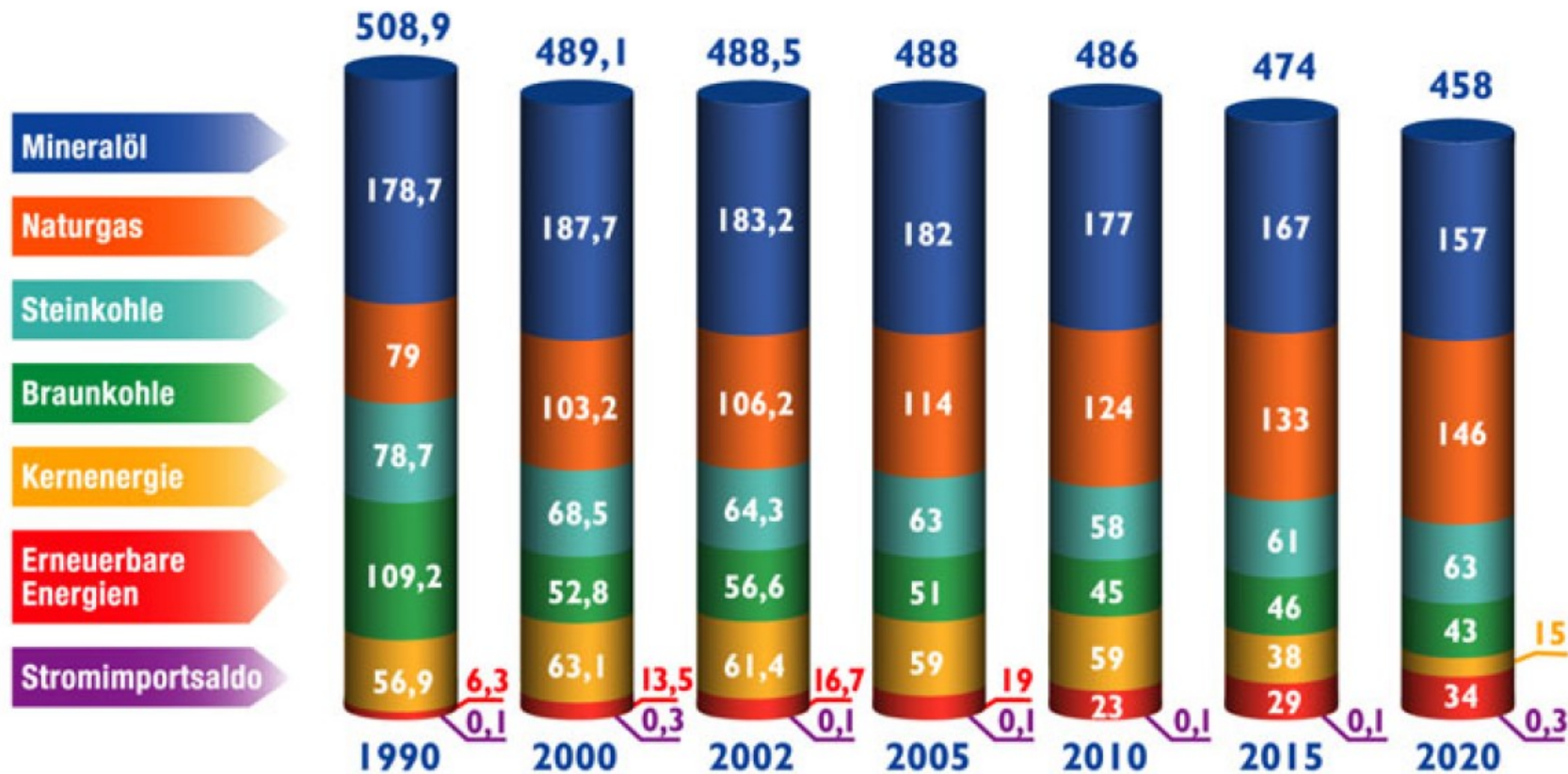
2010

2020

# Primärenergieverbrauch

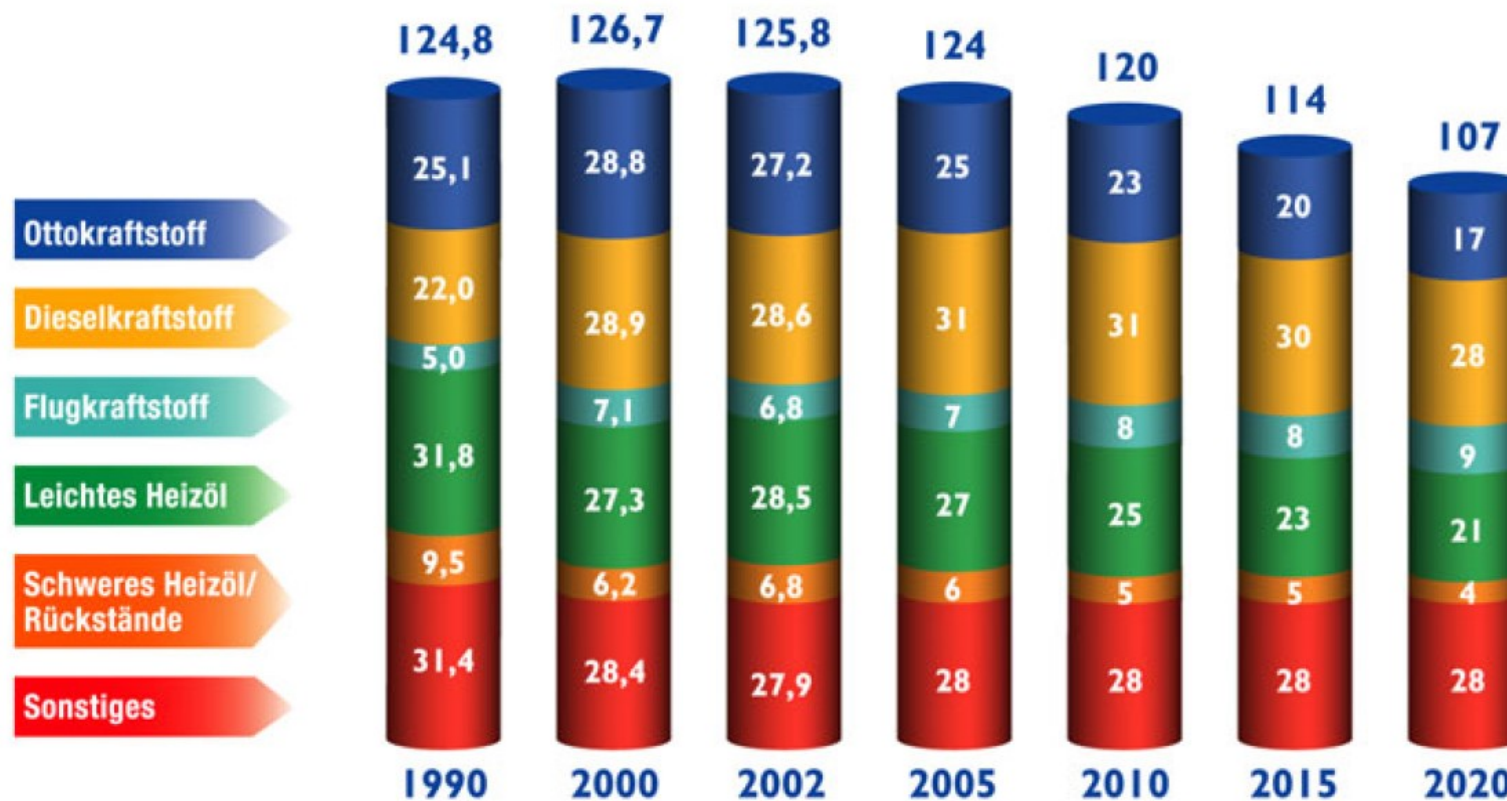
## Primärenergieverbrauch nach Energieträgern

in Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten (Deutschland)



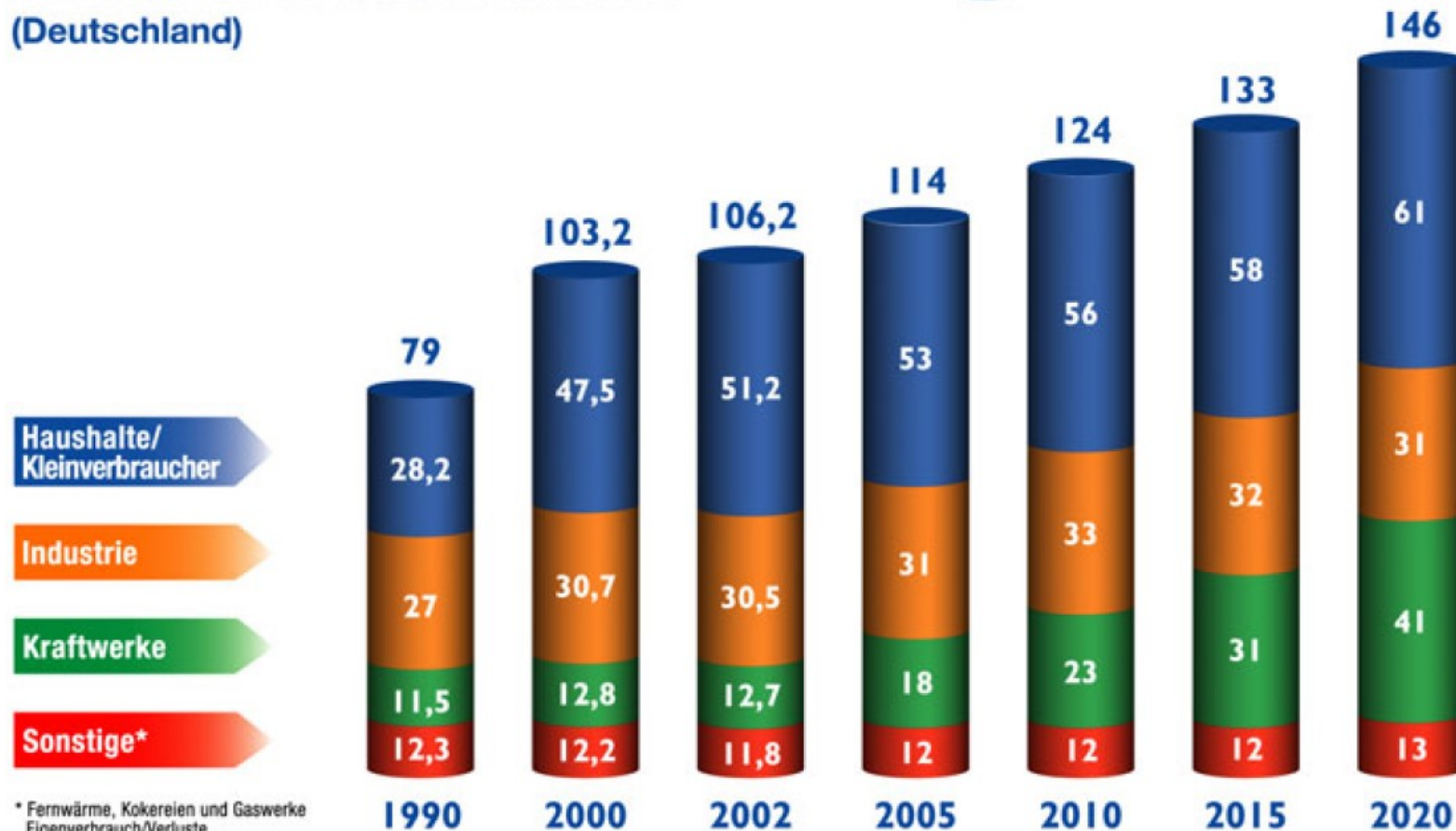
# Mineralölverbrauch

**Mineralölverbrauch**  
in Millionen Tonnen (Deutschland)



# Naturgasverbrauch

## Naturgasverbrauch in Millionen Tonnen Steinkohleeinheiten (Deutschland)



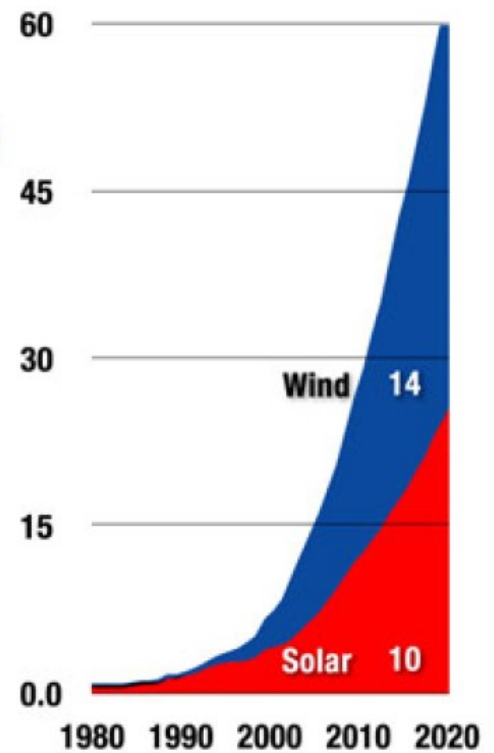
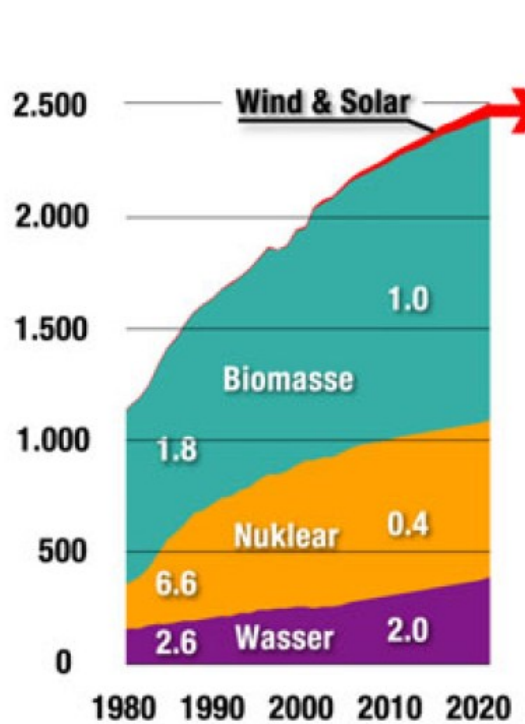
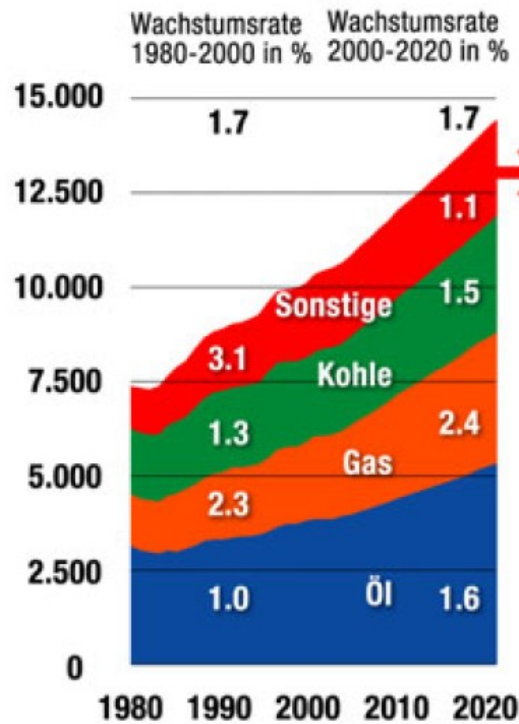
\* Fernwärme, Kokereien und Gaswerke  
Eigenverbrauch/Verluste,  
statistische Differenzen

# Weltenergiebedarf

## Weltenergiebedarf in Millionen Tonnen Ölequivalent (OE)



Energiebedarf gesamt → Sonstige Energieträger → Wind & Solar



# Weltenergiebedarf (Erdöl)



## Europa

in Millionen Tonnen	1990	1995	2000	2004	2005
<b>Reserven</b>	<b>2.214</b>	<b>2.400</b>	<b>2.585</b>	<b>2.372</b>	<b>2.206</b>
<b>Erdölförderung</b>	<b>217,5</b>	<b>311,2</b>	<b>331,3</b>	<b>291,8</b>	<b>268,4</b>
<b>Raffineriekapazität</b>	<b>839,8</b>	<b>841,1</b>	<b>841,0</b>	<b>847,0</b>	<b>859,1</b>
<b>Verbrauch</b>	<b>716,5</b>	<b>731,0</b>	<b>751,7</b>	<b>777,9</b>	<b>768,8</b>

<b>Reserven</b>					
Albanien	20	25	25	25	30
Deutschland	63	53	50	51	46
Dänemark	105	135	140	173	174
Frankreich	25	19	20	20	22
Großbritannien	511	573	668	599	538
Italien	102	91	91	91	91

<b>Förderung</b>					
Deutschland	3,6	3,0	3,1	3,5	3,6
Dänemark	6,0	9,2	17,8	19,3	18,9
Frankreich	3,4	2,8	1,6	1,3	1,2
Großbritannien	91,6	129,9	126,2	95,4	84,5
Italien	4,7	5,2	4,6	5,4	6,1

In Millionen Tonnen	1990	1995	2000	2004	2005
<b>Verbrauch</b>					
Belgien / Luxemburg	24,8	25,9	30,7	35,0	32,9
Bulgarien	8,8	5,6	4,0	4,3	4,3
Deutschland	125,6	134,7	129,4	123,6	121,0
Dänemark / Norwegen / Schweden	34,6	36,9	35,4	36,3	35,2
Frankreich	89,4	90,5	94,6	93,7	94,7
Großbritannien	82,9	83,1	80,0	81,4	82,3
Italien	93,6	95,2	90,4	91,2	85,7

## Welt gesamt

<b>Reserven</b>	<b>135.734</b>	<b>136.890</b>	<b>139.626</b>	<b>173.340</b>	<b>175.384</b>
<b>Erdölförderung</b>	<b>3.164,3</b>	<b>3.278,1</b>	<b>3.614,0</b>	<b>3.868,6</b>	<b>3.920,6</b>
<b>Raffineriekapazität</b>	<b>3.730,4</b>	<b>3.714,3</b>	<b>4.064,5</b>	<b>4.121,0</b>	<b>4.251,5</b>
<b>Verbrauch</b>	<b>3.130,2</b>	<b>3.233,7</b>	<b>3.537,8</b>	<b>3.793,2</b>	<b>3.838,3</b>

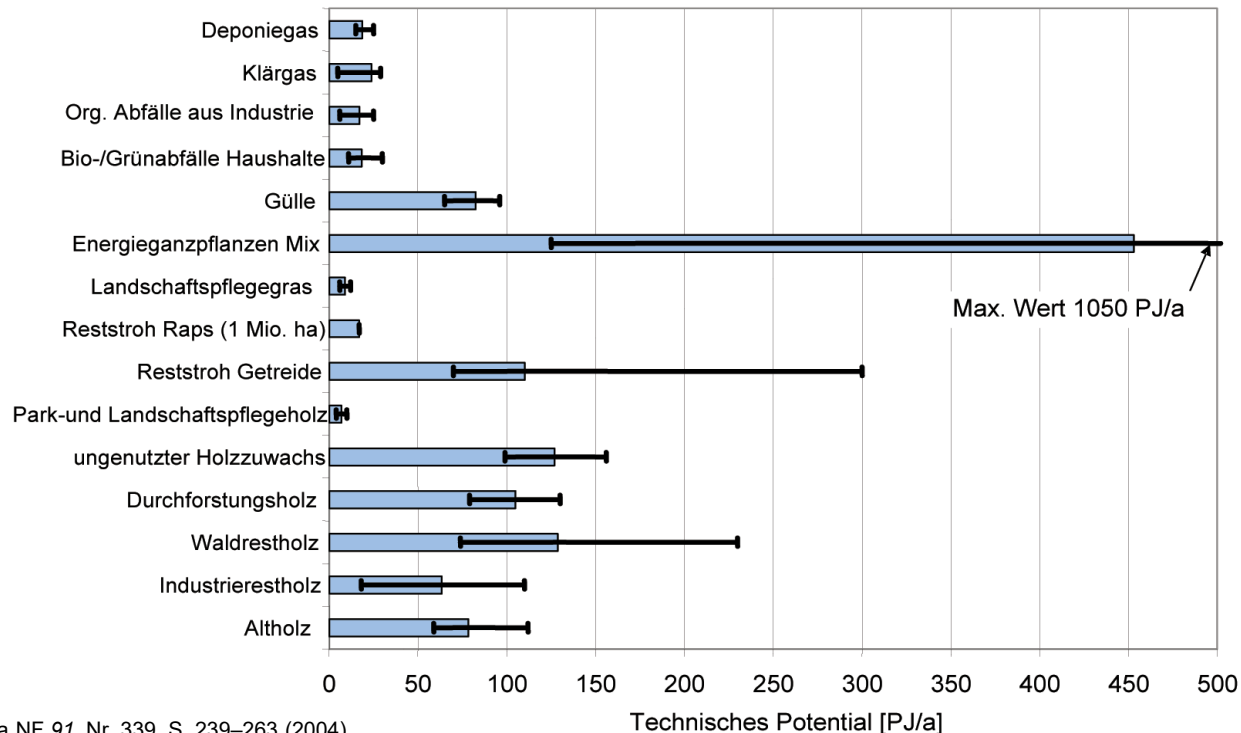
Herausgeber:

ExxonMobil Central Europe Holding GmbH, Kapstadtring 2, 22297 Hamburg  
[www.exxonmobil.de](http://www.exxonmobil.de) · [www.esso.de](http://www.esso.de) · [www.mobiloil.de](http://www.mobiloil.de)

→ Das Biomassepotential zur energetischen Nutzung ist limitiert, könnte aber zukünftig stärker zur Deckung des Energiebedarfs genutzt werden.

Gegenwärtiger Energiebedarf der Bundesrepublik: 14.000 PJ/a

Technisches Biomasspotential der Bundesrepublik: 1.200 PJ/a (entspricht 8,6 % !)



## Aber!

**Aufgrund der unterschiedlichen Energieverbrauchsstrukturen und der zur Verfügung stehenden Agrarflächen resultieren für die Europäische Union deutlich höhere Anteile.**

### Beispiel Kraftstoffe

**Bei einer durchschnittlichen jährlichen Fahrstrecke von 12000 km reicht ein Hektar (10.000 m<sup>2</sup>) Anbaufläche zur Versorgung von 1,2 Fahrzeugen (Biodiesel aus Raps, heutiger Durchschnittsverbrauch mit 8-l-Dieseläquivalent)**



## ▪ Sonstige “Erneuerbare Energien”

### ▪ Wasserkraft (Potential weitgehend ausgeschöpft)

- Laufwasserkraftwerk
- Speicherwasserkraftwerke
- Pumpspeicherkraftwerk



### ▪ Windkraft

- Inland/Küstenregion
- Off- shore Windkraftanlagen



### ▪ Solarenergie

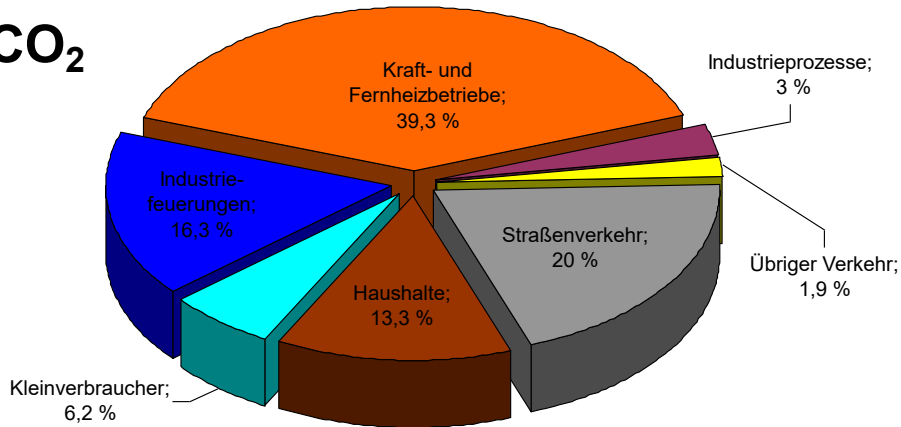
- Photovoltaik
- Solarthermie



### ▪ Geothermie

# Emissionen nach Emittentengruppen

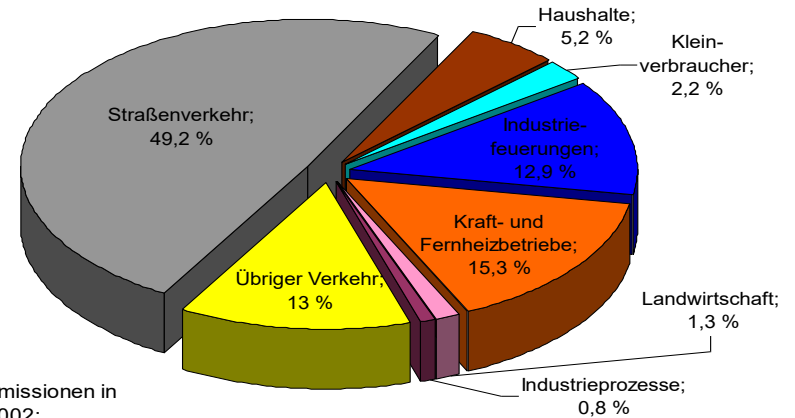
**CO<sub>2</sub>**



CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen in Deutschland 2002: 858 Mt

CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Emittentengruppen Deutschland 2002; Quelle: Umweltbundesamt

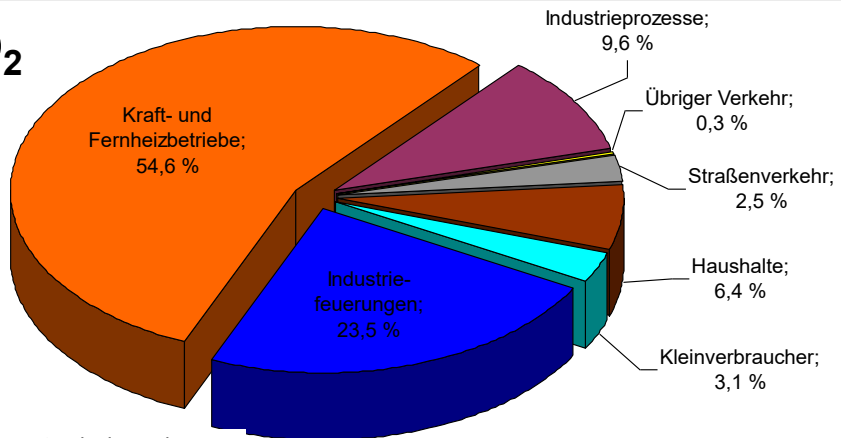
**NO<sub>x</sub>**



NO<sub>x</sub>-Gesamtemissionen in Deutschland 2002: 1581 kt

NO<sub>x</sub>-Emissionen nach Emittentengruppen Deutschland 2002; Quelle: Umweltbundesamt

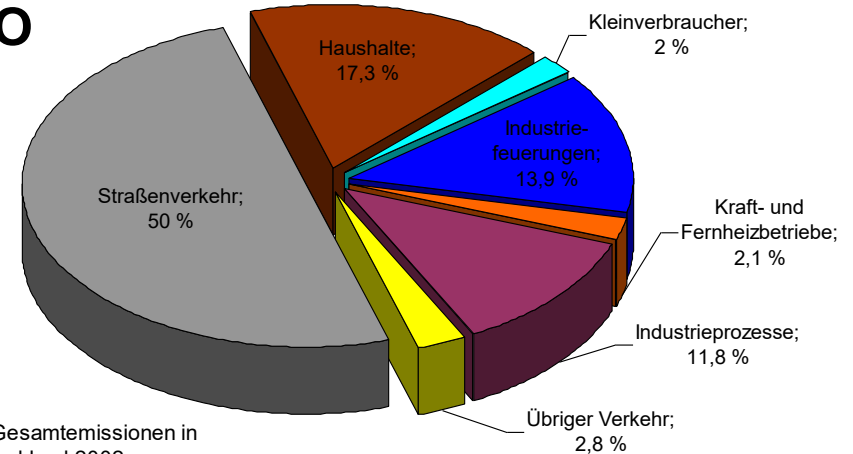
**SO<sub>2</sub>**



SO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen in Deutschland 2002: 795 kt

SO<sub>2</sub>-Emissionen nach Emittentengruppen Deutschland 2002; Quelle: Umweltbundesamt

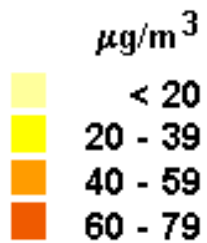
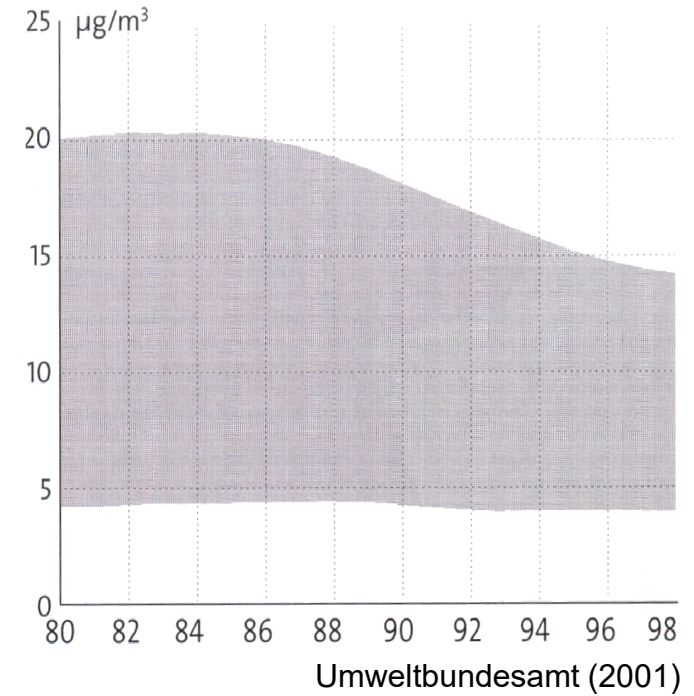
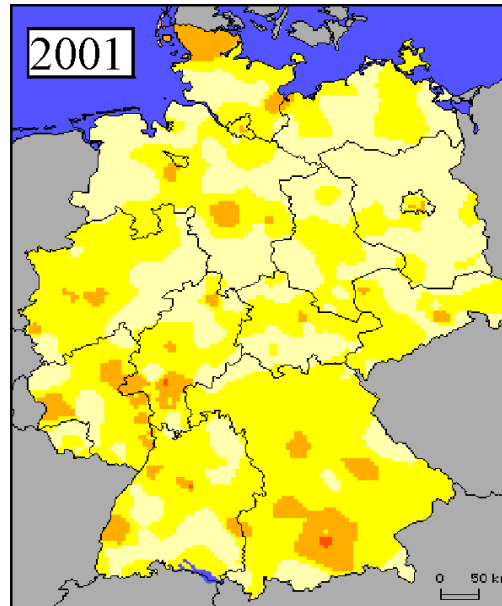
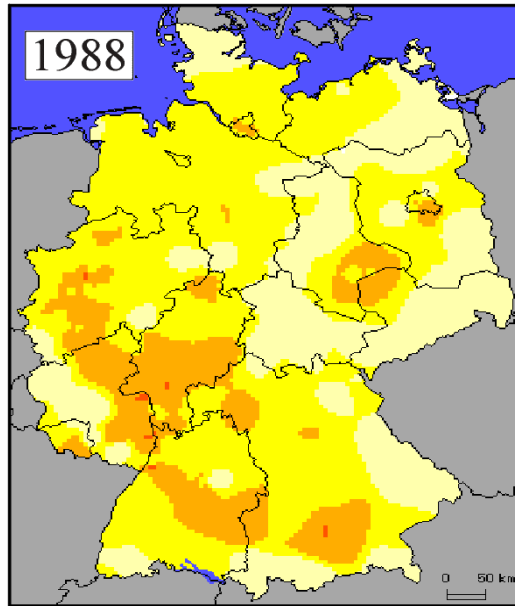
**CO**



CO-Gesamtemissionen in Deutschland 2002: 4769 kt

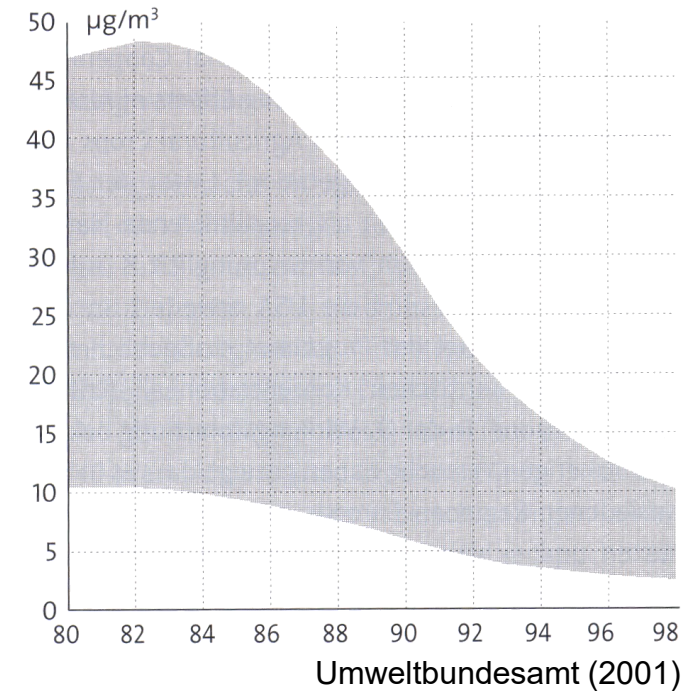
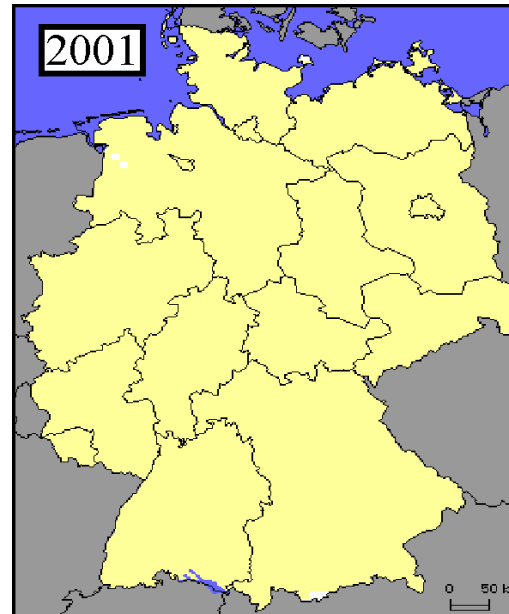
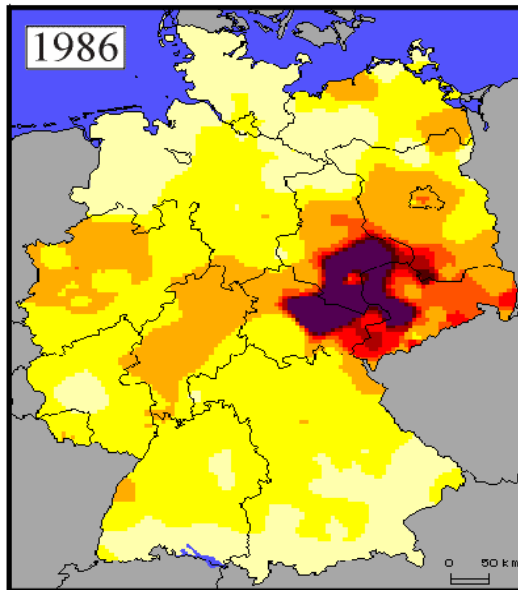
CO-Emissionen nach Emittentengruppen Deutschland 2002; Quelle: Umweltbundesamt

# Trend der Luftqualität

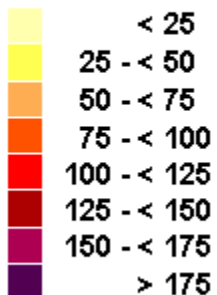


Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentration in Deutschland

Immissionsgrenzwert des Jahresmittelwertes  
gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie (gültig ab 19.07.01) : 30 μg/m<sup>3</sup>



µg/m<sup>3</sup>



Jahresmittelwerte der SO<sub>2</sub>-Konzentration in Deutschland

Immissionsgrenzwert des Jahresmittelwertes  
gemäß EU-Luftqualitätsrichtlinie (gültig ab 19.07.01) : 20 µg/m<sup>3</sup>

## Winter- oder London-Smog

### Ausgangssituation:

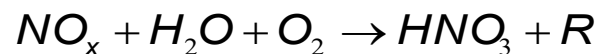
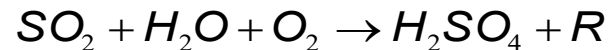
wenig Wind, hoher Schadstoffausstoß (Hausbrand im Winter), Inversionswetterlage

### Folgen:

Luftschadstoffkonzentrationen steigen in Bodennähe, Reduzierte Solarstrahlung am Boden →

Verstärkung der Temperaturinversion

Hohe  $\text{SO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Konzentrationen führen in Verbindung mit feuchter Luft zu Säure-Nebel



4. Dezember 1952:  
Sichtweite im Zentrum von London  
500 m für 114 h → 4000 Tote



## Sommer- oder Los-Angeles-Smog

**Ausgangssituation:** wenig Wind, viel Sonne, hohe Verkehrsdichte

**Folgen:** Ozon und andere Photooxidantien entstehen aus Stickstoffoxiden (NOX) und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) unter dem Einfluss von Sonneneinstrahlung  
→ Reizung der Schleimhäute und der Atemwege

Zuerst 1940 in Los Angeles  
beobachtete Erscheinung

