

# Luftqualität

## Zusammenfassung der Vorlesung

np

### Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einführung</b>	<b>4</b>
1.1	Zusammensetzung der Troposphäre .....	4
1.1.1	Hauptkomponenten und Spurengase .....	4
1.1.2	Partikuläre Luftinhaltsstoffe .....	4
1.1.3	Konzentrationswerte / Mischungsverhältnisse .....	4
1.2	Luftqualität Einst und jetzt .....	5
1.2.1	Geschichte der Luftqualität .....	5
<b>2</b>	<b>Luftqualitätsrichtlinie der EU</b>	<b>5</b>
2.1	Nationales Recht in Österreich .....	5
2.2	Emission von Luftschadstoffen .....	6
2.3	Referenzverfahren gemäß IG-L Messkonzeptverordnung .....	6
2.3.1	Bestimmung der Massenkonzentration von PM2.5 und PM10 .....	6
2.3.2	Bestimmung Schwefeldioxid .....	6
2.3.3	Bestimmung Stickstoffoxiden .....	6
2.3.4	Bestimmung Ozon .....	6
2.3.5	Bestimmung Kohlenmonoxid .....	6
<b>3</b>	<b>Schwefeldioxid</b>	<b>6</b>
3.1	Quellen .....	6
3.2	Auswirkungen .....	7
3.3	Aktuelle Situation und Trends .....	7
3.4	Reaktionen in der Troposphäre .....	7
<b>4</b>	<b>Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid</b>	<b>7</b>
4.1	Quellen .....	7
4.2	Gesundheitsauswirkungen .....	7
4.3	Richt- und Grenzwerte .....	8
4.4	Aktuelle Situation und Trends .....	8
4.5	Auswirkungen .....	8
4.6	Reaktionen in der Troposphäre .....	8
<b>5</b>	<b>Kohlenmonoxid und NMVOC</b>	<b>8</b>
5.1	Kohlenmonoxid [CO] .....	8
5.1.1	Quellen .....	8
5.1.2	Emissionen in Österreich .....	9
5.1.3	Gesundheitsauswirkungen .....	9
5.1.4	Richt- und Grenzwerte .....	9
5.1.5	Aktuelle Situation (2020) .....	10
5.1.6	Reaktionen in der Troposphäre .....	10

5.1.7	Bildung in der Troposphäre .....	10
5.2	Non Methane Volatile Organic Compounds (NMVOC) .....	10
5.2.1	Emissionen in Österreich .....	10
5.2.2	Verbindungen .....	10
5.2.3	Benzol .....	11
5.2.4	Reaktionen in der Troposphäre .....	11
<b>6</b>	<b>Ozon</b> .....	<b>11</b>
6.1	Quellen und Entstehungsmechanismen .....	11
6.2	Gesundheitsauswirkungen .....	11
6.3	Richt- und Grenzwerte .....	12
6.4	Auswirkungen .....	12
6.5	Aktuelle Situation und Trends .....	12
6.6	Ozonbildungspotential .....	12
<b>7</b>	<b>Particulate Matter</b> .....	<b>12</b>
7.1	Quellen .....	12
7.2	Gesundheitsauswirkungen .....	12
7.3	Richt- und Grenzwerte .....	13
7.4	Auswirkungen .....	13
7.5	Aktuelle Situation und Trends .....	13
7.6	Zusammensetzung .....	13
<b>8</b>	<b>Black Carbon, BaP und UFP</b> .....	<b>14</b>
8.1	B(a)P .....	14
8.1.1	Was ist B(a)P? .....	14
8.1.2	Quellen .....	14
8.1.3	Aktuelle Situation und Trends .....	14
8.2	Black Carbon .....	14
8.2.1	Begriffsdefinition .....	14
8.2.2	Quellen .....	14
8.2.3	Aktuelle Situation und Trends .....	14
8.2.4	Auswirkungen .....	14
8.3	Ultrafeine Partikel - UFP .....	15
8.3.1	Definition .....	15
8.3.2	Quellen .....	15
8.3.3	Aktuelle Situation und Trends .....	15
8.3.4	Auswirkungen von UFP .....	15
<b>9</b>	<b>Ammoniak (<math>NH_3</math>)</b> .....	<b>15</b>
9.1	Quellen .....	15
9.2	Zusammenhang mit Stickstoffkreislauf .....	15
9.3	Auswirkungen .....	15
9.4	Richt- und Grenzwerte .....	15
9.5	Aktuelle Situation und Trends .....	16
<b>10</b>	<b><math>CO_2</math>, <math>CH_4</math> und <math>N_2O</math></b> .....	<b>16</b>
10.1	$CO_2$ .....	16
10.1.1	Quellen .....	16
10.1.2	Aktuelle Situation und Trends .....	16
10.1.3	Senken .....	17
10.2	$CH_4$ .....	17
10.2.1	Quellen .....	17
10.2.2	Aktuelle Situation und Trends .....	17
10.2.3	Reaktionen in der Troposphäre .....	17

10.3	$N_2$ .....	17
10.3.1	Quellen .....	17
10.3.2	Aktuelle Situation und Trends .....	17
<b>11</b>	<b>Short Lived Climate Forcers</b> .....	<b>17</b>
11.1	Definition .....	17
11.2	Charakteristika der SLCF .....	18
11.3	Verbindungen der SLCF .....	18
11.4	ARI/ACI .....	18
11.5	Wolkenbildung .....	18

# 1 Einführung

## 1.1 Zusammensetzung der Troposphäre

### 1.1.1 Hauptkomponenten und Spurengase

Troposphäre 0 bis 8-18km; Tropopause; Stratosphäre bis 50km zusammen bilden die beiden die untere Atmosphäre. In etwa 78% der Luft ist  $N_2$ ; 20%  $O_2$  und an dritter Stelle Ar. Die Gase werden eingeteilt in Variabel und Hoch Variabel. (S.4)

Je kleiner oder größer die Räumliche Skala eines Gases ist desto kleiner oder größer ist ihre Beständigkeit. Daraus werden Kurz-, Mittel- und Langlebende Species von Gasen eingeteilt.

Emission = Abgabe von Luftschadstoffen an Luft. Man unterscheidet Punkt-, Linien- und Flächenquellen, die auf einmal in Wirkung gehen können, oder dauernd sind.

Transmission = Transport von Luftschadstoffen in der Luft. Es kann auch zu Bildung von sekundären Schadstoffen kommen, wie Ozon, welches durch UV Strahlung entsteht. Aber auch Blitze und andere Wetter Phänomene haben einen Einfluss darauf.

Immision = auf Schutzgüter einwirkende Luftschadstoffe. Schutzgüter sind z.B.: Mensch, Tier und Pflanzen und Kultur- und Sachgüter.

### 1.1.2 Partikuläre Luftinhaltsstoffe

Feinstaub/ Aerosolpartikel/ Aerosole sind feste flüssige Teilchen (Tröpfchen), die in der Luft suspendiert sind. Man beschreibt diese Teilchen mit Anzahl, Volumen und Oberflächen Verteilungen. Dabei ist zu bemerken, dass die meisten Teilchen sehr klein sind, aber die gesamte Masse durch wenige große Teilchen bestimmt wird.

### 1.1.3 Konzentrationswerte / Mischungsverhältnisse

Massenkonzentration

$$c_{mass} \rightarrow [\mu g/m^3]$$

Molare Konzentration

$$c_{molar} \rightarrow [\mu mol/m^3]$$

Anzahlkonzentration

$$c_{number} \rightarrow [cm^{-3}]$$

Bei der Angabe von Konzentrationswerten sind Druck und Temperatur anzugeben.

...

Dubson Units

## 1.2 Luftqualität Einst und jetzt

### 1.2.1 Geschichte der Luftqualität

Jahr	Ereignis
400 BC	Hippokrates äußert Vermutung von einer Verbindung zwischen schlechter Luft und diversen Krankheiten
1. Jhdt n.C.	Seneca beschreibt Gesundheitsverbesserung außerhalb von stinkender Stadt
1273	Smoke Abatement Act in London
1377	Rechtsstreit um Mindesthöhe von Schornstein
14. Jhdt	Beschwerde ans Gericht in London (schlechter Geruch wegen niedriger Schornsteine)
1610	Beschwerde und Verhandlung zur Lage eines Schweinestalls
19. Jdht	London Smog
1972	UN Konferenz in Stockholm (Wendepunkt)
CLRTAP	Convention on Long-range Transboundary Air Pollution
EMEP	European Monitoring and Assessment Programme

## 2 Luftqualitätsrichtlinie der EU

### 2.1 Nationales Recht in Österreich

EU hat mit „*RICHTLINIE 2008/50/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa*“ das übergeordnete Gesetz. Es befasst sich mit den Schadstoffen SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, Benzol, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub> und PB. Vierte Tochterrichtlinie ergänzt As, Cd, Ni und Benzo(a)pyren als Staubinhaltsstoffe. Die Umsetzung in nationales Recht erfolgt durch „IG-L“. Orientierung an Leitwerten der WHO, diese sind allerdings geringere Werte.

Ziele:

- Schutz von Gesundheit von Menschen und der Umwelt vor Schadstoffen
- Vorsorgliche Verringerung der Immisionen
- Bewahrung/Verbesserung der Luftqualität

Wie werden Ziele erreicht?

- österreichweites Messnetz
- Angabe der Bundesweiten Grenz- oder Zielwerte
- Alarmwerte für SO<sub>2</sub> und NO<sub>2</sub>
- Zielwerte für Feinstaub, NO<sub>x</sub>, Arsen, Cadmium und Nickel
- Verpflichtung Feinstaubbelastung zu minimieren

Was passiert bei Grenzwertüberschreitung?

Statuserhebung durch den Landeshauptmann (Ursache/Verursacher, Vorschlag eines Maßnahmenkatalogs). Maßnahmen werden ausgesucht und durchgeführt.

Luftgütemessnetz:

Klassifizierung der Messpunkte gemäß dominanten Emissionsquelle (Verkehrsnah, Industrienah, Hintergrundstation). Klassifizierung der Messpunkte nach Umgebung (urban, sub-urban, ländlich).

Immissionskonzentrationen stehen in direktem Zusammenhang mit der Emission von Luftschadstoffen.

Definition der Emissionshöchstmengen für einzelne Quellen und auf nationaler Basis Komponenten stimmen zum größten Teil überein, sind aber nicht ident.

## 2.2 Emission von Luftschadstoffen

Emissionsmenge:

Emissionsfaktor x Aktivität

Emissionsfaktor:

Menge einer Substanz, die während eines Prozesses an die Umwelt abgegeben wird, bezogen auf das im jeweiligen Prozess eingesetzte Rohmaterial, oder eine andere Bezugsgröße.

Aktivität:

statistische Bezugsgröße für diesen Prozess

Welche Prozesse werden in den einzelnen Sektoren abgebildet?

- Energieversorgung
- Verarbeitendes Gewerbe und Industrie
- Wohngebäude, Gewerbe und öffentliche Institutionen
- Verkehr
- Abfälle
- Landwirtschaft

## 2.3 Referenzverfahren gemäß IG-L Messkonzeptverordnung

### 2.3.1 Bestimmung der Massenkonzentration von PM<sub>2.5</sub> und PM<sub>10</sub>

Gravimetrisches Verfahren. Probennahme auf Planfiltern (Vorher-Nachher Messung). Luft wird konstant über Filter geblasen und Partikel werden über 24h aufgefangen.

### 2.3.2 Bestimmung Schwefeldioxid

UV Fluoreszenzverfahren (Anregung von Schwefeldioxid bei 215nm). Intensität des Fluoreszenzlicht ist der SO<sub>2</sub> Konzentration proportional.

### 2.3.3 Bestimmung Stickstoffoxiden

Chemilumineszenzverfahren (NO und NO<sub>2</sub>). Erster Schritt Reduktion von NO<sub>2</sub> in NO (an Metalloberflächen). Dann erfolgt Bestimmung der NO<sub>x</sub>.

### 2.3.4 Bestimmung Ozon

UV Absorption. Abschwächung von UV Strahlung (253,7nm) ist der Konzentration von O<sub>3</sub> proportional. Lichtquelle: Hg-Dampflampe; Detektor: Photomultiplier.

### 2.3.5 Bestimmung Kohlenmonoxid

NDIR (nicht dispersives Infrarot) Verfahren. Abschwächung von IR Strahlung ist der Konzentration von CO proportional. Querempfindlichkeiten sind zu korrigieren (CO<sub>2</sub> oder Wasserdampf).

## 3 Schwefeldioxid

### 3.1 Quellen

Anthropogene Quellen sind Verbrennungsprozesse von schwefelhaltigen Brennstoffen zur Energie- und Wärmegewinnung, der Verkehrssektor und die Industrie (Schwefelgehalt verschieden, in Fossilen höher als in Bio) und in der Metallverarbeitung (Rösten von Erzen). Natürliche Quellen sind Vulkane.

### 3.2 Auswirkungen

Gesundheit: Reizgas, gut wasserlöslich, Beeinträchtigung der oberen Atemwege. Erkrankungen der Atemwege und des Herz- Kreislaufsystems. Erhöhung der Morbidität und der Mortalität. Schäden treten sowohl nach kurzer als auch langfristiger Exposition auf.

- Gesundheit
- Strahlungshaushalt (Global Dimming)
- wesentlicher Teil des Säureeintrags (Saurer Regen)
- Bsp.: London Smog (17. Jhdt); Smog in Donora Pennsylvania (1948)

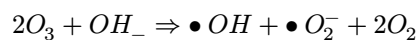
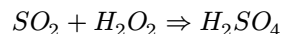
### 3.3 Aktuelle Situation und Trends

Seit den 1990ern ein Rückgang bis zu 90%. Jährlicher Ausstoß in Österreich war 1990 bei 73kt und 2021 bei 10kt. Nicht in vereinzelt Industriegebieten. Gründe sind Umstieg auf schwefelarme Brennstoffe und Einbau von Anlagen zur Entschwefelung. Auch Schwefeldioxid seit 1999 auf einem sehr geringem Level. In Winterperioden ist der SO<sub>2</sub> Gehalt immer höher.

Aktuell ist folgendes zu Bemerkend: auf der Welt gibt es seit 1990 einen Rückgang des SO<sub>2</sub> jedoch mit einem kurzem Rückfall um das Jahr 2005 herum, dabei ist der größte Teil aus Müll und der Industrie. In China ist bis 2005 ca ein Anstieg zu verzeichnen, und seit dem fällt der SO<sub>2</sub> Gehalt wieder. Anders in Indien. Dort steigt es bis zum Jahr 2010.

### 3.4 Reaktionen in der Troposphäre

In der Troposphäre oxidiert/reagiert SO<sub>2</sub> zu H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Die mittlere Lebenszeit von SO<sub>2</sub> liegt bei 2-4 Tagen.



## 4 Stickstoffdioxid und Stickstoffmonoxid

### 4.1 Quellen

Anthropogen: Verbrennung bei hoher Temperatur (Umwandlung von N<sub>2</sub> aus Luft oder von Stickstoffverbindungen im Brennstoff), Verkehr, energie- und Wärmegewinnung, Industrie u.a. Sektoren, Biologische Prozesse in Landwirtschaft Natürlich: Blitze, etc.

In AUT 45% Verkehr, 17% Industrie, 11% Landwirtschaft. NO<sub>x</sub> Emissionen sind auf einem sehr leichten abwärts Trend in AUT.

### 4.2 Gesundheitsauswirkungen

Reizung der Schleimhäute, Augen, Atemwege. Es kommt zu Atemwegsbeschwerden. Erhöhung der Mortalität und Morbidität. Auswirkung auf Herzkreislauf. Aufgrund der Entstehung und der Reaktionen des NO<sub>x</sub> in der Troposphäre wird NO<sub>2</sub> als Markerkomponente für andere Luftschadstoffe verwendet. Gleichzeitig wird dadurch Zuordnung von Gesundheitsauswirkungen von Luftschadstoffen in epidemiologischen Studien erschwert.

### 4.3 Richt- und Grenzwerte

WHO 2021	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
JMW	10	
24h	25	
EU	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
JMW	40	
JMW	30	Schutz der Vegetation
1h	200	Grenzwert, 18 Überschreitungen
	400	Alarmwert
Österreich (IG-L)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
JMW	30	
24h	80	Zielwert
30min	200	
3h	400	Alarmwert

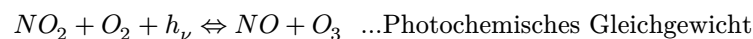
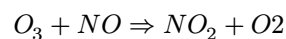
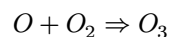
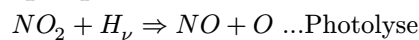
### 4.4 Aktuelle Situation und Trends

Nach Abnahme von Konzentrationswerten in Österreich in den 1990er Jahren kam es bis 2006 wieder zu einem Anstieg von  $\text{NO}_2$ , der durch Änderung der Fahrzeugflotte bedingt war. Derzeit nehmen Konzentrationswerte ab (technologische Verbesserung, Fahrverbote, Geschwindigkeitsbegrenzung). Im Jahr 2021 erstmals keine Überschreitung der Grenzwerte. In urbanen Bereichen sind allgemein höhere Werte zu erwarten. Über ein Jahr betrachtet sind höchst Werte im Winter zu bemerken.

### 4.5 Auswirkungen

- Gesundheitsauswirkungen
- Bildung von Ozon in der Troposphäre, Photochemischer Smog
- Partikelbildung (Nitrat aerosol)
- Säureeintrag (Saurer Regen)
- Stickstoffeintragung (Eutrophierung)

### 4.6 Reaktionen in der Troposphäre



## 5 Kohlenmonoxid und NMVOC

### 5.1 Kohlenmonoxid [CO]

#### 5.1.1 Quellen

Anthropogen: unvollständige Verbrennung (Energie und Wärmegewinnung)

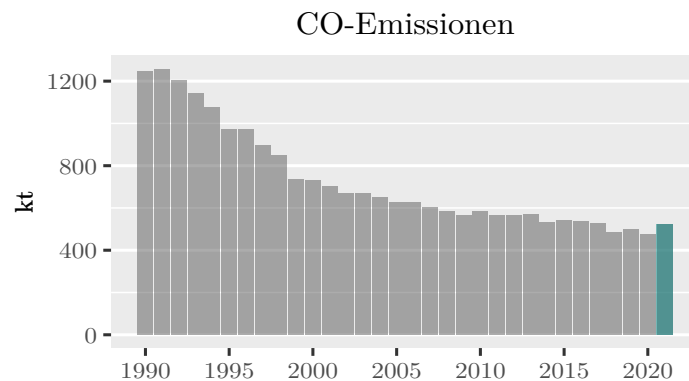
Natürlich: Feuer, Vulkane, Pflanzen und mikrobielle Umsetzung in Böden und Ozeanen



Source	$CO/yr$
Anthropogenic	$700 \cdot 10^9 kg$
Biomassburning	$500 \cdot 10^9 kg$
Oxidation of $CH_4$	$900 \cdot 10^9 kg$
Oxidation of NMVOC's	$300 \cdot 10^9 kg$
Total Sources	$2600 \cdot 10^9 kg$

### 5.1.2 Emissionen in Österreich

Ein Rückgang von ca. 60% seit 1990 ist durch Verbesserung der Verbrennung im Verkehrsbereich, in der Industrie und bei Heizsystemen zu erklären.



Quelle: Umweltbundesamt

**Abb. 1:** CO Emissionen Österreich

### 5.1.3 Gesundheitsauswirkungen

Farbloses und Geruchloses Gas. Keine Reizwirkung. Geringe Wasserlöslichkeit. Vergiftungserscheinungen (Schwindel, Sehstörungen, Tod etc.). Sauerstofftransport wird verhindert durch Bindung von CO an Myoglobin und Hämoglobin. Es ist mit Kurz- und Langzeiteffekten zu Rechnen.

### 5.1.4 Richt- und Grenzwerte

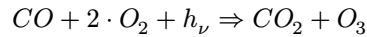
WHO 2021	$mg/m^3$
24h	4
8h	10
1h	35
15min	100
EU	$mg/m^3$
8h	10
Österreich (IG-L)	$mg/m^3$
8h	10

### 5.1.5 Aktuelle Situation (2020)

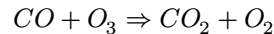
Der Jahresmittelwert in Wien liegt bei  $0.3\text{mg}/\text{m}^3$ , im Winter allerdings  $0.4\text{mg}/\text{m}^3$  und im Sommer  $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ . Europaweit sind die meisten Werte zwischen  $1\text{--}5\text{mg}/\text{m}^3$ . Erhöhte Werte treten in Serbien und Kosovo auf mit Werten zwischen  $5\text{--}15\text{mg}/\text{m}^3$ .

### 5.1.6 Reaktionen in der Troposphäre

Bei Anwesenheit von  $\text{NO}_x$ :

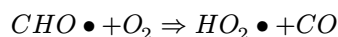
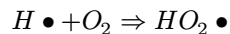
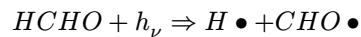
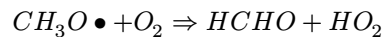
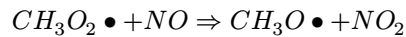
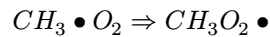
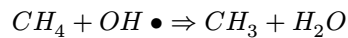


Bei Abwesenheit von  $\text{NO}_x$ :



### 5.1.7 Bildung in der Troposphäre

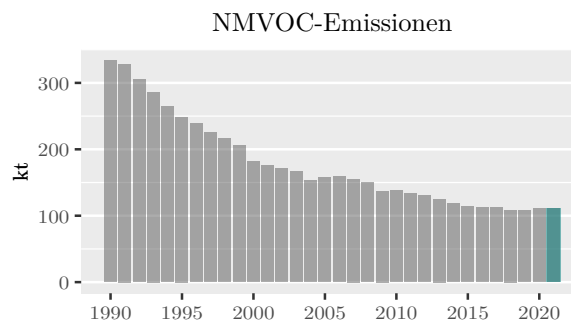
Methanoxidation:



## 5.2 Non Methane Volatile Organic Compounds (NMVOC)

### 5.2.1 Emissionen in Österreich

Deutlicher Rückgang von ca. 60% seit 1990. Die stärkste Reduktion im Bereich des Verkehrs von Gaspandeanlagen und die Anwendung von Lösungsmitteln in Haushalt und Gewerbe.



Quelle: Umweltbundesamt

**Abb. 2:** NMVOC Emissionen Österreich

### 5.2.2 Verbindungen

- gesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkene)
- ungesättigte Kohlenwasserstoffe (Alkine, mit einer oder mehr Doppelbindung, Dreifachbindung)
- zyklische Kohlenwasserstoffe

- Isopren und Terpene

### 5.2.3 Benzol

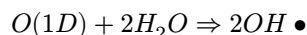
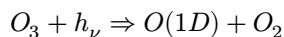
Benzol ist ein krebserregendes NMVOC.

WHO 2021	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
JMW	1.7
EU	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
JMW	5
Österreich (IG-L)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$
JMW	5

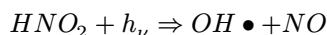
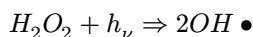
### 5.2.4 Reaktionen in der Troposphäre

Reaktionen mit  $\text{OH} \bullet$ ,  $\text{O}_3$  (ungesättigte Kohlenwasserstoffe) oder durch Photolyse (Aldehyde und Ketone).

Bildung des OH Radikals mittels Singulett Sauerstoff  $\text{O}(1\text{D})$  (ca. 10%)



oder durch Kollision mit einem Stoßpartner ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ )



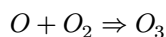
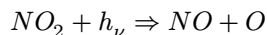
allerdings bei Tageslicht und somit ein starker Tagesgang.

## 6 Ozon

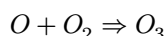
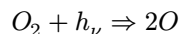
### 6.1 Quellen und Entstehungsmechanismen

Ozon wird in der Troposphäre aus Vorläufersubstanzen und Sonnenlicht gebildet. Es gibt Unterschiede bei der Bildung zwischen Tropo- und Stratosphäre. Bei den Vorläufersubstanzen handelt es sich um  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}$ , NMVOC und  $\text{CH}_4$ .

Anthropogene Quellen für Vorläufersubstanzen sind Verbrennung, Industrie und biologische Prozesse. Natürliche Quellen sind Pflanzenemissionen, Emissionen aus Böden, natürliche Fixierung von  $\text{N}_2$  und Verbrennungen. In der Troposphäre wird Ozon wie folgt gebildet:



In der Stratosphäre hingegen:



Der Abbau von Ozon erfolgt ebenfalls durch Einwirkung von Strahlung/Licht.

### 6.2 Gesundheitsauswirkungen

Ozon reizt die Schleimhäute, Augen und Atemwege. Wegen der schlechten Wasserlöslichkeit dringt Ozon tief in die Atemwege ein. Es kommt zu einer Erhöhung der Morbidität und der Mortalität. Gesundheitsauswirkungen treten hauptsächlich nach Ozonepisoden, daher nur kurzfristig auf.

### 6.3 Richt- und Grenzwerte

WHO 2021	$\mu g/m^3$	
max 8h MW	100 (60 im Sommer)	max 3 Überschreitungen
EU	$\mu g/m^3$	
max 8h MW	120	max 25 Überschreitungen
1h	180	
Österreich (IG-L)	$\mu g/m^3$	
Analog zu EU		

### 6.4 Auswirkungen

- Gesundheitsauswirkungen
- Pflanzenschäden (Aufhellung und iwf. Absterben des Blattes, reduziertes Pflanzenwachstum)
- Partikelbildung (Umwandlung von VOC in Produkte mit geringerer Flüchtigkeit)
- Treibhausgas

### 6.5 Aktuelle Situation und Trends

Es gibt deutliche Schwankungen allerdings gibt es einen fallenden Trend von den Tagen mit Überschreitungen der Schwellwerte. 41% der Stationen in EU überschreiten Zielwerte und 87% überschreiten das langfristige Ziel.

### 6.6 Ozonbildungspotential

Als ‚Brennstoff‘ werden bei der Ozonbildung unterschiedliche NMVOC, sowie CH<sub>4</sub> und CO umgesetzt. Die Lebenszeit gegenüber dem OH-Radikal kann als Maß für die Reaktivität der einzelnen Verbindungen herangezogen werden. Methan (3 Jahre), Ethan (29 Tage), Propan (6.3 Tage) und Butan (2-3 Tage) sind dabei die Spitzenreiter.

...

## 7 Particulate Matter

### 7.1 Quellen

Anthropogene Quellen sind klassisch gefasste Quellen, wie Verbrennungsprozesse, und diffuse Quellen wie Landwirtschaft, Industrie, Bergbau und dem Bausektor. Natürliche Quellen hingegen sind hauptsächlich diffuse Emissionen wie Bodenerosion, Pollen, Pflanzenabrieb, Waldbrände und Vulkane. Natürliche Quellen haben in etwa eine Größenordnung von 3100Tg/yr und Anthropogene 450Tg/yr.

### 7.2 Gesundheitsauswirkungen

Die Partikelgröße definiert die Eindringtiefe in die oberen Atemwege bzw. bis in die Alveolen. PM hat laut WHO die stärksten Auswirkungen auf den menschlichen Körper. Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislauf Systems werden berichtet. Es kommt zu einer Erhöhung der Morbidität und der Mortalität. Schäden sind sowohl bei kurzfristigen als auch bei langfristigen Expositionen zu erwarten.

### 7.3 Richt- und Grenzwerte

WHO 2021	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM10 - JMW	15	
PM10 - 24h	45	3-4 Überschreitungen erlaubt
PM2.5 - JMW	5	
PM2.5 - 24h	15	3-4 Überschreitungen erlaubt
EU	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM10 - JMW	40	
PM10 - 24h	50	35 Überschreitungen erlaubt
PM2.5 - JMW	25	
PM2.5 - AEI	20	
Österreich (IG-L)	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	
PM10 - JMW	40	
PM10 - 24h	50	25 Überschreitungen erlaubt
PM2.5 - JMW	25	
PM2.5 - AEI	20	

### 7.4 Auswirkungen

- Gesundheitsauswirkungen
- Auswirkung auf den Strahlungshaushalt (Radiative Forcing, Erwärmung und Abkühlung)
- Wolken- und Niederschlagsbildung

### 7.5 Aktuelle Situation und Trends

Die Konzentrationswerte des PM10 nehmen in den vergangenen 15 Jahren klar ab. Bei kurzfristigen Änderungen sind teilweise noch Anstiege zu bemerken. Grund für den Rückgang ist auf die Umstellung von Brennstoffen, Stauabscheidung der Abgase und durch Partikelfilter zu erklären. Aktuell sind in der EU Regionen mit erhöhten Werten im Mittelmeerraum (Italien) und in Osteuropa. In Österreich sind bei fast keiner der Messstationen mehr als 5 Tage mit Werten über  $50\mu\text{g}/\text{m}^3$  zu sehen. Eine Ausnahme bildet Graz und Umgebung mit 6 bis 25 Tagen.

### 7.6 Zusammensetzung

Die chemische Zusammensetzung ist Ortsabhängig. Die Hauptkomponenten sind jedoch:

- Elektrolyte (Nitrat, Sulfat, Ammonium, Natrium, Chlorid...)
- Kohlenstoffhaltige Aerosolpartikel (org. Material, schwarzer Kohlenstoff)
- Mineralstaub (Oxide von Silicium, Aluminium, Calcium, Magnesium...)

Anorganische Sekundäraerosole (SIA) bilden Ammoniumsulfat und Ammoniumnitrat aus  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  und  $\text{NH}_3$ . Organische Sekundäraerosole (SOA) Bildung hängt von der Flüchtigkeit der Reaktionsprodukten ab, sowie der Konzentration und der Reaktivität der Vorläufersubstanz, diese sind zum Beispiel Isopren und Terpene.

## 8 Black Carbon, BaP und UFP

### 8.1 B(a)P

#### 8.1.1 Was ist B(a)P?

B(a)P [Benzo(a)pyren] ist ein Vertreter der Substanzklasse der PAK (Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe). Leitsubstanz der Klasse aufgrund der Toxizität (kanzerogen, mutagen). B(a)P befindet sich hauptsächlich in der Partikelphase, Messungen müssen allerdings auch Gasphase inkludieren.

#### 8.1.2 Quellen

Anthropogene Quellen:

Verbrennung von fossilen und Biobrennstoffen (Verkehr, Industrie, Landwirtschaft)

Natürliche Quellen:

Biomasseverbrennung

#### 8.1.3 Aktuelle Situation und Trends

In den vergangenen 15 Jahren ist in Österreich ein klarer Abwärtstrend bemerkbar. Bei 4 von 5 Messstationen liegen die Werte unter dem Grenzwert und liegen ca. bei  $1\text{ ng}/\text{m}^3$ . Auf EU Ebene sind die meisten Grenzwertüberschreitungen in Osteuropa, mit Hauptaugenmerk auf Polen, zu beobachten.

## 8.2 Black Carbon

### 8.2.1 Begriffsdefinition

Black carbon (BC) is formally defined as an ideally light-absorbing substance composed of carbon. While BC is mostly formed in incomplete combustion of carbonaceous matter, it can also be a product of pyrolysis of carbonaceous matter, i.e., the change of the chemical structure of carbonaceous compounds from loss of hydrogen and/or oxygen atoms at temperatures above approximately  $250^\circ\text{C}$ . This fundamental definition of BC agrees with the operationally based definition by Moosmüller et al. (2009), who defined BC as „carbonaceous material with a deep black appearance. Wavelength independent over the visible and near-visible spectral regions“.

Elemental carbon (EC) is formally defined as a „substance containing only carbon, carbon that is not bound to other elements, but which may be present in one or more of multiple allotropic forms“ (Schwartz and Lewis, 2012). Examples of elemental carbon are diamond, carbon nanotubes, graphite or fullerenes.

### 8.2.2 Quellen

Anthropogene Quellen:

Verbrennung von fossilen und Biobrennstoffen (Verkehr, Industrie, Landwirtschaft)

Natürliche Quellen:

Waldbrände

### 8.2.3 Aktuelle Situation und Trends

Weltweit sind Regionen mit hohen BC Konzentrationswerten in Indien und China. In den letzten 20 Jahren sind die Werte stetig gesunken, jedoch gab es in Indien (ein bisschen auch in China) bis ca. 2005 einen Anstieg. Betrachtet man den Wochengang, ist zu erkennen, dass untertags die Werte in die Höhe schnellen, vorallem im Frühverkehr. Über die Jahre sind die Spitzen allerdings abgeflacht.

### 8.2.4 Auswirkungen

- Gesundheitsauswirkungen (mögliche negative Auswirkung auf Herz-Kreislaufsystem nach kurz- und langfristiger Belastung)
- Auswirkung auf Strahlungshaushalt (Radiative Forcing, SLCF)

## 8.3 Ultrafeine Partikel - UFP

### 8.3.1 Definition

Partikel mit aerodynamischen Durchmesser unter 100nm. Konzentrationswerte werden nicht als Massenkonzentration, sondern als Anzahlkonzentration angegeben.

### 8.3.2 Quellen

Anthropogene Quellen:

Verbrennungsprozesse, Nukleation von kondensierbaren Gasen (Verkehr, Industrie, Kleinverbraucher)

Natürliche Quellen:

biogene Emissionen → Nukleation

### 8.3.3 Aktuelle Situation und Trends

Ähnlich wie BC.

Siehe: Abschnitt 8.2.3

### 8.3.4 Auswirkungen von UFP

Gesundheitsauswirkungen auf das Herz-Kreislaufsystem und auf das zentrale Nervensystem bei kurzzeitiger Belastung. Daten zur Bewertung der Langzeitbelastung sind noch unzureichend. Die WHO hat ebenfalls noch keine Richt- und Grenzwerte festgelegt.

## 9 Ammoniak ( $NH_3$ )

### 9.1 Quellen

Anthropogene Quellen:

Landwirtschaft, Verkehr, Industrie (Verbrennungsprozesse),  $NH_3$  zur Reduktion von  $NO_x$

Natürliche Quellen:

Biologische Prozesse

### 9.2 Zusammenhang mit Stickstoffkreislauf

Produktion und Einsatz von Düngemitteln (durch Haber-Bosch Prozess) hat dazu geführt, dass im 20. Jhd die Weltbevölkerung stark zugenommen hat, weil durch das Düngemittel mehr Ernteertrag generiert werden konnte. Führt in weiterer Folge auch zu erhöhten Emissionen von reaktiven N-Verbindungen in die Atmosphäre und aquatische Systeme. Allerdings fördert erhöhtes Pflanzenwachstum auch die Kohlenstoff-Speicherung.

### 9.3 Auswirkungen

Ammoniak ist giftig, hat einen unangenehmen stechenden Geruch, reizt die Schleimhäute. Verätzungen sind möglich. Akute Vergiftungen können bis zum Tod führen.

- Partikelbildung
- Stickstoffeintrag - Eutrophierung
- Versauerung

### 9.4 Richt- und Grenzwerte

United Nations Economic Commission for Europe definiert 1992 folgende Richtwerte.

UNECE	$\mu g/m^3$	
JMW	8	Schutzgut der gesamten Vegetation
MMW	23	Schutzgut der gesamten Vegetation
JMW	1	2007 für Flechten und Moos; 2-4 für höhere Pflanzen

## 9.5 Aktuelle Situation und Trends

...

## 10 $CO_2$ , $CH_4$ und $N_2O$

### 10.1 $CO_2$

#### 10.1.1 Quellen

Fossile Brennstoffe, Industrie (Zementproduktion), geänderte Landnutzung (und Forstwirtschaft). Emissionsfluss in der nördlichen Hemisphäre höher. Senken sind die Ozeane und die Biosphäre, bzw. die Böden.

#### 10.1.2 Aktuelle Situation und Trends

Jährliche Zunahme von 2.5ppm. Aktueller Wert ist bei ca. 420ppm. Im Jahr 1960 waren es noch um die 320ppm und der vorindustrielle Wert liegt bei 280ppm.  $CO_2$  zeigt im Vergleich zu anderen Spurengasen kaum Variabilität, trotzdem unterscheiden sich die Mischungsverhältnisse je nach Lage der Messung unter der Saison.

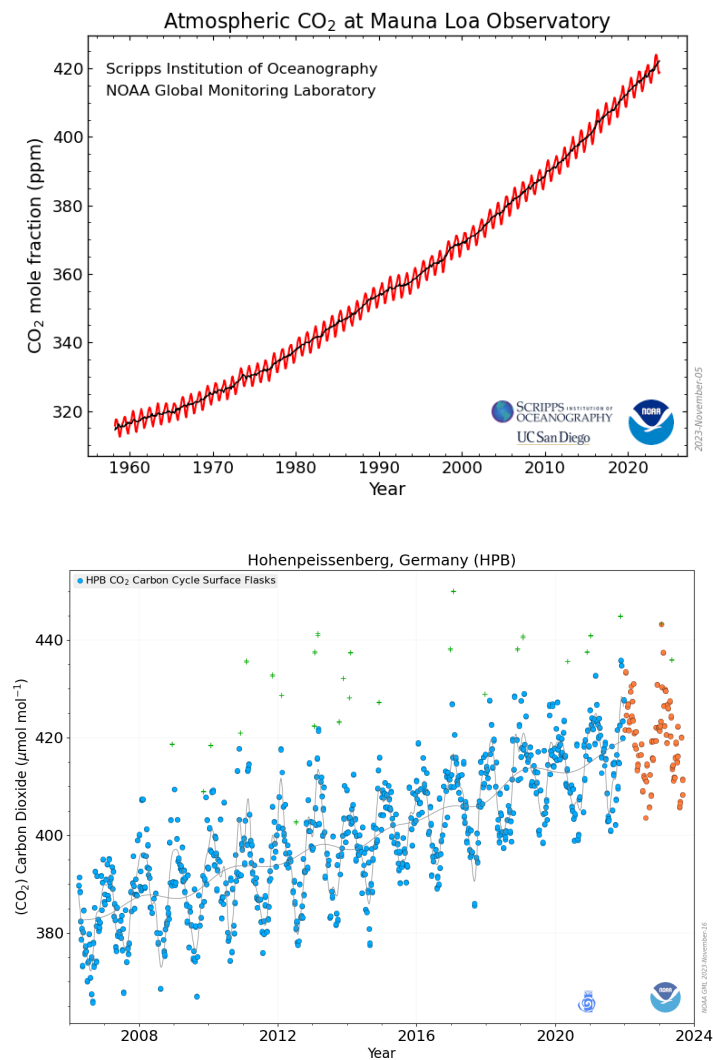


Abb. 3:  $CO_2$  Data at Hohenpeissenberg, DEU



### 10.1.3 Senken

**Ozeane:** CO<sub>2</sub> ist wasserlöslich, Aufnahme und Bildung von HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Abnahme des pH-Wert. Bis 75m gute Durchmischung und rasche Aufnahme aus Atmosphäre. Bis 100m Austausch nur im Jahrzehnt Bereich.

**Biomasse:** Photosynthese (Jahresgänge). Änderung von Temperatur und Feuchtigkeit machen haben deutlichen Einfluss darauf. Anstieg der CO<sub>2</sub> Konzentration kann das Pflanzenwachstum und weitere CO<sub>2</sub> Aufnahme verstärken (von weiteren Nährstoffen abhängig). Erwärmung führt entweder zu einer längeren Vegetationsperiode oder zu einer Reduktion des Pflanzenwachstum durch Hitze und Trockenheit.

## 10.2 CH<sub>4</sub>

### 10.2.1 Quellen

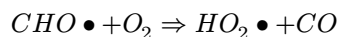
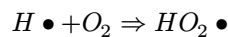
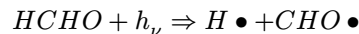
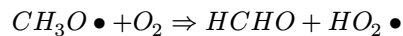
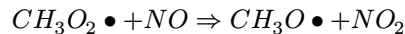
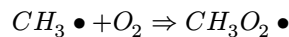
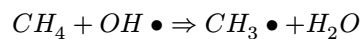
Gewinnung und Produktion von fossilen Brennstoffen. Emissionen durch anaeroben Abbau von Kohlenhydraten (Zellulose). Landwirtschaft (Viehzucht, Reisanbau). Deponien, Abfall- Abwasserbehandlung. Feuchtgebiete, Termiten, Ozeane, geologische Quellen. Die wichtigste Senke stellt Methanoxidation dar.

### 10.2.2 Aktuelle Situation und Trends

Stetige Zunahme des Mischungsverhältnisses, aber deutliche Abflachung der Zunahme zwischen 2000 und 2006, durch Änderungen der Emissionen und/oder Senken. Zeigt deutlich höhere Variation als CO<sub>2</sub>. CH<sub>4</sub> steigt jährlich um 2-15ppb. Der Jahresmittelwert liegt derzeit bei 1920ppb. Der vorindustrielle Wert ist dabei 725ppb.

### 10.2.3 Reaktionen in der Troposphäre

Methanoxidation:



## 10.3 N<sub>2</sub>

### 10.3.1 Quellen

Wesentliche Quellen entstehen im Rahmen des biologischen Stickstoffkreislauf. Natürliche Böden, Ozeane. Landwirtschaft (Düngung). Gewässer, Abwasserbehandlung, Biomasseverbrennung, Industrie (Nylon, Salpetersäure...). Böden können sowohl Quellen als auch Senken sein.

### 10.3.2 Aktuelle Situation und Trends

Die jährliche Zunahme liegt bei 0.8-1.2ppb. Derzeit liegt der Wert bei 334ppb wobei der vorindustrielle Wert bei 270ppb lag.

## 11 Short Lived Climate Forcers

### 11.1 Definition

SLCF sind chemisch reaktive Verbindungen mit kurzer Lebensdauer in der Atmosphäre im Vergleich zu Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>). Diese Verbindungen, wie Methan, Ozon und bestimmte Aerosole, haben unterschiedliche physikochemische Eigenschaften und Umweltauswirkungen.

Ihre Emissionen beeinflussen den Strahlungshaushalt und das Klima über den Zeitraum ihrer jeweiligen Lebensdauer. SLCFs können direkt oder indirekt sein, wobei direkte SLCFs durch ihre radiative Wirkung das Klima beeinflussen, während indirekte SLCFs Vorläufer anderer direkter Klimawirkstoffe sind. Einige SLCFs können kühlende oder erwärmende Effekte durch Wechselwirkungen mit Strahlung und Wolken haben. Sie werden auch als kurzfristige Klimawirkstoffe bezeichnet und sind oft auch Luftschadstoffe. Ein Teil der ausschließlich erwärmenden SLCFs wird als "short-lived climate pollutants" (SLCPs) bezeichnet, darunter Methan, Ozon und Ruß (schwarzer Kohlenstoff).

### 11.2 Charakteristika der SLCF

- Lebenszeit von weniger als 20 Jahre
- hohe räumliche und zeitliche Variabilität im vgl. zu langwirkenden THG
- direkte oder indirekte (über Atmosphärenreaktionen) Auswirkungen auf Strahlungshaushalt
- Kann sowohl zu Erwärmung als auch zur Abkühlung beitragen
- größte Effekte innerhalb der ersten 2 Jahrzehnten

### 11.3 Verbindungen der SLCF

- Methan
- reaktive Gase (Ozon, Stickstoffoxide, Kohlenstoffmonoxide, NMVOC, Schwefeldioxid, Ammoniak)
- Aerosolpartikel (primär: Mineralstaub, Seesalz, BC,...)

### 11.4 ARI/ACI

Aerosol-Radiation Interactions (ARI) beziehen sich auf die Wechselwirkungen zwischen Aerosolpartikeln in der Atmosphäre und elektromagnetischer Strahlung, insbesondere Sonnenlicht. Aerosole können Sonnenlicht streuen, absorbieren oder reflektieren, was direkte Auswirkungen auf den Strahlungshaushalt der Erde hat. Diese Wechselwirkungen spielen eine wichtige Rolle bei der Beeinflussung des Klimas und der regionalen Wettermuster.

Aerosol-Wolken-Interaktionen (ACI) beschreiben die Beziehungen zwischen Aerosolpartikeln und Wolken in der Atmosphäre. Aerosole können als Kondensationskeime dienen, wodurch sich Wolkenröpfchen bilden. Diese Aerosolpartikel beeinflussen die Wolkenbildung, -struktur und -lebensdauer. Wolken wiederum können die Verteilung und Eigenschaften von Aerosolen beeinflussen. Diese Interaktionen haben Auswirkungen auf den Wasserkreislauf, die Strahlungsbilanz und das Klima.

### 11.5 Wolkenbildung

CCN (Cloud Condensation Nucleus). Fähigkeit zu Aktivierung eines Aerosolpartikels als CCN hängt ab von: *Größe, Chemischen Zusammensetzung, Übersättigung mit Wasserdampf*. Anorganische Komponenten (Seesalz, SIA) aber auch kohlenstoffhaltige (organische) Verbindungen.

IN (Ice Nucleus). Das sind feste Aerosolpartikel, die bei atmosphärischen Temperaturen und Übersättigungen eine Eisbildung induzieren. Die Fähigkeit als Eiskeim zu wirken ist stark von der Temperatur abhängig. Eisbildung ist speziell im Temperaturbereich zwischen 0 und  $-38^{\circ}\text{C}$  wichtig (mixed-phase clouds). Die Eisbildung beeinflusst die optischen Eigenschaften der Wolken, aber auch Niederschlagsbildung (Bergeron Findeisen Mechanismus), die Lebenszeit der Wolken, den Transfer der Feuchtigkeit – mit diversen Auswirkungen auf die Wolkenbildung. Beispiele sind: *Mineralstaub, Vulkanasche, Biopartikel (Bakterien, Pollen, Pilzsporen), BC / organische Verbindungen* Verschiedene Mechanismen der Eiskeimbildung: *immersion freezing, condensation freezing, contact freezing, deposition freezing / nucleation*

If you want to see the source code of this document or want to contribute or raise an issue, you can find it on GitHub:



<https://github.com/npikall/tuw-spranzen>