



UmweltWissen – Luft

## Umweltmedium Luft



Einst Zeichen des Fortschritts, stehen rauchende Schloten heute oft für die Luftverschmutzung. Bei vielen Schadstoffen konnte die Belastung jedoch enorm verringert werden.

Abgase verschmutzten bereits in mittelalterlichen Städten die Luft, vor allem das Färben, Verbrennen oder Gerben, das man bald aus dem Wohnumfeld auslagerte. Allerdings waren die Belastungen damals nur kleinräumig. Die Industrialisierung brachte jedoch immer mehr Fabriken, Hausfeuerungen oder Kraftfahrzeuge. Zudem wurden die Kamine höher, so dass die Schadstoffe weiter transportiert wurden. Heute sind selbst Regionen fernab der Verursacher betroffen. Daher rückte die Vorsorge immer mehr in den Blick.

### 1 Luft und Luftqualität

Die Bezeichnung **reine Luft** wird häufig verwendet, um Luft fern von Industrie- und Ballungsgebieten zu beschreiben. Dies stimmt im Großen und Ganzen für die Luft vor 1850 – zumindest fern von Industriebetrieben und anderen Quellen von Belastungen.

Selbst reine Luft ist immer ein Gemisch: Sie besteht zu 99 Prozent aus den **Gasen** Stickstoff und Sauerstoff (Volumenprozent ohne Wasserdampf). Am einflussreichsten ist jedoch der Wasserdampf: Zum einen ist er das mit Abstand wichtigste Treibhausgas. Zum anderen beeinflusst er das Wetter, wenn er an feinsten Partikeln kondensiert, den sogenannten Kondensationskeimen: So entstehen in gesättigter Luft die Wolken. Entscheidend für die Qualität der Luft sind indes die sogenannten **Spurengase**: Meeres-, Land-, Stadt- oder Waldluft unterscheiden sich vor allem in ihrem Gehalt an Spurenstoffen.

Luft enthält darüber hinaus auch kleine Teilchen, die sogenannten Partikel oder **atmosphärische Aerosole**. Entscheidend ist dabei die Größe: Je größer und schwerer die Teilchen, desto schneller fallen sie zu Boden – schwere Partikel gelangen daher nur selten in höhere Luftschichten. Typischerweise sind Partikel einige Nano- bis Mikrometer groß.

Neben den Gasen und Aerosolen enthält Luft auch unerwünschte Stoffe: Diese **Luftschadstoffe** können für Mensch und Natur schädlich sein. Nicht immer können wir diese Schadstoffe riechen oder spüren und oft sind ihre Auswirkungen auch erst langfristig feststellbar.

Tab. 1: Die Hauptbestandteile der Luft kommen stets in gleichbleibender Konzentration vor. Variabel sind vor allem die Spurengase, Aerosole und Schadstoffe – ihre Anteile bestimmen die Luftqualität. (Die Angaben beziehen sich auf trockene Luft; ppb: parts per billion, 1 ppb = ein Milliardstel; ppm: parts per million, 1ppm = ein Millionstel;  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ : Mikrogramm pro Kubikmeter; Quelle: Möller 2003)

Einordnung	Stoffe / Stoffgruppen	Konzentration
Hauptbestandteile	Stickstoff Sauerstoff Argon	78 % 21 % 0,93 %
Nebenbestandteile	Wasserdampf Kohlendioxid	bis 4 % 390 ppm
Spurengase	Methan Schwefeldioxid, Stickstoffoxide Flüchtige Kohlenwasserstoffe	2 ppm 1 ppb bis 100 ppb 0,1 bis 10 ppb
Aerosole – kontinental – maritim		5 bis 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ < 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Radikale	verschiedene	$\leq 10^{-6}$ ppb

## 2 Luftschadstoffe – Quellen und Wirkungen

Die Luftverschmutzung stammt aus vielen Quellen. Vor allem **Industrieanlagen**, **Verkehr** und **Hausfeuerungen** tragen zum Ausstoß von Schadstoffen bei, den sogenannten Emissionen: So kommen rund 40 Prozent der Stickstoffoxid- und 15 Prozent der Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ )-Emissionen in Deutschland aus dem Verkehr. Bei den flüchtigen organischen Verbindungen (ohne Methan, NMVOC, non methane volatile organic compounds) stellen Industrieanlagen eine wichtige Quelle dar.



Abb. 1: Abgase stammen nicht nur aus Industrie, sondern auch aus Hausfeuerungen und aus dem Verkehr (Emissionen). Im Nahbereich wirken vor allem Schadstoffe aus bodennahen Quellen (Immission). Je höher der Kamin, desto weiter werden Schadstoffe transportiert. Dabei werden sie häufig chemisch umgewandelt (verändert nach Baumbach 1990).

Auch **natürliche Quellen** setzen Luftschadstoffe frei. Beispiele sind:

- Nadelwälder: Terpene
- Vulkane: Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Staub, Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>)
- Wüsten und Trockengebiete: Staub
- Gewitter: Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>)
- Niedermoore: CO<sub>2</sub>-Freisetzung bei der Torfzersetzung
- Reisfelder: Methan (CH<sub>4</sub>), das während der Überflutung der Felder entsteht
- Wiederkäuer: CH<sub>4</sub>, das bei der Verdauung im Pansen entsteht
- Tierhaltung: Ammoniak (NH<sub>3</sub>) aus den Exkrementen

Durch menschliche Einflüsse wird der Ausstoß aus natürlichen Quellen oft verstärkt, zum Beispiel durch Entwässerung von Niedermooren, Umbruch von Mooren, Nassreisanbau oder Intensivtierhaltung.

Weitere Informationen: [BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT](#)

UMWELTWISSEN: ► [Ammoniak und Ammonium](#)

UMWELTWISSEN: ► [Kompost nutzen, Moore schützen](#)

Tab. 2: Quellen und Entstehungsprozesse verschiedener Luftschadstoffe

Luftschadstoffe	Quellen	Entstehung
<b>Ammoniak</b> (NH <sub>3</sub> )	Landwirtschaft, Kraftwerke mit NO <sub>x</sub> -Abscheidung, Verkehr	Tierhaltung, Lagerung und Verteilung von Gülle. Ammoniak aus Katalysatoren
<b>Flüchtige organische Verbindungen</b> (VOC)	Druckereien, Lackierereien, chemische Industrie, Erdölverarbeitung, Verkehr, Kleinverbraucher	Einsatz von Lösemitteln in Lacken, Farben. Unvollständige Verbrennung in Kraftfahrzeugmotoren, Verdampfungsverluste
<b>Kohlenmonoxid</b> (CO)	Verkehr, Feuerungen in Industrie, Gewerbe, Energieerzeugung, Haushalten. Eisen-, Stahlindustrie	Unvollständige Verbrennung bei Sauerstoffmangel in Kraftfahrzeugmotoren und in schlecht befeuerten Holzöfen.
<b>Ozonzerstörende Substanzen</b> (z. B. FCKW)	Klimaanlagen, Haushalte, Verkehr	Kühlmittel in Klima- und Kälteanlagen
<b>Photooxidantien</b> (z. B. Ozon, O <sub>3</sub> )	Entstehung aus Vorläufersubstanzen (VOC, NO <sub>x</sub> )	Emissionen von Vorläufersubstanzen aus natürlichen und menschlichen Quellen
<b>Schwefeldioxid</b> (SO <sub>2</sub> )	Feuerungen in Industrie, Gewerbe, Energieerzeugung, Haushalten	Verbrennung von schwefelhaltigen Brennstoffen wie Steinkohle, Braunkohle
<b>Staub</b> (z. B. Feinstaub <sup>1</sup> )	Feuerungen in Industrie, Gewerbe, Energieerzeugung, Haushalten. Verkehr, Metallerzeugung und -verarbeitung, Aufbereitung fester Brennstoffe. Anlagen im Bereich Bau, Steine, Erden, Landwirtschaft	Verbrennungsvorgänge (Ruß). Abrieb von Fahrbahnen, Reifen, Bremsen. Aufwirbelung von Straßen, Lagerung, Transport und Umschlag staubender Güter
<b>Stickstoffoxide</b> (NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> )	Verkehr, Feuerungen in Industrie, Gewerbe, Energieerzeugung, Haushalten	Verbrennungsvorgänge bei relativ hohen Temperaturen, insbesondere Dieselmotoren
<b>Treibhausgase</b> (z. B. CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )	Feuerungen in Industrie, Gewerbe, Energieerzeugung, Haushalten	CO <sub>2</sub> : Verbrennungsvorgänge CH <sub>4</sub> : anaerobe Vergärung, Tierhaltung

<sup>1</sup> Feinstaub wird nach seiner Größe eingeteilt: Partikel in der Fraktion PM<sub>10</sub> passieren einen Lufteinlass, der 50 Prozent der Teilchen über 10 Mikrometer (µm) ausfiltert (PM, particulate matter). PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>1</sub> sind analog für Partikel < 2,5 und 1 µm definiert.

Das **Wirkungspotenzial** eines Schadstoffes ist meist wichtiger als die Konzentration, wenn man seine ökologischen oder gesundheitlichen Effekte beurteilen will. Einige Beispiele:

- **Luftschadstoffe in Ökosystemen:** Werden Luftschadstoffe in ein Ökosystem eingetragen, verändern sich dort die chemischen Prozesse und damit auch die Lebensumstände seiner Bewohner. Daher wuchern zum Beispiel vor allem hochwüchsige Pflanzen, wenn Nährstoffe in eine magere Wiese eingetragen werden.
- **Umwandlungsprozesse:** Auch die Prozesse in der Atmosphäre können von Luftschadstoffen verändert werden. Eins der bekanntesten Beispiele ist die Zerstörung der Ozonschicht durch FCKW. Auch beim bodennahen Ozon spielen Transport- und Umwandlungsprozesse eine wesentliche Rolle.

Der Vielzahl an Luftschadstoffen entspricht eine Vielzahl möglicher Wirkungen, die hier nur im Überblick behandelt werden können.

Weitere Informationen: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT

UMWELTWISSEN: ► [Luftschadstoffe – Wirkung in Ökosystemen](#)

UMWELTWISSEN: ► [Bodennahes Ozon und Sommersmog](#)

UMWELTWISSEN: ► [Ozonschicht und Ozonloch](#)

Tab. 3: Ökologische Bedeutung verschiedener Luftschadstoffe und ihre Wirkung auf die Gesundheit

Luftschadstoffe	Ökologische Bedeutung	Wirkung auf die Gesundheit
<b>Ammoniak</b> (NH <sub>3</sub> )	Nährstoff-Eintrag in Ökosysteme, Versauerung	Indirekt: Feinstaub-Vorläufer
<b>Flüchtige organische Verbindungen (VOC)</b>		Indirekt: Vorläufer für Photooxidantien
<b>Kohlenmonoxid</b> (CO)		Verdrängung von Sauerstoff bei höheren CO-Konzentrationen im Blut
<b>Ozonzerstörende Substanzen</b> (z. B. FCKW)	Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht, Treibhauseffekt	Durch Zunahme der UV-Strahlung: Hautkrebs, Grauer Star
<b>Photooxidantien</b> (z. B. Ozon, O <sub>3</sub> )	Direkte Schädigung von Pflanzen	Reizung der Lunge beim photochemischen Smog
<b>Schwefeldioxid</b> (SO <sub>2</sub> )	Versauerung, direkte Schädigung von Pflanzen	Direkt: Reizung der Lunge bei Smog Indirekt: Feinstaub-Vorläufer
<b>Staub</b> (z. B. Feinstaub)		Transport von angelagerten Schwermetallen und anderen Schadstoffen bis in die Lunge, problematisch bei Verkehrsemissionen (Dieselruß)
<b>Stickstoffoxide</b> (NO <sub>x</sub> , NO, NO <sub>2</sub> )	Versauerung, Nährstoff-Eintrag in Ökosysteme	Indirekt: Vorläufer für Photooxidantien und Feinstaub
<b>Treibhausgase</b> (z. B. CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> )	Treibhauseffekt, CO <sub>2</sub> -Aufnahme von Pflanzen und Tieren	

### 3 Luftbewegung und Transport von Schadstoffen

Die Schadstoffe werden mit der Luft verfrachtet. Wie weit und in welchem Ausmaß sie dabei verdünnt werden, hängt von den Luftschichten der Atmosphäre ab. Großen Einfluss haben auch Wind und Turbulenzen, die die Luftschichten durchmischen.

#### 3.1 Austausch zwischen verschiedenen Luftschichten

Auch ohne Wind ist Luft in Bewegung: Warme Luft steigt auf, weil sie weniger dicht und damit leichter ist als kalte Luft. Beim Aufstieg kühlt sie ab und wird dabei schwerer. Wie weit die Luft aufsteigt, hängt also von ihrer eigenen Temperatur und der ihrer Umgebung ab. Wenn die Veränderungen in Temperatur und Dichte eines Luftpakets ohne Wärmeaustausch mit der Umgebung erfolgt, nennt man das adiabatisch.

Diese Zusammenhänge erklären auch, warum sich die Luftschichten mal besser und mal schlechter durchmischen – und warum Schadstoffe manchmal besser oder schlechter verdünnt werden:

- **Labile Schichtungen** herrschen vor, wenn aufsteigende Luft – trotz der Abkühlung während des Aufstiegs – wärmer ist als die Umgebungsluft. Dann ist ein vertikaler Luftaustausch möglich und Schadstoffe werden sehr gut abtransportiert.
- Bei einer **neutralen Schichtung** wird der vertikale Luftaustausch weder behindert noch verstärkt, da die Umgebungsluft adiabatisch geschichtet ist. Dann verändern sich also Temperatur und Dichte eines aufsteigenden Luftpakets genauso wie in der Umgebungsluft.
- Eine **stabile Schichtung** besteht, wenn die Lufttemperatur mit der Höhe langsamer abnimmt, als bei einem aufsteigenden Luftpaket. Dann ist das Luftpaket kühler als die Umgebungsluft und sinkt ab oder steigt erst gar nicht auf. Der vertikale Luftaustausch und der Abtransport von Schadstoffen sind gehemmt.

Die **Inversion** ist der Extremfall einer stabilen Schichtung: Die Luft ist unten kühler und oben wärmer. Die wärmere Luft bildet also eine Art Deckel, so dass die unteren Luftschichten nicht mit darüber liegenden Schichten verwirbelt werden. Dann reichern sich Schadstoffe in den unteren Schichten an, weil sie nicht verdünnt werden.



Abb. 2: Bei gutem vertikalen Luftaustausch steigt die Rauchfahne nach oben (ohne Wind).



Abb. 3: Inversionen behindern den Luftaustausch. Schadstoffe bleiben in der Umgebung.



Abb. 4: In den Luftschichten kann die Verteilung der Schadstoffe unterschiedlich sein.

Inversionen treten meist während stabiler Hochdrucklagen auf, weil der Boden in den klaren und windstillen Nächten stark abkühlt. Auch die bodennahe Luft ist dann kälter als die darüber liegende – eine **Bodeninversion** entsteht. Im Herbst und Winter, wenn die Sonne den Boden tagsüber nicht mehr erwärmt, kann diese Schichtung länger erhalten bleiben. Wenn die Sonne zwar die bodennahen Schichten ein wenig aufheizen kann, nicht jedoch die ganze Inversionsschicht, kann sich auch eine Höheninversion bilden. Häufig geht diese Situation mit Hochnebel einher.

Hohe **Kamine** entlassen die Abgase in höheren Luftschichten. Die Konzentration am Boden ist dann geringer. Gleichzeitig werden die Schadstoffe jedoch weit transportiert, so dass sie in entfernte Regionen gelangen. Auf diesen Ferntransport wurde man erst aufmerksam, als skandinavische Seen versauerten, wobei die Säurebildner aus dem englischen Industriegürtel stammten. Ein anderes Beispiel ist die Schädigung von Waldökosystemen in den Kammlagen der Mittelgebirge in den 1980er Jahren aufgrund der enormen Schwefeldioxidemissionen.

### 3.2 Windsysteme auf globaler, regionaler und lokaler Ebene

Wind entsteht durch Temperatur- und Druckunterschiede der Luft. Das kann global, regional und auch sehr kleinräumig der Fall sein:

**Globale Windsysteme** entstehen, weil die Sonne die Luft am Äquator stark aufheizt. Vereinfacht ausgedrückt, steigt die erwärmte Luft nach oben. Dadurch entsteht ein Sog, so dass am Boden Luft nachströmt, die von den Polen angesaugt wird. Der Kreis schließt sich durch Luftströmungen am oberen Rand der Troposphäre, also in der untersten Schicht der Erdatmosphäre: Dort strömt die warme Luft vom Äquator zu den Polen und sinkt dann wieder ab.

Die Realität ist deutlich komplexer. Das liegt vor allem an der Erdrotation, der unregelmäßigen Verteilung der Kontinente, der unterschiedlichen Höhe der Troposphäre und der geneigten Erdachse. Daher weht der Wind bei uns nicht immer aus derselben Richtung – vielmehr wechseln sich Hoch- und Tiefdruckgebiete ab, die die Witterung und damit auch die Windgeschwindigkeit bestimmen:

- In **Tiefdruckgebieten** ist das Druckgefälle hoch. Dann können starke Winde und sogar Stürme und Orkane entstehen.
- Bei **Hochdruckwetter** ist der Wind oft schwach oder es herrscht Windstille.

**Regionale Windsysteme** entstehen vor Ort zu bestimmten Tageszeiten oder bei speziellen Wetterlagen. Wichtig für den Luftaustausch sind zum Beispiel folgende Windsysteme, die vor allem bei wolkenlosem Hochdruckwetter entstehen:

- **Land und See:** Tagsüber erwärmt sich Land stärker als Wasser, daher ist auch die Luft über dem Land wärmer und steigt auf. Als Folge strömt bodennah Luft vom Meer nach, während in der Höhe Luft vom Land zum Meer strömt. Nachts ist diese Zirkulation umgekehrt. Die Meeresoberfläche ist dann wärmer, als das Land, das nachts rasch abkühlt.
- **Berg und Tal:** An Sonnenhängen wird die Luft tagsüber stärker erwärmt als im Tal. Daher strömt Luft hangaufwärts. Das Defizit, das dadurch im Tal entsteht, wird durch Luft aus der Ebene ausgeglichen. Nachts bildet sich ein umgekehrtes Windsystem.
- **Stadt und Land:** Im Mittel ist eine Großstadt um ein bis zwei Grad wärmer als die freie Landschaft. Spürbar ist das vor allem in Sommernächten nach sehr heißen Tagen, zumal das Umland schneller abkühlt als die Stadt. Daher strömt nachts kühlere Luft in die Stadt – und verdünnt gleichzeitig die Schadstoffe. Lücken in der Bebauung erleichtern den Luftaustausch, also zum Beispiel Wiesen oder baumarmes Parkgelände.

Auch **sehr kleinräumig** kann die Windgeschwindigkeit erheblich variieren. Einige Beispiele:

- In **flachem, offenem Gelände** oder auf **Bergspitzen** und **Kuppen** misst man höhere Windgeschwindigkeiten. In geschützten Tälern, Senken und Kesseln weht der Wind schwächer.
- Unterschiedliche **Bodenbedeckung** und **Geländestruktur** kann kleinräumige Zirkulationsmuster auslösen, die ebenfalls von Temperaturunterschieden angetrieben werden.

### 3.3 Verwirbelungen und Turbulenzen

Turbulenzen, also Verwirbelungen der Luft, sorgen für die Verdünnung von Schadstoffen. Dabei können Wirbel wenige Millimeter bis hin zu mehreren hundert Metern groß sein. Sie entstehen vor allem bei starken Winden, weil die Strömung immer instabiler und turbulenter wird, je schneller sie ist. Hindernisse wie Bebauung, Bewuchs und Geländeunebenheiten bewirken ebenfalls Turbulenzen. Dies ist zum Beispiel bei seitlicher Anströmung von Tälern oder Geländestufen gut zu beobachten.

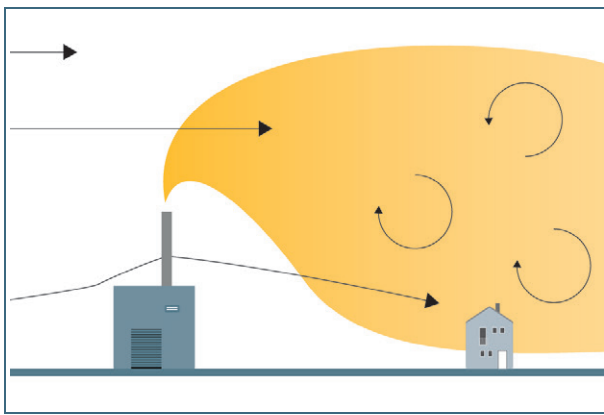


Abb. 5: Besonders gut verdünnt sich eine Abgasfahne, wenn der Luftaustausch leicht möglich ist, also bei labiler Schichtung in Kombination mit turbulentem Wind (verändert nach Baumbach 1990).

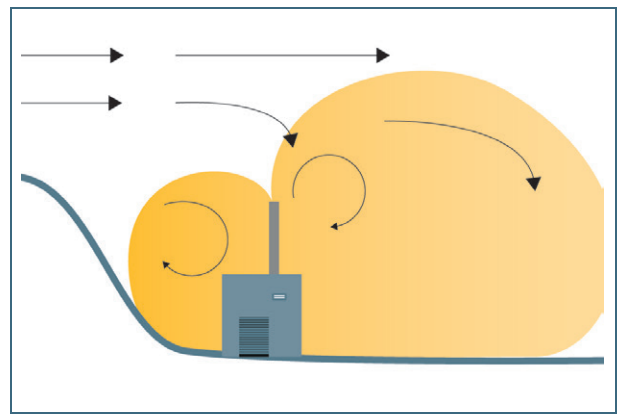


Abb. 6: Hinter Geländestufen entstehen Verwirbelungen, in denen sich Schadstoffe anreichern können (verändert nach Baumbach 1990).

**Gebäude** können die Schadstoffausbreitung entscheidend beeinflussen, wobei vor allem die Form und Größe der Bauwerke eine Rolle spielen: Im Windschatten entstehen vertikale Wirbel, die die Schadstoffe zum Boden hin transportieren können. Sind die Kamine zu niedrig und ragen nicht aus der Turbulenzzone des Gebäudes heraus, kann es zu hohen Schadstoffbelastungen in Bodennähe kommen. Durch den kleinräumigen Wechsel von hohen Gebäuden und Straßenschluchten wird in einer Stadt mehr Turbulenz erzeugt als beispielsweise über freiem Gelände.

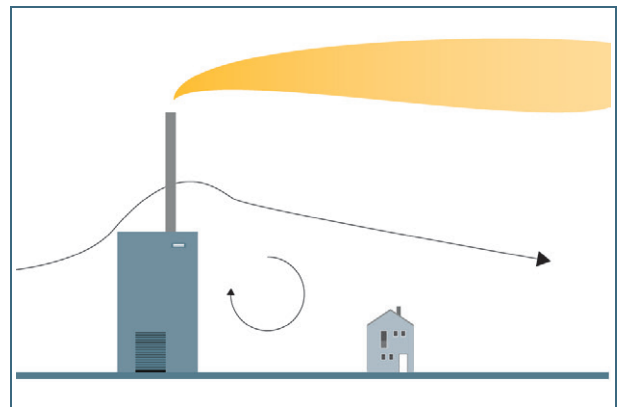
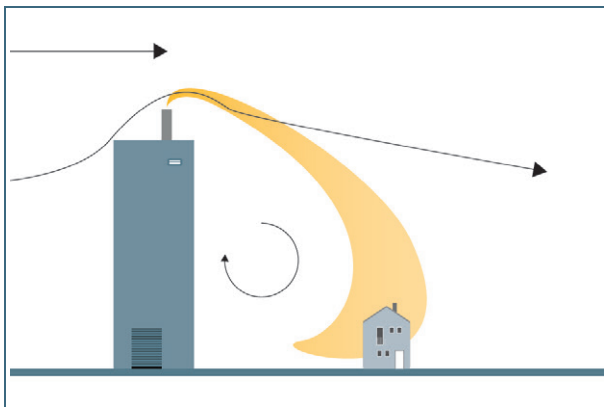


Abb. 7: An der windabgewandten Seite eines hohen Gebäudes entsteht ein Leewirbel. Ist der Kamin nicht ausreichend hoch, kann die Abgasfahne in den Leewirbel eingemischt werden, so dass sich die Schadstoffe in Bodennähe anreichern (verändert nach Baumbach 1990).

### 3.4 Ablagerung von Schadstoffen

Der Transport von Schadstoffen in der Atmosphäre kann je nach Windverhältnissen sehr weiträumig sein. Wo die Spurenstoffe abgelagert werden, hängt von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Substanzen und vom Bewuchs und den Geländeeigenschaften ab:

Von **trockener Deposition** spricht man, wenn Stoffe durch die Schwerkraft absinken. In der Nähe von Emittenten werden eher Grobpartikel abgelagert, während fernab feine Partikel, Aerosole oder gasförmige Stoffe dominieren.

In Waldgebieten und Städten ist die trockene Deposition besonders hoch, da die Schadstoffe hier geradezu „ausgekämmt“ werden. Generell gilt: je „rauer“ die Oberfläche, desto höher die trockene Deposition. So kann sich der Eintrag in Waldgebiete im Vergleich zu einer offenen Wiesenfläche um den Faktor drei erhöhen. Die trockene Deposition ist in vielen Ökosystemen der wichtigste Eintragspfad.

Bei der **nassen Deposition** werden die Spurenstoffe mit dem Regen aus der Atmosphäre ausgewaschen, unabhängig von der Vegetation und vom Gelände. Dies ist vor allem in regenreichen Gebieten ein wichtiger Eintragspfad.

**Feuchte Deposition** nennt man den Eintrag von Substanzen, die im Nebel gelöst sind. Da die feinsten Nebeltröpfchen eine sehr große Oberfläche haben, können sie eine Schadstofflast tragen, die sehr viel höher ist als bei der nassen Deposition.

Dieser Eintragspfad ist in den nebelreichen Kammlagen der Mittelgebirge von Bedeutung und hat wesentlich zum sogenannten Waldsterben dort beigetragen. Insgesamt „kämmen“ Nadelbäume viel mehr Schadstoffe aus dem Nebel als Laubbäume, da sie eine größere Oberfläche haben und während des ganzen Jahres die Nadeln behalten.

Weitere Informationen: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT  
UMWELTWISSEN: ► [Luftschadstoffe – Wirkung in Ökosystemen](#)



Abb. 8: Säureeinträge in skandinavische Gewässer lenkten erstmals das Augenmerk auf den Ferntransport von Schadstoffen: Die Abgase kamen aus dem englischen Industriegürtel.



Abb. 9: Nadelbäume kämmen Schadstoffe aus dem Nebel. Säurebildner schädigen die Nadeln und führen zu Nährstoffauswaschung aus dem Boden: Ursachen des Waldsterbens.



## 4 Aktuelle Luftbelastung und Trends

Für jeden Schadstoff legt der Gesetzgeber spezifische Grenz-, Leit- und Zielwerte fest. Wichtig für die Beurteilung ist vor allem die Unterscheidung zwischen kurz- und langfristigen Belastungen:

**Kurzfristige Werte** schützen vor akuten Schäden durch Spitzenbelastungen. Häufig verwendet man zum Beispiel Stundenwerte, also den Mittelwert aller Messausschläge eines Messgeräts innerhalb einer Stunde. Zum Teil ist auch festgelegt, wie oft dieser Wert pro Jahr überschritten werden darf.

**Mittelfristige Werte** werden zum Beispiel für acht Stunden oder einen Tag festgelegt. Sie berücksichtigen die Reaktionszeit eines Organismus auf eine erhöhte Schadstoffbelastung.

**Langfristige Werte** stellen eine Obergrenze für die mittlere Belastung über einen längerfristigen Zeitraum dar. Meist werden dazu Jahresmittelwerte festgelegt, die als Mittelwert aller Messungen in einem Jahr berechnet werden. Sie sind also weitgehend unbeeinflusst von den unterschiedlichen Einflüssen der Jahreszeiten. Diese Werte dienen nicht nur dem Gesundheitsschutz, sondern auch dem Schutz von Ökosystemen.

Tab. 4: Entwicklung und aktuelle Situation für verschiedene Luftschadstoffe ( $\mu\text{g}$  – Mikrogramm;  $\text{mg}$  – Milligramm;  $\text{m}^3$  Kubikmeter)

Luftschadstoffe	Trend	Aktuelle Situation in Bayern	Gründe für die Veränderung	Minderungspotenziale	Anmerkungen
<b>Benzol</b> ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )	Rückgang	Maximaler Jahresmittelwert ca. $1,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Katalysator, Benzol-Reduktion im Benzin	Minderung des Aromatengehaltes im Benzin	Vor allem nahe an stark befahrenen Straßen
<b>Feinstaub</b> ( $\text{PM}_{10}$ )	Meist Abnahme	Höchste Jahresmittelwerte 20 bis $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nahe an stark befahrenen Straßen. In den letzten Jahren Einhaltung der Grenzwerte	Effizientere Motoren, schwefelarmer/-freier Kraftstoff, Partikelfilter bei Dieselmotoren, Umweltzonen in Städten	Geschwindigkeitsbeschränkungen. Verkehrskonzepte in Städten, die den Autoverkehr reduzieren	Stark schwankende Belastung, vor allem verkehrsnah. Überschreitung des Tagesmittelgrenzwerts bei Inversionswetterlagen
<b>Kohlenmonoxid</b> ( $\text{CO}$ )	Rückgang	Jahresmittelwerte $0,3$ bis $0,4 \text{ mg}/\text{m}^3$ . Max. 8-Stundenmittel $1,9 \text{ mg}/\text{m}^3$	Effizientere Motoren, Katalysator		Leitschadstoff für verkehrsbedingte Belastungen
<b>Ozon</b> ( $\text{O}_3$ )	Abnahme gegenüber den 1990er-Jahren, außer in sehr heißen Sommern	Nur selten Überschreitung der Informationsschwelle (Alarmschwelle wurde seit Längerem nicht mehr überschritten)	Emissionsminderungen bei Vorläufersubstanzen ( $\text{NO}_x$ , VOC)	Weitere Verringerung der Vorläufersubstanzen ( $\text{NO}_x$ , VOC)	Sehr starker Einfluss der Witterung. Verkehrsnah deutlich geringere Belastung als verkehrsfern
<b>Schwefeldioxid</b> ( $\text{SO}_2$ )	Starker Rückgang	Jahresmittelwerte 2 bis $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Rauchgasentschwefelung		Heute kein vorrangiges Problem mehr
<b>Stickstoffdioxid</b> ( $\text{NO}_2$ )	Meist Abnahme, außer an stark befahrenen Straßen	Jahresmittelwerte im städtischen Bereich $20$ bis $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , an einzelnen verkehrsnahen Messstationen über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$	Rauchgasentstickung, Reduzierung der Emissionen im Verkehr	Reduzierung der Diesel-Emissionen, Tempolimit, Verstetigung des Verkehrsflusses	Schwerpunkt an befahrenen Straßen in Ballungsräumen, im Sommer führt $\text{O}_3$ zu vermehrter $\text{NO}_2$ -Bildung

## 5 Rechtliche Regelungen zur Luftreinhaltung

In der Luftreinhaltung lassen sich nachhaltige Erfolge nicht allein durch nationale Regelungen erzielen, denn die Luftverschmutzung stellt auch ein grenzüberschreitendes Problem dar. Deshalb bedarf es einer intensiven internationalen Zusammenarbeit auf regionaler und globaler Ebene. Die wesentlichen Regelungen innerhalb der Europäischen Union und Deutschland sind:

**2008** wurde die **EU-Luftqualitätsrichtlinie** erlassen. Sie fasst die vorher geltenden Regelungen zusammen und bringt sie auf den neuen Stand, darunter vor allem die EU-Luftqualitäts-Rahmenrichtlinie von 1996 und ihre „Tochterraichtlinien“. Ziel ist, europaweit eine definierte Luftqualität sicherzustellen und zu überwachen.

Die EU-Luftqualitätsrichtlinie wurde mit der **Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen** in nationales Recht umgesetzt: In der 39. Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (BImSchV) wird unter anderem der Umfang der Luftmessnetze der Länder, die Auswertung und Beurteilung der erhobenen Messdaten, die Unterrichtung der Öffentlichkeit und die Erstellung von Luftreinhalteplänen vorgegeben.

**2010** wurde die **Industrieemissionsrichtlinie** erlassen, die die sogenannte IVU-Richtlinie von 1996 ersetzt. Diese frühere Richtlinie über „Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung“ war ein echter Meilenstein der Luftreinhaltung: Im Fokus stand erstmals ein medienübergreifender Ansatz bei der Verminderung von Umweltbelastungen. Seither müssen emissionsmindernde Maßnahmen so geplant werden, dass sich die Umweltbelastungen nicht in ein anderes Umweltmedium verschieben, also zum Beispiel Boden oder Grundwasser belasten.

Die neue Richtlinie fasst die Anforderungen der früheren Regelungen zusammen und aktualisiert sie. Zu nennen sind hier neben der bisherigen IVU-Richtlinie insbesondere die Richtlinien zur Abfallverbrennung, zu Großfeuerungsanlagen und zu Lösemitteln. Um die Anforderungen zu erfüllen, organisiert die Europäische Kommission den sogenannten Sevilla-Prozess, einen Informationsaustausch zwischen den Mitgliedsstaaten und der Industrie über die besten verfügbaren Techniken (BVT, englisch Best Available Technology, BAT). Daraus entstehen die sogenannten BVT- oder BAT-Merkblätter, die den Stand der Technik europaweit definieren und damit auch das Emissionsniveau, das jeweils erreicht werden kann. Sie bieten eine wesentliche Grundlage für die Planung und Genehmigung von Anlagen in Unternehmen und Betrieben.

Weitere Informationen

UMWELTBUNDESAMT: ► [BVT-Merkblätter und Durchführungsbeschlüsse](#)

Die Industrieemissionsrichtlinie wurde in deutsches Recht umgesetzt, indem vor allem das Bundes-Immissionsschutzgesetz und dessen Verordnungen angepasst wurden:

Nach dem **Bundes-Immissionsschutzgesetz** (BImSchG) müssen genehmigungsbedürftige Anlagen so errichtet und betrieben werden, dass schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und für die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Ziel ist auch die in die Zukunft gerichtete Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen. Das BImSchG wird durch zahlreiche Verordnungen ergänzt und konkretisiert. Hier findet man zum Beispiel Grenz- und Leitwerte zur Beurteilung der Luftqualität. Ergänzend kann man sich auch an den Leitwerten der Weltgesundheitsorganisation orientieren.

Eine große Rolle für die Genehmigungsbehörden spielt vor allem die **Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft** (TA Luft). Sie konkretisiert die Anforderungen des BImSchG, indem sie konkrete Vorgaben macht, welche Anforderungen an genehmigungsbedürftige Anlagen zu stellen sind (Genehmigungsverfahren).

Im sogenannten Immissionsteil (Kapitel 4) findet man Vorschriften und Grenzwerte zum Schutz der Nachbarschaft und der Allgemeinheit vor schädlichen Umwelteinwirkungen, erheblichen Nachteilen und erheblichen Belästigungen. Teilweise sind auch Abstände zur Wohnbebauung enthalten, um beispielsweise Belästigungen durch Gerüche zu vermeiden.

Der sogenannte Emissionsteil (Kapitel 5) enthält anlagen- und quellenbezogene Emissionswerte zur Vorsorge gegen schädliche Umwelteinwirkungen. Auch bauliche und organisatorische Anforderungen zur Emissionsminderung und Anforderungen zur Emissionsüberwachung sind hier zu finden.

Die einschlägigen Vorgaben der TA Luft haben den rechtlichen Charakter eines vorweggenommenen Sachverständigenutachtens. Sie dienen also den Genehmigungsbehörden dazu, Auflagen zum Beispiel für neue Gewerbebetriebe oder Industrieanlagen festzulegen.

## 6 Fazit

Luft ist allgegenwärtig und lebensnotwendig. Ihre Qualität wird durch eine Vielzahl von Schadstoffen beeinträchtigt. Die bisherigen Maßnahmen haben bereits zu einer wesentlichen Verbesserung beigetragen. Dennoch bestehen auch weiterhin einige Belastungsschwerpunkte, die in der Regel verkehrsbezogen sind. Hier ist eine Verbesserung der Situation dringend erforderlich.

Der Einzelne kann auf vielfältige Weise zur Verringerung der Luftbelastung beitragen: An erster Stelle ist hier das Energiesparen zu nennen, sowohl im Bereich Mobilität als auch im Bereich Raumwärme und Haushalt. Zudem ist die Wahl des Energieträgers von Bedeutung und auch durch die Nutzung von Wind- oder Sonnenenergie kann der Ausstoß von Luftschadstoffen vermindert werden. Daneben spielt durchaus auch die Verwendung alltäglicher Produkte wie Lacke oder Farben eine Rolle.

## 7 Literatur und Links

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT:

(2017\*) ► [Luft - tief durchatmen können - Luftreinhaltung](#)

(2017\*) ► [Daten zur Luftqualität – Aktuelle Werte der bayerischen Luftmessstationen](#)

BAUMBACH G. (1990): Luftreinhaltung. Springer, Berlin u. a.

MÖLLER D. (2003): Luft. Chemie, Physik, Biologie, Reinhaltung, Recht. De Gruyter, Berlin, New York

UMWELTBUNDESAMT:

(2016) ► [Emissionen ausgewählter Luftschadstoffe nach Quellkategorien](#). PDF, 1 S.

(2015) ► [Daten zur Umwelt 2015](#). PDF, 144 S.

(2017\*) ► [BVT-Merkblätter und Durchführungsbeschlüsse](#)

(2017\*) ► [Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland](#)

\* Zitate von online-Angeboten vom 17.01.2017

### 7.1 Richtlinien und gesetzliche Regelungen

Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa (ABl. Nr. L 151/1 vom 11/06/2008)

Richtlinie 2010/75/EU des Europäischen Parlaments und des Rates vom 24. November 2010 über Industrieemissionen (integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung, Industrieemissionsrichtlinie, ABl. Nr. L 334 S. 17-119 vom 17/12/2010)

Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2001 über nationale Emissionshöchstmengen für bestimmte Luftschadstoffe (ABl. Nr. L 309/22 vom 27/11/2001; NEC-Richtlinie)

Bundes-Immissionsschutzgesetz (Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge – BImSchG) vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), zuletzt geändert am 20. November 2014 (BGBl. I S. 1740)

Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 973, 3756), zuletzt geändert am 28. April 2015 (BGBl. I S. 670)

Verordnung über Großfeuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen – 13. BImSchV vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 1021, 1023, 3754), zuletzt geändert am 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen – 17. BImSchV vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S. 1021, 1044, 3754)

Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen bei der Verwendung organischer Lösemittel in bestimmten Anlagen – 31. BImSchV vom 21. August 2001 (BGBl. I S. 2180), zuletzt geändert am 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen – 39. BImSchV vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065), zuletzt geändert am 31. August 2015 (BGBl. I S. 1474)

Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft vom 24. Juli 2002 (GMBl. S.511)

## 8 Weiterführende Informationen

UmweltWissen-Publikationen:

- ▶ [Ammoniak und Ammonium](#)
- ▶ [Benzol](#)
- ▶ [Bodennahes Ozon und Sommersmog](#)
- ▶ [Gerüche und Geruchsbelästigungen](#)
- ▶ [Luftschadstoffe – Wirkung in Ökosystemen](#)
- ▶ [Ozonschicht und Ozonloch](#)

Umweltschutz im Alltag: ▶ [Ansprechpartner](#) und ▶ [weitere Publikationen](#)

---

### Impressum:

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)  
Bürgermeister-Ulrich-Straße 160  
86179 Augsburg

Telefon: 0821 9071-0

Telefax: 0821 9071-5556

E-Mail: [poststelle@lfu.bayern.de](mailto:poststelle@lfu.bayern.de)

Internet: <http://www.lfu.bayern.de>

Postanschrift:

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
86177 Augsburg

Bearbeitung:

Ref. 12 / Dr. Katharina Stroh

Bildnachweis:

© Andrey Armyagov - Fotolia.com: Abb. 9 / © Gina Sanders - Fotolia.com: Abb. 3 / © hansenn - Fotolia.com: Titelbild S. 1 / Sigrid Harig/pixelio.de: Abb. 2 / © Kalle Kolodziej - Fotolia.com: Abb. 4 / LfU: Abb. 1, 5, 6, 7 / © pixomato-se - Fotolia.com: Abb. 8

Stand:

Neufassung: August 2004  
Aktualisierung: Januar 2017

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die Broschüre wird kostenlos abgegeben, jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Diese Broschüre wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 089 122220 oder per E-Mail unter [direkt@bayern.de](mailto:direkt@bayern.de) erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.